



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE  
**ARQUITECTURA**  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Arquitectura  
Escuela de Arquitectura



**GUÍA TEÓRICA BÁSICA DEL CONCRETO,**

**COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

**Guatemala, Guatemala**

Jorge Mario García Estrada

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Arquitectura

Escuela de Arquitectura

**GUIA TEÓRICA BÁSICA DEL CONCRETO,  
COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

**Guatemala, Guatemala**

Proyecto desarrollado por:

Jorge Mario García Estrada

Al conferirse el título de

Arquitecto

Guatemala, octubre 2020

"Me reservo los derechos de autor haciéndome responsable de las doctrinas sustentadas adjuntas, en la originalidad y contenido del Tema, en el Análisis y Conclusión final, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala."

## Miembros Junta Directiva

MSc. Arq. Edgar Armando López Pazos	Decano
Arq. Sergio Francisco Castillo Bonini	Vocal I
Licda. Ilma Judith Prado Duque	Vocal II
MSc. Arq. Alice Michele Gómez García	Vocal III
Br. Andrés Cáceres Velazco	Vocal IV
Br. Andrea María Calderón Castillo	Vocal V
Arq. Marco Antonio de León Vilaseca	Secretario Académico

## Tribunal Examinador

MSc. Arq. Edgar Armando López Pazos	Examinador
Arq. Jorge González Peñate	Examinador
Arq. Marco Antonio de León Vilaseca	
MSc. Arq. Edgar Armando López Pazos	

## Agradecimientos

**A Dios:** por darme la posibilidad de esta vida que me tocó vivir, por todo lo bueno que ha sido conmigo, por amarme como me ha amado.

**A mi madre:** por su lucha incansable, por creer en mí y en cada una de las cosas que se me han ocurrido en esta vida.

**A mi Hermana:** Por su incondicional amor y apoyo.

**A mi Esposa:** Jennifer por todos estos años de amor, empatía y apoyo incondicional.

**A mis Hijos:** Ximena, Esteban y Valeria, por darme tanto amor, por haber construido en esta vida una historia de hermosas vivencias.

**A todos mis amigos:** Que son tantos que no los podría nombrar a todos, pero en especial a Kike, David, Claudio, Richi, Julio.

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala:** Por la oportunidad de formar parte de la tricentenaria familia de esta honorable casa de estudios.

**A la Facultad de Arquitectura:** Por las maravillosas vivencias que me permitió tener mientras me formaba como profesional.

**A mis maestros:** Quienes fueron tantos en general muchas gracias por haber sido el enlace entre la academia y el que hacer de la arquitectura, en especial a: Arq. Edgar López, Arq. Virgilio Ramírez, Arq. Danilo Callén, Arq. Jorge González, Arq. Gabriel Barahona, Arq. Vinicio González, Arq. Fernando Salazar, Arq. Joaquín Juárez.

# Introducción

El espectro de utilización del concreto es tan amplio que pueden nombrarse, desde carretas, puentes, túneles, vivienda unifamiliar y en masa, edificios comerciales, públicos, privados, hasta juegos infantiles. Este material ofrece sus cualidades de solidez y longevidad a los objetos arquitectónicos en los que se convenga utilizarlo.

El aprovechamiento de la durabilidad del concreto y su compatibilidad con las convenientes características de fluidez y plasticidad que posee, le permiten ser adaptable a casi cualquier geometría, dentro de los parámetros estructurales que sus atributos le permiten, haciendo de éste una excelente alternativa como material de construcción en la variedad de desafíos que a diario se presentan a los diseñadores y ejecutores de proyectos.

La variedad de alternativas específicas del concreto, en la oferta del mercado regional permiten crear la infraestructura necesaria para su utilización más allá de los conceptos tradicionales de habitación, comercio, salud, etc. Mediante su uso pueden fomentarse actividades de ocio y recreación para la población; así como también, propiciar el progreso y desarrollo de las comunidades más alejadas de las infraestructuras urbanas existentes. Además, permite potenciar las capacidades de comercialización de los productos de dichas comunidades de maneras más rápidas y eficientes.

Cabe recordar que, a partir del terremoto de 1976, el uso del concreto se masificó a nivel nacional, situándolo como el material de construcción con mayor vocación de aplicación en Guatemala. La amplia oferta del mismo para ser conformado en el sitio de construcción, o en plantas especializadas de producción, con certificaciones de carácter mundial, lo sitúan como una excelente alternativa al momento de elegir un material de construcción adecuado, versátil y conveniente.

El acceso y disponibilidad inmediata a los elementos que componen el concreto lo convierten en un material de fácil adquisición en el territorio nacional. El concreto y los compuestos que ayudan a mejorar su desempeño han tenido una permanente mejoría, producto de la investigación y del desarrollo de aditivos, fibras, formaletas, equipos automatizados de colocación, acero de refuerzo, etc. Todos estos elementos brindan a los diseñadores y constructores la posibilidad de cumplir con los requerimientos específicos de cada proyecto, adaptándose a la singularidad de sus

características. Además, es un material apropiado para la construcción, provechoso en todos los sentidos, principalmente, en lo que respecta al costo-beneficio de inversión.

Con base en lo anterior, en la presente tesis se consideró importante la elaboración de una *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, que además de reafirmar la versatilidad de este elemento constructivo, aporte datos históricos, evolución, calidades, propiedades, marco legal y normativa de calidad para su elaboración. Asimismo, se analiza el cemento como material principal para la fabricación de concreto.

# Índice

Introducción .....	5
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>2</b>
1.1-Definición del Problema.....	2
1.2-Justificación .....	2
1.3-Objetivos .....	3
1.3.1-Objetivo General.....	3
1.3.2-Objetivos Específicos:.....	3
1.4-Delimitación del tema.....	3
1.5-Metodología .....	4
1.5.1-Primera Etapa .....	4
1.5.2-Segunda Etapa:.....	4
1.5.3-Tercera Etapa: .....	4
Capítulo 2.....	6
2.1 -Antecedentes del concreto .....	6
2.2-Uso temprano del concreto.....	6
2.3-El panteón .....	8
2.4-Hitos tecnológicos.....	9
2.5-Composición del cemento Portland moderno .....	9
2.6-Hornos .....	9
2.7-Hitos del edificio.....	10
2.8-El Cemento en Guatemala.....	12
2.9-Concreto Premezclado, en Guatemala .....	13
2.10- Propuesta: <i>Guía Teórica Básica del Concreto como Material de Construcción</i> .....	13
2.11-Cementador .....	14
2.10-La historia del concreto .....	14
2.12-Concretos de cementos naturales .....	15
2.13-Estudios teóricos.....	15
2.14-Concreto de altas prestaciones.....	16

2.15-Línea de tiempo.....	16
2.16-Los avances.....	16
2.17-Término concreto .....	17
2.18-Agregados .....	17
2.18.1- Agregados finos .....	17
2.18.2-Agregados gruesos.....	17
2.19-Calidad del concreto .....	17
2.20-Propiedades del concreto.....	18
2.21-El concreto como material de construcción .....	18
2.22-Cohesión .....	18
2.23-Otros componentes.....	18
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>21</b>
<b>Marco Legal.....</b>	<b>21</b>
3.1 Normas .....	21
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>24</b>
<b>Cemento, cementadores.....</b>	<b>24</b>
4.1-Cemento .....	24
4.2-Cementantes hidráulicos .....	24
4.4-Historia .....	25
4.5-Historia en Guatemala .....	25
4.6-Fabricación .....	25
4.7-Clinker Portland.....	25
4.8-Tipos según normas.....	26
4.9-Cementos locales .....	26
4.10-Proceso .....	27
4.11-Proceso Cempro .....	27
4.12-Control de Calidad .....	28
4.13-Pruebas físicas.....	28
4.14-Producción de calidad en la Planta San Miguel.....	28
4.15-Características y usos.....	30



4.15.1- Tipo Ari para fabricantes .....	30
4.15.2- Tipo Ari para fabricantes block .....	30
4.15.3-Cemento Blanco .....	31
4.15.4- Cemento para obras marinas.....	31
4.15.5-Cemento para fabricantes .....	32
4.15.6-Cemento Estructural .....	32
4.15.7-Pegablock .....	33
4.15.8-Usos general en la construcción.....	33
4.15.9-Ultra Performance .....	34
4.16-Tipos de cemento internacional.....	<b>34</b>
4.16.1-El cemento portland tipo I .....	34
4.16.2-El cemento portland tipo IA.....	34
4.16.3-El cemento portland tipo II.....	34
4.16.4-El cemento portland tipo IIA.....	34
4.16.5-El cemento portland tipo III.....	35
4.16.6-El cemento portland tipo IV .....	35
4.16.7-El cemento portland tipo V .....	35
4.17-Cementos hidráulicos mezclados .....	<b>35</b>
4.18-Cementos expansivos .....	<b>36</b>
4.19-Cementadores inorgánicos .....	<b>37</b>
4.20-Morteros.....	<b>37</b>
4.21- Propiedades del mortero .....	<b>37</b>
4.22- Adherencia .....	<b>38</b>
4.23- Por su origen.....	<b>38</b>
4.24-Morteros premezclados húmedos.....	<b>38</b>
4.25-Morteros premezclados secos .....	<b>38</b>
4.26-Morteros para mampostería .....	<b>38</b>
4.26.1-Clasificación de los morteros de mampostería .....	38
4.26.2-Características del Mortero tipo M .....	39
4.26.3-Características del Mortero tipo S.....	39

4.26.4-Características del Mortero tipo N.....	39
4.26.5-Características del Mortero tipo O .....	39
4.27-Correlación entre morteros y piezas de mampostería.....	40
4.28-Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno.....	40
4.29-Control de calidad de los morteros de pegado .....	40
4.29.1-Ensayo de retención de agua.....	41
4.30-Definiciones generales de morteros.....	41
4.31- Cal .....	42
4.32- Calcinación .....	42
4.33- Cal viva .....	42
4.34-El óxido de calcio .....	43
4.34.1-Cales grasas .....	43
4.34.2-Cales magras.....	43
4.35-Cal apagada .....	43
4.36-Cal hidratada.....	43
4.37-Proceso de producción de cal.....	43
4.38-Descripción del proceso .....	45
4.39-Apagado de cales a pie de obra. ....	46
4.40-Estabilizador de suelos .....	46
4.41-Proceso de estabilización.....	46
4.42-La cal aérea .....	47
4.43-Otros usos de la cal aérea.....	48
4.44-Cal hidráulica.....	48
4.45-Yeso.....	49
4.45.1-Yeso crudo .....	49
4.45.2-El yeso cocido .....	49
4.46-Una breve historia.....	50
4.47-Como material de construcción .....	50
4.48-Variedades comerciales y sus aplicaciones.....	50
4.49-Yeso prefabricado.....	51

4.50-Yeso natural triturado .....	51
4.51-Tipos de yeso en construcción.....	51
4.52- Yesos industriales o de horno mecánico .....	51
4.53-Yeso grueso de construcción .....	52
4.54-Yeso fino de construcción .....	52
4.55-Otros yesos .....	52
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>53</b>
<b>Agregados .....</b>	<b>53</b>
5.1-Definicion .....	53
5.2-Agregado .....	53
5.3-Clasificación de las rocas .....	53
5.4-Rocas Ígneas .....	53
5.5-Rocas Sedimentarias .....	54
5.6-Rocas Metamórficas.....	54
5.7-Metamorfismo de contacto .....	54
5.8-Metamorfismo regional o dinámico.....	54
5.9-Según su origen .....	54
5.10-Agregados naturales .....	54
5.11-Agregados artificiales.....	54
5.12- Por su tamaño .....	54
5.13-Por su densidad .....	54
5.14-Cualidades .....	55
5.15-Agregado fino.....	55
5.16-Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos.....	56
5.17-Impurezas orgánicas.....	56
5.18-Agregado grueso .....	56
5.19-Graduación .....	57
5.20-Sustancias perjudiciales.....	57
5.21-Características .....	57
5.22- La humedad de los agregados .....	57

5.23-Peso específico.....	57
5.24-Peso unitario .....	58
5.25-Análisis de las propiedades mecánicas .....	58
5.26-Resumen del método .....	58
5.27-Aparatos .....	58
5.28-Muestra de ensayo.....	59
5.29.1-Procedimiento .....	59
5.30-Análisis de las propiedades químicas.....	59
5.31-Examen petrográfico .....	59
5.32-Toma de muestras .....	60
5.33-Muestras agregado fino .....	60
5.34-Examen de la grava natural.....	60
5.35-Exámenes de la arena natural .....	61
5.36-El Petrógrafo .....	61
5.37-Examen de la roca expuesta.....	61
5.38-Examen de la roca triturada .....	61
5.39-Examen de la arena manufacturada .....	61
5.40-Cálculos de las pruebas .....	61
5.41-Informes examen petrográfico.....	62
5.42-Método químico para medir la reactividad potencial .....	62
5.42.1-Aplicación y uso.....	62
5.42.2-Selección y preparación de la muestra .....	62
5.43-Componentes del concreto.....	63
5.44-Propiedades físicas de los agregados.....	63
5.45-La forma de los agregados.....	64
5.46-Granulometria .....	64
5.47-Exceso de materiales.....	65
5.48-Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido...	65
5.49-Capacidad de absorción.....	65
5.50-Densidad .....	65

5.51-Adhesion .....	66
5.52-Contaminación .....	66
5.53-Resistencia de las partículas.....	66
5.54-Agregados artificiales.....	66
5.55-Los agregados ligeros.....	66
5.56-Fabricación de agregados ligeros o ultra – ligeros. ....	67
5.57-Preparación por la vía seca.....	67
5.58-Preparación por la vía húmeda .....	67
5.59-Procedimiento del horno rotativo .....	68
5.60-Forma y tamaño de los granos .....	68
5.61-Densidad aparente, densidad real y porosidad de los granos.....	69
5.62-Masa unitaria del árido .....	69
5.63- Módulo de elasticidad y resistencia propia de los granos .....	69
5.64-Absorción de agua.....	69
5.65-Resistencia al congelamiento y deshielo.....	69
5.66-Propiedades térmicas .....	70
5.67-Ingredientes perjudiciales .....	70
5.68-Forma y textura superficial .....	70
5.69-Forma .....	70
5.70-Textura.....	70
5.71-Recomendaciones.....	71
5.72-Manejo y almacenamiento de los agregados.....	71
5.73-Recomendaciones para el uso de agregados .....	72
<b>Capítulo 6.....</b>	<b>73</b>
<b>Agua para concreto.....</b>	<b>73</b>
6.1-El agua .....	73
6.2-Aguas disolventes .....	73
6.3-Aguas con contenido de sulfatos .....	73
6.4-Rol del agua .....	73
6.5-Agua de mezclado.....	74

6.6-Agua de curado .....	74
6.7-Diseño de mezcla.....	74
6.8-Relación agua/cemento.....	74
6.9-Cualidades del agua .....	74
6.10- Cualidades e incidencias del agua del curado .....	75
6.11-Funciones del agua .....	75
6.12-Extracción de agua .....	76
6.13-Impurezas orgánicas .....	76
6.14-Impurezas inorgánicas .....	76
6.15-Mezclado agua de mar .....	76
6.16-Contaminación por desechos industriales.....	76
6.17-Requisitos .....	77
6.18-Partes por millón .....	77
6.19-Estudios comparativos.....	77
6.20-PH del agua.....	77
6.21-Los cloruros.....	78
6.22-Requisitos para uso de agua .....	78
6.23-Fuentes de agua.....	79
6.24-Constancia de la fuente .....	79
6.25-Densidad del agua combinada .....	80
.....	80
<b>Capítulo 7.....</b>	<b>81</b>
<b>Concreto.....</b>	<b>81</b>
7.2-El cemento.....	81
7.3-El concreto convencional.....	81
7.4-Característica estructural.....	81
7.5-Sus componentes.....	82
7.6- La pasta .....	82
7.7-Características mecánicas del concreto.....	82
7.8-Características físicas del concreto .....	83

7.8.1-Resistencia a tracción.....	83
7.8.2-Tiempo de fraguado .....	83
7.8.3-Tiempo de endurecimiento .....	83
7.9-Fraguado y endurecimiento .....	83
7.9.1-El proceso de fraguado y endurecimiento .....	83
7.10-El fenómeno físico de endurecimiento .....	84
7.11-Consistencia del concreto fresco .....	84
7.12-Durabilidad.....	85
7.12.1-Prueba de compresión.....	85
7.13-Fabricación.....	85
7.14-Aspectos básicos de la fabricación .....	85
7.15-Puesta en obra.....	86
7.15.1-Colocación de armaduras .....	86
7.15.2-Encofrado.....	86
7.15.3-Colocación y compactación .....	86
7.17-Desencofrado y acabados.....	87
7.18-Mezclado en sitio.....	87
7.19-Consolidación .....	88
7.20-Hidratación .....	88
7.21-Los silicatos de calcio.....	89
7.22-Concreto endurecido.....	90
7.22.1-Velocidad de secado del concreto.....	90
7.23-Peso Unitario .....	91
7.24-Características estructurales.....	91
7.25-Características físicas del concreto .....	92
7.25.1-Forma de partícula y textura superficial .....	92
7.25.2-Peso volumétrico y vacíos.....	92
7.27.3-Peso específico .....	92
7.25.4-Absorción y humedad superficial .....	92
7.26-Proporcionamiento de mezclas de concreto normal.....	92

7.26.1-Elección de las características de la mezcla .....	92
7.27-Cementos recomendables por sus efectos en el concreto .....	93
7.28-Efectos en el concreto fresco .....	93
7.29-Pérdida de revenimiento .....	94
7.30-Asentamiento y sangrado.....	94
7.31-Efectos en el concreto endurecido .....	96
7.32-Generación de calor.....	97
7.33-Resistencia al ataque de los sulfatos .....	97
7.33.1-Ácidos inorgánicos .....	97
7.33.2-Ácidos orgánicos.....	97
7.33.3-Soluciones alcalinas .....	97
7.33.4-Soluciones salinas.....	98
7.33.5-Despreciables .....	98
7.34-Estabilidad volumétrica .....	98
7.35-Estabilidad química .....	98
7.36-Reacciones perjudiciales .....	98
7.36.1-Álcali-sílice .....	98
7.36.2-Álcali-agregado Álcali-silicato.....	99
7.36.3-Álcali-carbonato .....	99
7.37-Diseño de Mezcla.....	99
7.38-Diseños elementales .....	99
7.38.1-Diseño Único.....	99
7.38.2-Receta ampliada.....	99
7.39-Cálculo de la proporción entre agregados finos y gruesos .....	100
7.40-Datos para el Diseño de Mezcla .....	100
7.41-El asentamiento .....	100
7.41.1-Valores usuales de asentamiento.....	100
7.42.2-Ley de Abrams.....	100
7.42.3-Aplicación de la ley de Abrams.....	101



7.42.4-Aire atrapado .....	102
7.42.5-Volumen absoluto de los agregados.....	102
7.43-Diseños Inversos.....	<b>102</b>
7.43.1-Corrección por humedad .....	102
7.44-Fraguado y endurecimiento .....	<b>103</b>
7.44.1-En condiciones normales.....	103
7.45-Resistencia .....	<b>104</b>
7.45.1-Limite de resistencia.....	104
7.46-Consistencia del concreto fresco.....	<b>104</b>
7.46.1-La consistencia.....	104
7.46.2-Clasificación de los concretos por su consistencia.....	104
7.47-Tipos de concreto .....	<b>104</b>
7.47.1-Concreto ordinario .....	105
7.47.2-Concreto en masa.....	105
7.47.3-Concreto armado.....	105
7.47.4-Concreto pretensado .....	105
7.47.5-Mortero.....	105
7.47.6-Concreto ciclópeo.....	105
7.47.7-Concreto sin finos .....	105
7.47.8-Concreto aireado o celular .....	105
7.47.9-Concreto de alta densidad .....	105
7.48-Resistencia a congelación y deshielo .....	<b>105</b>
7.49-Permeabilidad y hermeticidad.....	<b>106</b>
7.50-Resistencia al desgaste.....	<b>107</b>
7.51-Estabilidad volumétrica.....	<b>107</b>
7.52-Control de agrietamiento .....	<b>107</b>
7.52.1-La contracción por secado .....	107
7.52.2-Las juntas.....	108
7.53-Consistencia del concreto premezclado .....	<b>108</b>

7.54-El cono de Abrams.....	109
7.54.1-Molde.....	109
7.54.2-Molde para ensayo del asentamiento .....	110
7.54.3-Molde fabricado con materiales alternativos.....	110
7.55-Los ensayos comparativos.....	110
7.56-Varilla Apisonadora.....	110
7.57.1-Procedimiento .....	111
7.58-Informe .....	112
7.59-Costos del exceso de agua en el concreto .....	113
7.60-Defectos visibles en el concreto endurecido .....	114
7.61-Causas de la fisuración .....	115
7.61.1-Movimientos .....	115
7.61.2-Expansión.....	115
7.61.3-Condiciones impuestas externamente .....	115
7.61.4-Por esfuerzo o por cargas externas .....	115
7.61.5-Por variaciones internas .....	115
7.61.5-Tipos de fisura por causa y edad.....	115
7.61.6-Después de endurecer .....	115
7.62-La fisuración como síntoma.....	116
7.62.1-Clasificación de las fisuras .....	116
7.62.2-Tipificación de fisuras .....	116
7.63-Agua de mezclado para el concreto.....	116
7.64-Las impurezas.....	116
7.64.1-Carbonatos y bicarbonatos alcalinos.....	117
7.64.2-Cloruros.....	117
7.64.3-Concreto pre forzado .....	117
7.64.4-Sulfatos .....	117
7.64.5-Otras sales comunes .....	117
7.64.6-Sales de hierro.....	117

7.64.7-Diversas sales inorgánicas.....	118
7.64.8-Agua de mar .....	118
7.64.9-Aguas acidas .....	118
7.64.10-Aguas alcalinas.....	118
<b>Capítulo 8.....</b>	<b>119</b>
<b>Periféricos del concreto.....</b>	<b>119</b>
8.1-Vibrado del concreto.....	119
8.2-Objetivo .....	119
8.3-Vibración interna.....	119
8.3-Los vibradores de eje flexible .....	120
8.4-Los vibradores de alta frecuencia.....	120
8.5-Aplicaciones y tamaños de equipo recomendados .....	120
8.6-Implicancias de su dimensión.....	120
8.7-Vibración externa de formaleta .....	120
8.8-Vibración externa superficial.....	121
8.9-Mesas vibratorias .....	121
8.10-Vibración por rodillos .....	121
8.11-Revibrado .....	121
8.12-Los aparatos vibratorios convencionales.....	122
8.13-La compactación del concreto.....	122
8.14-Consideraciones de seguridad.....	123
8.15. Principales componentes .....	124
8.15.1-Principales componentes del motor .....	124
8.16-Previsiones antes de su uso .....	124
8.17-Operación del equipo .....	124
8.18-Almacenamiento.....	125
8.19-Mantenimiento.....	125
8.20-Ventajas del vibrado .....	125
8.21-El volumen del aire atrapado .....	126
8.22-Aire incluido .....	126

8.23-La segregación .....	127
8.24-Formaletas.....	128
8.25-Sistema tradicional.....	128
8.26-Encofrado modular o sistema normalizado.....	128
8.27-Encofrado deslizante.....	128
8.28-Encofrado perdido.....	128
8.29-Encofrado de aluminio.....	128
8.30-Tipos de encofrado.....	128
8.31-Recomendación en su uso.....	129
8.32-Desencofrado.....	129
8.33-Embebidos en el concreto.....	130
8.34-Aditivos.....	130
8.35-Inclusores de aire .....	130
8.36-Fluidizantes.....	130
8.37-Retardantes del Fraguado .....	131
8.38-Acelerantes de la resistencia.....	131
8.39-Estabilizadores de volumen.....	131
8.40-Endurecedores .....	131
8.41-Fabricación.....	131
8.42-Lignosulfonatos.....	132
8.43-Naftalén sulfonatos.....	132
8.44-Melamina sulfonatos.....	132
8.45-Copolímeros vinílicos.....	132
8.46-Policarboxilatos .....	132
8.47-Agentes de viscosidad .....	133
8.48-Tipos: .....	133
8.49-Ensayos:.....	133
8.50-Impacto .....	134
8.51-Evolución.....	134
8.52-Situación normativa de los aditivos.....	135

8.53-Norma guatemalteca .....	135
8.54-Tipos o clases .....	135
8.55-Plastificantes .....	135
8.56-Fluidificantes .....	135
8.57-Súper fluidificantes .....	135
8.57.1-Usos .....	135
8.58-Tipos .....	135
8.59-Aceleradores de fraguado .....	135
8.60-Retardadores de fraguado .....	136
8.61-Aceleradores de endurecimiento.....	136
8.62-Otros aditivos .....	136
8.62.1-Colorantes .....	136
8.62.2-Anticongelantes.....	136
8.62.3-Impermeabilizantes .....	136
8.63-Normas generales sobre aditivos.....	137
8.64-Resumen sobre los aditivos.....	137
8.65-Los retardantes.....	138
8.66-Los acelerantes y los acelerantes .....	138
8.67-Tipos de acelerantes de acuerdo a su composición química .....	138
8.68-El ion cloro o cloruro .....	139
8.69-Acelerantes sin cloruro .....	139
8.70-Inclusores.....	139
8.70.1-Recomendaciones de uso.....	139
8.71-Reductores de retracción .....	140
8.72-Inhibidores de corrosión.....	140
8.73-Inhibidores de corrosión catódicos .....	141
8.74-Inhibidores de corrosión anódicos.....	141
8.75-Activadores.....	141
8.76- Adiciones minerales .....	142
8.77-Fibras .....	142

8.79-Fibras metálicas .....	143
8.80-Fibras sintéticas .....	143
8.81-Fibras de vidrio .....	143
8.82-Fibras naturales .....	143
8.83-Microfibras .....	144
8.83-Macrofibras .....	144
8.85-Concreto lanzado .....	145
8.86-El hierro .....	145
8.87-Acero corrugado .....	145
8.88- El acero para refuerzo .....	146
8.89-Tipos de aceros .....	147
8.90-Grados del acero para refuerzo en Guatemala .....	147
8.91-Varilla corrugada .....	148
8.92-Varilla Lisa.....	152
8.93-Malla electrosoldada.....	152
<b>Capítulo 9.....</b>	<b>156</b>
<b>Concreto premezclado.....</b>	<b>156</b>
9.1-Concreto premezclado.....	156
9.2-Historia .....	156
9.3-Definición.....	156
9.4-Reducción de costos de mano de obra.....	156
9.5-Reducción de costos de herramientas y equipos.....	157
9.6-Almacenamiento de materia prima.....	157
9.7-Mezclas homogéneas .....	157
9.8-Control de calidad.....	157
9.9-Tomar en cuenta.....	157
9.10-Concreto premezclado en Guatemala .....	158
9.11-Mixto Listo .....	159
9.12-Reseña histórica .....	159
9.13-Tipos de concretos fabricados por Mixto Listo .....	160

9.13.1-Resistencia acelerada.....	160
9.13.2-Concreto superfluido .....	160
9.13.3-Concreto de bajo asentamiento .....	160
9.13.4-Concreto de alta permeabilidad .....	160
9.13.5-Concreto de vivienda en sSerie.....	160
9.13.6-Concreto convencional .....	160
9.13.6-Concreto lanzado .....	160
9.13.7-Concreto para cimentaciones profundas .....	160
9.14-Proceso de fabricación del concreto .....	<b>161</b>
9.15-Dosificación.....	<b>161</b>
9.16-Mezclado .....	<b>161</b>
9.17-Transporte y manejo del concreto.....	<b>161</b>
9.18-Segregación .....	<b>162</b>
9.19-Colocación del concreto .....	<b>162</b>
9.20-El curado .....	<b>162</b>
9.21-Ensayo de muestras.....	<b>162</b>
9.22-Inspección en planta .....	<b>163</b>
9.23-Ensayo de muestras hechas en planta .....	<b>163</b>
9.24-Inspección en obra .....	<b>163</b>
9.25-Ensayo de muestras en obra .....	<b>164</b>
9.26-Impacto del uso del cemento.....	<b>164</b>
9.27-Costos de fabricación del concreto.....	<b>164</b>
9.28-Alto desempeño.....	<b>164</b>
9.28.1-Concreto ambientes marinos .....	164
9.28.2-Concreto baja permeabilidad .....	165
9.28.3-Concreto cimentaciones profundas .....	<b>166</b>
9.28.4-Concreto de baja contracción .....	166
9.28.5- Concreto lanzado .....	167
9.28.7-Concreto relación agua cemento .....	169

9.29-Concreto Convencional .....	170
9.29.1-Concreto alta durabilidad .....	170
9.29.2-Concreto convencional .....	172
9.29.3-Concreto convencional de bajo asentamiento .....	172
9.29.4-Concreto resistencia a 56 días.....	173
9.30-Concreto Tech.....	174
9.30.1-Concreto alta resistencia (tech) .....	174
9.30.2-Concreto autocompactable (tech) .....	174
9.30.3-Concreto con color (tech) .....	175
9.30.4-Concreto fiberpavtech .....	176
9.30.5-Concreto impermeable (tech).....	176
9.31-Eficiencia del concreto premezclado .....	177
9.32-Concreto pre dosificado (premezclado en seco) .....	178
9.33-Concreto predosificado (premezclado en seco) Mixto Listo.....	178
9.34-Instrucciones de uso .....	178
9.35-Medidas de seguridad .....	179
9.36-Grout .....	179
9.36.1-Grout para mampostería .....	179
9.36.2-Grout para mortero .....	179
9.37-Características .....	180
9.37.1-Resistencia a compresión.....	180
9.37.2-Textura .....	180
9.37.3-Trabajabilidad.....	180
9.37.4-Grout (lechada de relleno).....	180
9.38-Tipos .....	180
9.39-Grouting .....	180
9.40-Grouts cementicios .....	180
9.41-Grouts epóxicos .....	180
9.42-Colcación.....	181



9.43-Selección .....	181
9.44-Grout Mixto Listo Maxi Pasta.....	181
9.45-Instrucciones de uso .....	182
9.46-Recomendaciones.....	182
<b>Glosario .....</b>	<b>184</b>
A.....	184
B .....	184
C.....	185
D.....	185
E.....	185
F.....	185
H.....	186
L.....	186
M .....	186
N.....	186
P .....	186
R .....	186
S.....	186
T .....	187
V .....	187
Conclusiones .....	188
Recomendaciones.....	189
Referencias.....	190

# Capítulo 1

## 1.1-Definición del Problema

La estructura del p nsum de estudios de la licenciatura en Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala aborda la formación académica del estudiante desde diferentes áreas de formación las cuales responden a los enfoques siguientes: científico, social, artístico, técnico e histórico. El estudiante se ve envuelto en el desarrollo progresivo de dichos enfoques de conocimiento, los cuales le aportan una formación académica integral entre la teoría y la práctica, que le será de utilidad, al momento de encontrarse en el ejercicio de la profesión y con la necesidad de resolver las distintas situaciones relacionadas con cualquiera de las competencias del arquitecto.

El presente estudio, tiene entre sus objetivos brindar conocimientos acerca de los materiales de construcción, específicamente del concreto, lo cual se considera será un referente formativo para los estudiantes de los primeros años de la Licenciatura en Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Además, se consideró que mediante la elaboración de la *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, se aportan los fundamentos conceptuales básicos para que los futuros profesionales de la Arquitectura apliquen con criterio científico los conocimientos adquiridos para el mejor desempeño de su profesión.

En la actualidad existe una variedad de bibliografía que aborda el tema del concreto, enfocándose, básicamente, en criterios de rendimiento, diseño de resistencia, mejora de las propiedades, formas de aplicación y transporte etc. Estos conceptos puestos en práctica, adecuadamente, ofrecen un aporte valioso para alcanzar los resultados esperados, en los términos requeridos por los diseñadores, , en general, por los clientes del sector público o privado de la Construcción.

La mayor parte de dicha bibliografía, es de origen extranjero, por lo cual utiliza terminología y lenguaje propios del país de origen del autor, complicando el entendimiento de las temáticas expuestas. Alguna información est  elaborada en términos comerciales, lo que la circunscribe únicamente al enfoque y lenguaje propiamente comercial. Aunque los textos puede llegar a cumplir la función para la cual fueron creados, estos , en algunos casos limitan su explicación a generalidades de los materiales, lo que va en detrimento de los intereses de instrucción técnica de quienes los consultan.

Los documentos que se mencionan en el párrafo anterior podrían ser adaptados para apoyar al docente de este tipo de cursos del área tecnológica de la Facultad de Arquitectura de la USAC; sin embargo, podrían, en determinado momento, limitar la amplitud del espectro de conocimiento del tema por las causas expuestas.

En lo que respecta a documentos de apoyo a estudiantes y docentes de la Facultad de Arquitectura, pueden mencionarse proyectos de graduación enfocados en las distintas líneas de aprendizaje relacionados con la Arquitectura, pero no todas las áreas conocen dichos documentos de apoyo,, provocando un importante déficit de valiosa información que pudiera ser utilizada, tanto por docentes, como por estudiantes en el proceso enseñanza-aprendizaje que se lleva a cabo dentro de la Facultad de Arquitectura.

En la actualidad no existe ningún estudio o guía teórica básica que aborde, en específico, el uso del concreto como material de construcción.

En la Facultad de Arquitectura de la USAC se cuenta con algunos cursos, en el área de tecnología, relacionados con los materiales de construcción que abordan dicha temática, en cuanto a uso y aplicación. de forma general. Dichos cursos se complementan gradualmente mediante los sucesivos cursos sobre construcción, conforme el estudiante avanza la carrera.

## 1.2-Justificación

Uno de los principales problemas que afronta el estudiante de la Facultad de Arquitectura de la USAC, en los primeros años de formación, se presenta al momento de concebir y proponer un objeto arquitectónico, debido a que, en muchos casos, desconoce

sobre la idoneidad de los materiales que pueden utilizar para la materialización de sus propuestas arquitectónicas. Como resultado de este desconocimiento, se dificulta prever los comportamientos físicos, mecánicos y la incidencia económica que conlleva la esta limitación de conocimiento en el desarrollo de un proyecto. Cabe indicar que, la parte creativa de la propuesta puede verse mermada en función de dicha limitación., Lo anterior, indudablemente incidirá en la propuesta arquitectónica planteada debido a que los procesos de diseño implican un ejercicio racional, en donde la parte creativa, tecnológica, constructiva y el entorno en donde se encuentra inmerso el objeto producen que, el resultado final de la propuesta sea satisfactorio o insatisfactorio, para quienes fue planificado como entes de uso y consumo del espacio.

Por otro lado, a nivel docente, la existencia de documentos de apoyo específicos para el tema de concreto no es tan abundante como debiera de serlo, ya que este es el material más común utilizado en la construcción, en el país. La bibliografía existente, en su mayoría consiste en documentos aislados unos de otros. No abordan el tema del concreto desde su integralidad, siendo un material compuesto por otros elementos.

Muchas empresas productoras de los materiales que componen el concreto, abordan la temática como se mencionó anteriormente, de una forma netamente comercial, dejando de lado la parte técnico-científica de los mismos.

En conclusión, puede indicarse que la *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, podrá ser utilizada como herramienta de apoyo a la docencia, y que además, será fuente de consulta para los estudiantes. La Guía, producto de la presente tesis es un recurso enmarcado en la parte didáctica, aplicable al área tecnológica dentro del pñsum de estudios vigente de la licenciatura en Arquitectura del Universidad de San Carlos de Guatemala.

### 1.3-Objetivos

#### 1.3.1-Objetivo General

Elaborar una *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, que sirva de apoyo a la docencia en el área tecnológica y de construcción dentro del pñsum de estudios de la Licenciatura en Arquitectura, así como también, una fuente de consulta para estudiantes, profesionales y constructores.

#### 1.3.2-Objetivos Específicos:

- Contar con una herramienta de consulta para estudiantes y docentes, que contribuya al desarrollo del conocimiento sobre el concreto.
- Introducir a los estudiantes de la Facultad de Arquitectura en los conocimientos acerca del concreto y sus características.
- Proporcionar los lineamientos necesarios para que el estudiante seleccione y aplique los distintos tipos de concreto.

### 1.4-Delimitación del tema

Para la elaboración de este documento se utilizó como referencia, el curso Introducción a la Construcción, Materiales de Construcción (3.04.7) del Cuarto Ciclo del pñsum de estudios vigente de la licenciatura en Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La tesis expone la integralidad del cemento, como cementante inorgánico universal en la construcción y su rol determinante para la obtención del concreto. Además, se incluye la evolución histórica, obtención, procesos, y otros factores pertinentes, hasta su consolidación como concreto; siendo este último aspecto, el objetivo principal del tema de estudio. El presente trabajo tiene una validez de 5 años, a partir de la fecha de su publicación, en consideración de que los contenidos del curso de

Introducción a la Construcción, Materiales de Construcción podrían ser modificados en función de una futura reestructuración del p<sup>é</sup>nsum de estudios de la Facultad de Arquitectura, o bien, en atención a las necesidades académicas que las autoridades facultativas determinen pertinentes.

## 1.5-Metodología

Luego de planteada la parte teórica de la presente tesis, corresponde explicar la metodología aplicada en la misma. Para ello, el proceso metodológico se dividió en tres etapas que se describen a continuación.

Como se indicó anteriormente, el plan de trabajo se dividió en tres etapas, las cuales permitieron alcanzar el objetivo del proyecto de graduación propuesto, siendo éstas: recopilación de información de distintas fuentes; análisis, categorización y depuración de la información, finalmente, elaboración de la guía propuesta.

### 1.5.1-Primera Etapa

Durante la primera etapa, se llevaron a cabo, las siguientes actividades:

- Recopilación de información bibliográfica disponible en diversas fuentes, tanto físicas como virtuales.
- Aplicación de herramientas de investigación de campo, tales como: encuestas a estudiantes arquitectura, acerca de su conocimiento sobre el tema. Además, entrevistas a catedráticos de la Facultad de Arquitectura, acerca de su experiencia docente en relación con el tema del concreto. Cabe indicar que la información recopilada durante las entrevistas se tomó en consideración para la elaboración de la guía.
- Investigación de gabinete: análisis del programa del Curso Introducción a la Construcción, Materiales de Construcción (3.04.7) del Cuarto Ciclo del p<sup>é</sup>nsum de estudios vigente de la licenciatura de Arquitectura de la USAC.

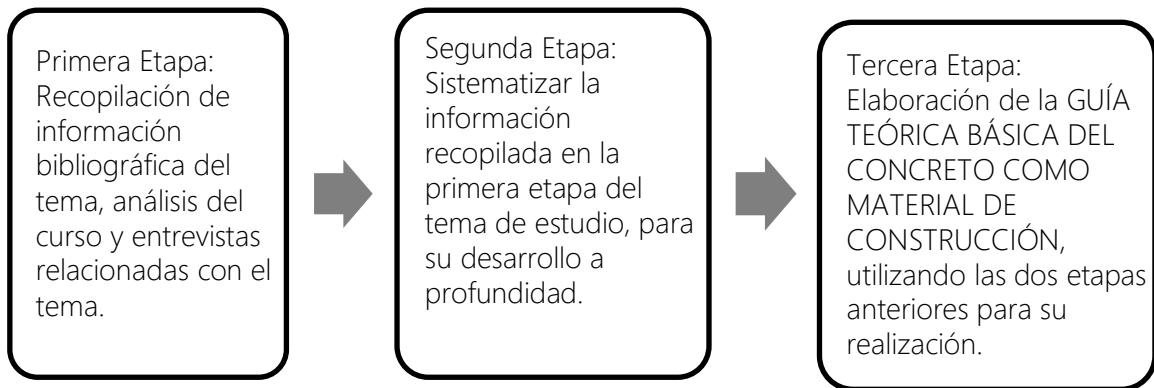
### 1.5.2-Segunda Etapa:

Se analizará y sistematizará la información recopilada en la primera etapa, determinando si con lo recabado es suficiente para la elaboración final de la guía, para así tener mayor claridad y dominio de la información, de los temas a incluir de forma teórica en el documento final.

### 1.5.3-Tercera Etapa:

Elaboración de la **GUÍA TEÓRICA BÁSICA DEL CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**, cumpliendo con los requisitos didácticos y académicos requeridos para un trabajo de esta modalidad.

## Diagramación de metodología propuesta



# Capítulo 2

## 2.1 -Antecedentes del concreto

Historia del concreto y sus antecedentes en la construcción

La historia del concreto es tan antigua, que se ignora cuándo y dónde comienza. Es una historia de descubrimiento, experimentación y misterio. Emperadores y reyes se convirtieron en leyendas al erigir grandes estructuras de concreto, algunas de las cuales siguen siendo un misterio para los ingenieros de hoy. Muchos de los arquitectos más hábiles de la historia encontraron inspiración en losas del material de construcción gris.

El tiempo en el cual el concreto se inventó, depende de cómo se interprete el término «concreto». Los materiales antiguos eran cementos crudos hechos por trituración y quema de yeso o piedra caliza. Cuando se agregaron arena y agua a estos cementos, se convirtieron en mortero, que era un material parecido al yeso utilizado para adherir piedras entre sí. Durante miles de años, estos materiales se mejoraron, se combinaron con otros materiales y, finalmente, se transformaron en el concreto moderno.

El concreto de hoy se fabrica utilizando cemento Portland, agregados gruesos y finos de piedra y arena, y agua. Los aditivos son productos químicos que se agregan a la mezcla de concreto para controlar sus propiedades de fraguado y se usan principalmente al colocar concreto durante condiciones ambientales extremas, como temperaturas altas o bajas, condiciones de viento, etc.

El precursor del concreto se inventó alrededor del año 1300 a. C., cuando los constructores de Oriente Medio descubrieron que cuando cubrían el exterior de sus fortalezas de arcilla y paredes caseras con un recubrimiento delgado y húmedo de piedra caliza quemada, reaccionaba químicamente con los gases en el aire hasta formar una superficie dura y protectora. Esto no fue concreto, pero fue el comienzo del desarrollo del cemento.

Los primeros materiales compuestos cementosos típicamente incluían piedra caliza, arena y agua quemada y triturada con mortero, que se usaba para la construcción con piedra, en lugar de fundir el material en un molde, que es esencialmente la forma en que se usa el concreto moderno, siendo el molde el concreto.

Como uno de los componentes clave del concreto moderno, el cemento ha existido durante mucho tiempo. Hace aproximadamente 12 millones de años en lo que hoy es Israel, los depósitos naturales se formaron por reacciones entre la piedra caliza y el esquisto bituminoso, que se produjeron por combustión espontánea. Sin embargo, el cemento no es concreto.

El concreto es un material de construcción compuesto y los ingredientes, de los cuales el cemento es solo uno, han cambiado con el tiempo y están cambiando incluso ahora. Las características de rendimiento pueden cambiar de acuerdo con las diferentes fuerzas que el concreto deberá resistir.

Estas fuerzas pueden ser graduales o intensas, pueden venir desde arriba (gravedad), por debajo (levantamiento del suelo), los lados (cargas laterales), o pueden tomar la forma de erosión, abrasión o ataque químico. Los ingredientes del concreto y sus proporciones forman la mezcla de diseño.

## 2.2-Uso temprano del concreto

Las primeras estructuras similares al concreto fueron construidas por los comerciantes o beduinos de Nabataea que ocuparon y controlaron una serie de oasis y desarrollaron un pequeño imperio en las regiones del sur de Siria y el norte de Jordania alrededor del 6500 a. C.

Más tarde descubrieron las ventajas de la cal hidráulica, es decir, el cemento que se endurece bajo el agua, y en el 700 a. C. estaban construyendo hornos para suministrar mortero para la construcción de casas de mampostería, pisos de concreto y cisternas subterráneas a prueba de agua. Las cisternas se mantuvieron en secreto y fueron una de las razones por las cuales los Nabatea pudieron prosperar en el desierto.

Al hacer concreto, el Nabatea entendió la necesidad de mantener la mezcla lo más seca o baja posible, debido a que el exceso de agua produce vacíos y debilidades en el concreto. Sus prácticas de construcción incluían apisonar el concreto recién colocado con herramientas especiales. El proceso de apisonamiento produjo más gel, que es el material de unión producido por las reacciones químicas que tienen lugar durante la hidratación y que unen las partículas y el agregado.

Como los romanos lo tendrían 500 años después, los Nabatea tenían un material disponible localmente que podía usarse para hacer que su cemento fuera impermeable. Dentro de su territorio se encontraban importantes depósitos superficiales de arena fina de sílice.

El agua subterránea que se filtra a través de la sílice puede transformarla en un material de puzolana, que es una ceniza volcánica arenosa. Para fabricar cemento, Nabatea localizó los depósitos y recogió este material y lo combinó con cal, luego lo calentó en los mismos hornos que usaban para hacer su cerámica, en vista de que las temperaturas deseadas se encuentran dentro del mismo rango.

Alrededor del 5600 a. C. a lo largo del río Danubio en el área del antiguo país de Yugoslavia, las casas se construyeron con un tipo de concreto para pisos.

#### Egipto

Alrededor del 3000 a. C., los antiguos egipcios usaban barro mezclado con paja para formar ladrillos, el barro con paja es en mayor grado similar al adobe, que al concreto. Sin embargo, también utilizaron morteros de yeso y cal para construir las pirámides, aunque generalmente, se piense que el mortero y el concreto son dos materiales diferentes.

La Gran Pirámide en Giza requirió aproximadamente 500,000 toneladas de mortero, que se usó como material de cama para las piedras de revestimiento que formaban la superficie visible de la pirámide terminada. Esto permitió que los albañiles de piedra tallaran y colocaran piedras de revestimiento con juntas abiertas no más anchas de 1/50-pulgada.

#### China

Casi al mismo tiempo, los chinos del norte utilizaron una forma de cemento en la construcción de barcos y en la construcción de la Gran Muralla, las pruebas del espectrómetro han confirmado que un ingrediente clave en el mortero utilizado en la Gran Muralla y en otras estructuras chinas antiguas era el gluten, el arroz pegajoso. Algunas de estas estructuras han resistido la prueba del tiempo, incluso, los esfuerzos modernos de demolición.

#### Roma

Hacia el 600 a. C., los griegos habían descubierto un material de puzolana natural que desarrollaba propiedades hidráulicas cuando se mezclaba con cal, pero los griegos no eran tan prolíficos en la construcción con concreto como los romanos, para el 200 a. C., los romanos estaban construyendo, exitosamente el concreto, pero no era como el concreto que se utiliza actualmente, no era un material plástico que fluía y se vertía en las formas, sino más bien, como escombros cementados.

Los romanos construyeron la mayoría de sus estructuras apilando piedras de diferentes tamaños y rellenando a mano los espacios entre las piedras con mortero, sobre el suelo, las paredes estaban revestidas por dentro y por fuera con ladrillos de arcilla que también servían como formas para el concreto.

El ladrillo tenía poco o ningún valor estructural y su uso era principalmente cosmético. Anteriormente, y en la mayoría de los lugares en esa época (incluido el 95% de Roma), los morteros comúnmente utilizados eran un simple cemento de piedra caliza que se endurecía lentamente al reaccionar con el dióxido de carbono en el aire, la verdadera hidratación química no tuvo lugar en ese tiempo. Estos morteros eran débiles.

Para las estructuras de mayor majestuosidad y artísticas de los romanos, así como para la infraestructura terrestre que requiere más durabilidad, hicieron cemento a partir de una arena volcánica naturalmente reactiva llamada arena *fossicia*. Para las estructuras marinas y aquellas expuestas al agua dulce, como puentes, diques, desagües pluviales y acueductos, utilizaron una arena volcánica llamada *pozzuolana*.

Estos dos materiales probablemente representan el primer uso a gran escala de un agente de unión verdaderamente cementoso. Pozzuolana y arena Fossicia reaccionan químicamente con la cal y el agua para hidratarse y solidificarse en una masa similar a una roca que se puede usar bajo el agua.

Los romanos también utilizaron estos materiales para construir grandes estructuras, como los baños romanos, el Panteón y el Coliseo, y estas estructuras aún se mantienen en pie. Como aditivos, utilizaron grasa animal, leche y materiales de sangre que reflejan métodos muy rudimentarios. Por otro lado, además de usar las puzolanas naturales, los romanos aprendieron a fabricar dos tipos de puzolanas artificiales: arcilla caolinítica calcinada y piedras volcánicas calcinadas, que, junto con los espectaculares logros de construcción de los romanos, son evidencia de un alto nivel de sofisticación técnica para esa época.

### 2.3-El panteón

Construido por el emperador Adriano de Roma y completado en 125 d. C. El Panteón tiene la cúpula de concreto sin refuerzo más grande jamás construida, la cúpula tiene 142 pies de diámetro y presenta un orificio de 27 pies, llamado *oculus*, en su pico, que está a 142 pies sobre el piso, se construyó en su lugar, probablemente comenzando por encima de las paredes exteriores y construyendo capas cada vez más delgadas mientras se trabaja hacia el centro.

El Panteón tiene muros exteriores de 26 pies de ancho y 15 pies de profundidad hechos de cemento de puzolana (cal, arena volcánica reactiva y agua) aplastados sobre una capa de agregados de piedra densa, que la cúpula aún exista puede catalogarse como un hecho extraordinario, debido que el asentamiento y el movimiento durante casi 2,000 años, junto con terremotos ocasionales, han creado grietas que normalmente habrían debilitado la estructura lo suficiente para que, a estas alturas, hubiese colapsado.

Las paredes exteriores que sostienen la cúpula contienen siete nichos espaciados uniformemente con cámaras entre ellos que se extienden hacia el exterior. Estos nichos y cámaras, originalmente diseñados solo para minimizar el peso de la estructura, son más delgados que las partes principales de las paredes y actúan como juntas de control de las ubicaciones de las grietas.

Las tensiones causadas por el movimiento se alivian al agrietarse en los nichos y cámaras, esto significa que, la cúpula está soportada esencialmente por 16 pilares de concreto grueso, estructuralmente sanos, formados por las porciones de las paredes exteriores entre los nichos y las cámaras, otro método para ahorrar peso fue el uso de agregados muy pesados bajos en la estructura, y el uso de agregados más ligeros, menos densos, como la piedra pómez, alto en las paredes y en la cúpula. Las paredes también se estrechan en espesor para reducir el peso en lo alto.

#### Gremios romanos

Otro secreto del éxito de los romanos fue el uso de gremios comerciales. Cada comercio tenía un gremio cuyos miembros eran responsables de transmitir sus conocimientos de materiales, técnicas y herramientas a los aprendices y



a las legiones romanas. Además de luchar, las legiones fueron entrenadas para ser autosuficientes, por lo que también adquirieron conocimientos en métodos de construcción e ingeniería.

## 2.4-Hitos tecnológicos

Durante la Edad Media, la tecnología del concreto sufrió un retroceso. Después de la caída del Imperio Romano en el 476 d. C., las técnicas para fabricar cemento puzolánico se perdieron hasta el descubrimiento en el 1414, de manuscritos que describían esas técnicas reavivó el interés en construir con concreto.

No fue hasta 1793 que la tecnología dio un significativo paso adelante, cuando John Smeaton descubrió un método innovador para producir cal hidráulica para cemento. Utilizó piedra caliza que contenía arcilla que se quemó hasta convertirse en escoria, que luego se trituró convirtiéndose en polvo. Smeaton utilizó este material en la histórica reconstrucción del faro de Eddystone en Cornwall, Inglaterra.

Finalmente, en 1824, un inglés llamado Joseph Aspdin inventó el cemento Portland quemando tiza y arcilla finamente molidas en un horno hasta que se eliminó el dióxido de carbono, fue nombrado cemento «Portland» porque se parecía a las piedras de construcción de alta calidad encontradas en Portland, Inglaterra.

Se cree que Aspdin fue el primero en calentar materiales de alúmina y sílice hasta el punto de vitrificación, lo que dio como resultado la fusión, durante la vitrificación, los materiales se vuelven como vidrio. Aspdin refinó su método dosificando cuidadosamente la piedra caliza y la arcilla, pulverizándolas y luego quemando la mezcla en clinker, que luego se trituró en cemento acabado.

## 2.5-Composición del cemento Portland moderno

Antes de que se descubriera el cemento Portland, y algunos años después, se utilizaban grandes cantidades de cemento natural, que se producía al quemar una mezcla natural de cal y arcilla, Debido a que los ingredientes del cemento natural están mezclados por naturaleza, sus propiedades varían ampliamente.

El cemento Portland moderno se fabrica según estándares detallados, algunos de los muchos compuestos que se encuentran en él son importantes para el proceso de hidratación y las características químicas del cemento. Se fabrica calentando una mezcla de piedra caliza y arcilla en un horno a temperaturas entre 1,300 °F y 1,500 °F. Hasta el 30% de la mezcla se funde, pero el resto permanece en estado sólido, experimentando reacciones químicas que pueden ser lentas.

Finalmente, la mezcla forma un clinker, que luego se tritura en polvo, se agrega una pequeña proporción de yeso para reducir la velocidad de hidratación y mantener el concreto durante más tiempo, entre 1835 y 1850, se realizaron por primera vez pruebas sistemáticas para determinar la resistencia a la compresión y la tracción del cemento, junto a los primeros análisis químicos precisos. No fue hasta alrededor de 1860 que los cementos de Portland de composición moderna se produjeron por primera vez.

## 2.6-Hornos

Durante los primeros días de la producción de cemento Portland, los hornos eran verticales y estacionarios, en 1885, un ingeniero inglés desarrolló un horno más eficiente que era horizontal, ligeramente inclinado y que podía girar. El horno rotatorio proporcionó un mejor control de la temperatura e hizo un mejor trabajo de mezcla de materiales.

Para 1890, los hornos rotatorios dominaban el mercado. En 1909, Thomas Edison recibió una patente para el primer horno largo, este horno, instalado en Edison Portland Cement Works en New Village, Nueva Jersey, tenía 150 pies de

largo. Esto era aproximadamente 70 pies más largos que los hornos en uso en ese momento. Los hornos industriales de hoy pueden tener hasta 500 pies de largo.

## 2.7-Hitos del edificio

Aunque hubo excepciones, durante el siglo, el concreto fue utilizado principalmente para edificios industriales, fue considerado socialmente inaceptable como material de construcción por razones estéticas, el primer uso generalizado del cemento Portland en la construcción de viviendas fue en Inglaterra y Francia entre 1850 y 1880 por el francés Francois Coignet, quien agregó varillas de acero para evitar que las paredes exteriores se extendieran y luego las usó como elementos de flexión.

La primera casa construida con concreto reforzado fue una casita de servicio construida en Inglaterra por William B. Wilkinson en 1854. En 1875, el ingeniero mecánico estadounidense William Ward completó la primera casa de concreto reforzado en los Estados Unidos. Todavía se encuentra en Port Chester, Nueva York- Ward fue diligente en el mantenimiento de registros de construcción, por lo que se sabe mucho sobre esta casa. Fue construida en concreto debido al temor de su esposa al fuego, y para ser más aceptada socialmente, fue diseñada para parecerse a la mampostería.

Este fue el comienzo de lo que hoy es una industria de \$ 35 mil millones que emplea a más de 2 millones de personas solo en los Estados Unidos.

En 1891, George Bartholomew vertió la primera calle de concreto en los EE. UU., que existe en la actualidad, el concreto utilizado para esta calle se probó a aproximadamente 8,000 psi, que es aproximadamente el doble de la resistencia del concreto moderno utilizado en la construcción residencial.

En 1897, Sears Roebuck estaba vendiendo tambores de 50 galones de cemento Portland importado por \$ 3.40 cada uno, aunque en 1898 los fabricantes de cemento utilizaban más de 90 fórmulas diferentes, para 1900, las pruebas básicas, si no los métodos de fabricación, se habían estandarizado.

A finales del siglo 19, el uso del concreto armado se desarrolló más o menos simultáneamente por el alemán, G.A. Wayss, el francés, Francois Hennebique y el estadounidense, Ernest L. Ransome. Ransome comenzó a construir con concreto reforzado y acero en 1877 y patentó un sistema que usaba varillas cuadradas torcidas para mejorar la unión entre el acero y el concreto, la mayoría de las estructuras que construyó eran industriales.

Hennebique comenzó a construir casas reforzadas con acero en Francia, a finales de la década de 1870. Recibió patentes en Francia y Bélgica por su sistema y tuvo gran éxito. Construyó un imperio mediante la venta de franquicias en grandes ciudades, promovió su método dando conferencias y desarrollando los estándares de su propia empresa. Al igual que Ransome, la mayoría de las estructuras que Hennebique construyó eran industriales.

En 1879, Wayss compró los derechos de un sistema patentado por un francés llamado Monier, quien comenzó a usar acero para reforzar macetas de flores de concreto y contenedores de plantación. Wayss promovió el sistema Wayss-Monier.

En 1902, August Perret diseñó y construyó un edificio de apartamentos en París utilizando concreto reforzado con acero para las columnas, vigas y losas. El edificio no tenía muros de apoyo, pero sí tenía una fachada elegante, lo que ayudó a que el concreto fuera socialmente más aceptado. El edificio fue admirado ampliamente y el concreto se usó más ampliamente como material arquitectónico y como material de construcción, su diseño fue influyente en el diseño de edificios de concreto reforzado en los años siguientes.

En 1904, se construyó el primer edificio alto de concreto en Cincinnati, Ohio. Tiene 16 pisos o 210 pies de altura.

En 1911, el puente Risorgimento fue construido en Roma, se extiende por 328 pies.

En 1913, la primera carga de premezcla se entregó en Baltimore, Maryland; cuatro años después, la Oficina Nacional de Normas (ahora Oficina Nacional de Normas y Tecnología) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, ahora ASTM International, (siglas en inglés de la American Society of Testing Materials) establecieron una fórmula estándar para el cemento Portland.

En 1915, Matte Trucco construyó el Fiat-Lingotti Autoworks de cinco pisos en Turín usando concreto reforzado, el edificio tenía una pista de pruebas de automóviles en el techo.

Eugène Freyssinet fue un ingeniero francés y pionero en el uso de la construcción de concreto reforzado, en 1921 construyó dos gigantes hangares de aeronaves de arco parabólico en el aeropuerto de Orly en París. En 1928, se le concedió una patente para concreto pretensado.

En 1930, se desarrollaron agentes de arrastre de aire que aumentaron en gran medida la resistencia del concreto a la congelación y mejoraron su trabajabilidad. El arrastre de aire fue un desarrollo importante para mejorar la durabilidad del concreto moderno. El arrastre de aire es el uso de agentes que cuando se agregan al concreto durante la mezcla, crean muchas burbujas de aire que son extremadamente pequeñas y están muy separadas, la mayoría de ellas permanecen en el concreto endurecido, el concreto se endurece a través de un proceso químico llamado hidratación.

Para que se produzca la hidratación, el concreto debe tener una relación mínima de agua a cemento de 25 partes de agua por 100 partes de cemento, el agua en exceso de esta relación es agua excedente y ayuda a que el concreto sea más viable para las operaciones de colocación y acabado, a medida que el concreto se seca y se endurece, el agua sobrante se evapora, dejando la superficie del concreto porosa.

El agua del entorno circundante, como la lluvia y el deshielo, puede entrar en esos poros, el clima helado puede convertir el agua en hielo. A medida que eso sucede, el agua se expande, creando pequeñas grietas en el concreto que crecerán a medida que se repita el proceso, lo que eventualmente provocará despostillamiento y deterioro de la superficie. Cuando el concreto ha sido arrastrado por el aire, estas pequeñas burbujas se pueden comprimir levemente, absorbiendo parte del estrés creado por la expansión, cuando el agua se convierte en hielo. El aire atrapado también mejora la capacidad de trabajo porque las burbujas actúan como un lubricante entre el agregado y las partículas en el concreto.

La pericia en la construcción con concreto reforzado eventualmente permitió el desarrollo de una nueva forma de construir: la técnica de cubierta delgada involucra la construcción de estructuras, como techos, con una cubierta de concreto relativamente delgada, las cúpulas, arcos y curvas compuestas se construyen típicamente con este método, debido a que son formas naturalmente fuertes.

En 1930, el ingeniero español Eduardo Torroja diseñó una cúpula de poca altura para el mercado en Algeciras, con un grosor de 3½ pulgadas que se extendía a 150 pies, se utilizaron cables de acero para formar un anillo de tensión, casi al mismo tiempo, el italiano Pier Luigi Nervi comenzó a construir hangares para la Fuerza Aérea Italiana.

Probablemente la persona más lograda en la construcción con técnicas de armazón de concreto fue Félix Candela, un matemático-ingeniero-arquitecto español que practicó principalmente en la Ciudad de México. El techo del Laboratorio de rayos cósmicos en la Universidad de la ciudad de México se construyó con un espesor de 5/8 pulgadas. Su forma de marca era el paraboloides hiperbólico.

En 1935, se completó la Presa Hoover, después de verter aproximadamente 3,250,000 yardas de concreto, con 1,110,000 yardas adicionales utilizadas en la planta de energía y otras estructuras relacionadas con la represa. Debe considerarse que esto fue menos de 20 años después de que se estableció una fórmula estándar para el cemento.

Los ingenieros de la Oficina de Reclamación calcularon que, si el concreto se colocaba en un único vertido monolítico, la presa tardaría 125 años en enfriarse, y las tensiones provocadas por el calor producido y la contracción que se produce al curarse el concreto provocaría que la estructura se agrietara y desmoronara. La solución fue verter la presa en una serie de bloques que formaban columnas, con algunos bloques de hasta 50 pies cuadrados y 5 pies de altura.

Cada sección de 5 pies de altura tiene una serie de tuberías de 1 pulgada instaladas a través de las cuales se bombea el agua del río y luego el agua enfriada mecánicamente para eliminar el calor, una vez que el concreto dejó de contraerse, las tuberías se llenaron de lechada. Las muestras de núcleo de concreto probadas en 1995 mostraron que el concreto ha seguido ganando resistencia y tiene una resistencia a la compresión superior a la media.

La presa Grand Coulee en Washington, completada en 1942, es la estructura de hormigón más grande jamás construida, contiene 12 millones de yardas de concreto, la excavación requirió la remoción de más de 22 millones de yardas cúbicas de tierra y piedra. Para reducir la cantidad de camiones, se construyó una cinta transportadora de 2 millas de largo.

En las ubicaciones de los cimientos, la lechada se bombeó en orificios de 660 a 880 pies de profundidad (en granito) para rellenar las fisuras que podrían debilitar el suelo debajo de la presa, para evitar el colapso de la excavación debido al peso de la sobrecarga.

Se insertaron tubos de 3 pulgadas en la tierra a través de los cuales se bombeaba el líquido refrigerado desde una planta de refrigeración, esto congeló la tierra, estabilizándola lo suficiente como para que la construcción pudiera continuar.

En los años posteriores a la construcción del edificio Ingalls en 1904, la mayoría de los edificios de gran altura estaban hechos de acero, la construcción en 1962 de las Torres Gemelas de 60 pisos de Bertrand Goldberg en Chicago despertó un interés renovado en el uso de concreto reforzado para edificios altos.

La estructura más alta del mundo (a partir de 2011) se construyó con concreto armado. El Burj Khalifa en Dubai en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) tiene una altura de 2,717 pies.

Es una estructura de uso mixto, con un hotel, oficinas y locales comerciales, restaurantes, clubes nocturnos, piscinas y 900 residencias.

La construcción utilizó 431,600 yardas cúbicas de concreto y 61,000 toneladas de corrugado.

El edificio tiene un peso vacío de aproximadamente 500,000 toneladas, que es aproximadamente lo que pesaba el mortero que se utilizó en la construcción de la Gran Pirámide en Giza. Burj Khalifa puede albergar a 35,000 personas a la vez. Para cubrir 160 pisos, algunos de los 57 ascensores viajan a 40 mph.

El clima cálido y húmedo de Dubai, combinado con el aire acondicionado necesario para manejar temperaturas exteriores que alcanzan más de 120 °F, produce tanta condensación que se recolecta en un tanque de retención en el sótano y se usa para riego de jardines.<sup>1</sup>

## 2.8-El Cemento en Guatemala

En 1899 da inicio la historia de la producción del cemento en Guatemala, por parte del ingeniero Novella equipada con maquinaria alemana de segunda mano, se modernizó en 1917 gracias al acuerdo alcanzado con la United Fruit

---

<sup>1</sup> Arquitectura Pura. *Historia del Concreto y sus antecedentes en la construcción*. Consultado el 18 de marzo del 2020 <https://www.arquitecturapura.com/la-historia-del-concreto/>

Company, para tener una producción propia de cemento y no depender mucho de las importaciones de Alemania y Estados Unidos. Como resultado de la buena producción de cemento en la década de 1930, empezaron a surgir más edificaciones de concreto en Guatemala, con la obtención de los agregados de forma natural.

En 1954, con la apertura de la primera empresa de producción de concreto premezclado, se estableció una industria del concreto y debido a la necesidad de construcción principalmente de vivienda en 1957 surge la fabricación de elementos prefabricados como los blocks. Además, da inicio la fabricación de otro tipos de cementos portland como el cemento para fabricación y pegado de blocks estructural de mayor capacidad a la compresión etc., en 1970 se empezó la utilización de elementos prefabricados pretensados.

Uno de los más grandes retos que enfrentó esta industria fue el terremoto ocurrido en 1976, por el cual hubo necesidad de mejorar, producir y utilizar diferentes tipos de cementos portland. En la década de 1980, se empezó con la producción de nuevos tipos de cementos, se amplió la producción de concreto premezclado y la mayor utilización de prefabricados.

A partir de la década del 90 empieza un considerable crecimiento de la industria con la producción de cemento para diferentes tipos de clima, la producción de concretos premezclados dependiendo del tipo estructuras, al igual de la implementación de programas ambientales.

Teniendo en cuenta todos los acontecimientos anteriores, la industria al producir cada tipo de cemento y forma de utilizarlo se rigió en normas internacionales como las ASTM para tener una producción y utilización correcta de los mismos. El uso de normas es de nivel obligatorio, por lo que en el 2006 se fundó el Instituto del Cemento y del Concreto en Guatemala (ICCG), que ha implementado y complementado con la aprobación de las normas nacionales de la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR y creado un capítulo ACI guatemalteco, (American Concrete Institute (ACI) Internacional).

## **2.9-Concreto Premezclado, en Guatemala**

El concreto premezclado es aquel que es llevado al lugar de la obra como una mezcla en estado no endurecido (mezcla en estado fresco).

Mixto Listo mayor productor y distribuidor de concreto premezclado del país, inicia sus operaciones el 26 de noviembre de 1954, contando únicamente con una planta de producción de concreto premezclado. En 1958, la fuerte demanda obliga a su expansión, lo que permite que se monte la segunda planta, la cual aún se ubica en la zona 12 de la ciudad de Guatemala. Ambas plantas fueron realizadas por el señor Bert Noble.

En 1965 se inició la construcción de la segunda y tercera planta de producción de concreto premezclado. Actualmente Mixto Listo cuenta con una flotilla de más de 300 vehículos como mezcladores, camiones que transportan personal de colocación de concreto, entre otros, y además, cuenta con más de 13 plantas productoras de concreto premezclado ubicadas estratégicamente a lo largo de la región metropolitana con el objetivo de atender de mejor y oportuna manera a sus clientes a lo largo de la región.

## **2.10- Propuesta: *Guía Teórica Básica del Concreto como Material de Construcción***

A partir de la escogencia del tema de estudio del presente proyecto de graduación, se partió de la premisa básica en cuanto a que el concreto está enmarcado en el contexto de los materiales cementadores naturales por sus propiedades y características químicas. El concreto es el tema de estudio, que se desarrolla a lo largo de este documento. El cemento

es el único cementante abordado y analizado, no por ser más importante que los demás, sino, por ser el material principal para la fabricación de concreto.

Cuando se piensa en cementadores ¿qué material viene primero a la mente? Probablemente el cemento, primero por cuestiones de semántica, costumbre y conocimiento, pero también puede ser por su versatilidad y alto nivel de comercialización, este suele tipificarse, involuntariamente, como el único producto con estas características.

## 2.11-Cementador

Es un conglomerante hidráulico que mezclado con agregados pétreos (árido grueso o pedrín, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado concreto. La palabra cemento se aplica a toda sustancia que posea propiedades adhesivas, cualquiera que sea su origen, esta palabra proviene del latín *caementum* que quiere decir piedra sin escuadrar.

En los tiempos de los etruscos (pueblo de la antigüedad cuyo núcleo geográfico fue la Toscana Italia), se conocían morteros hechos de mezclas de puzolana (materiales que contienen sílice o aluminio, los cuales por sí solos tienen poco o ningún valor cementante) y cal. Los romanos sabían hacer concreto de resistencia a compresión de 5 Mpa.

El nombre del cemento Portland está relacionado con las investigaciones del ingeniero John Smeaton que indicó que esperaba obtener un cemento con un endurecimiento análogo al de la piedra de la localidad de Portland, en el sur de Inglaterra, piedra que se valoró mucho por su solidez y duración.

En 1824, el albañil inglés Joseph Aspdin, después de haber llevado a cabo pruebas para mejorar las características del cemento, patentó su cemento bajo el nombre de Portland Cement. Su uso es generalizado en construcción, siendo su principal función la de aglutinante.

Desde la antigüedad, se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos en las edificaciones. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, siendo estos los primeros cementos naturales.

## 2.10-La historia del concreto

Constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables.

Inicialmente, se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias del clima, ante lo cual, se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradaran fácilmente.

Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para unir sólidamente los sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide de Guiza.

El concreto es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante, el conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos a concreto, generalmente, es un cemento artificial, y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento portland.

## 2.12-Concretos de cementos naturales

En la Antigua Grecia, hacia el 500 a. C., se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer concreto de la historia, usando tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini.

Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico (obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio, Italia). Añadiendo en su masa jarras cerámicas o materiales de baja densidad (piedra pómez) obtuvieron el primer concreto aligerado. Con este material se construyeron desde tuberías hasta instalaciones portuarias, cuyos restos aún perduran. Destacan construcciones como los arcos del Coliseo Romano, y la cúpula del Panteón de Agripa, de unos cuarenta y tres metros de diámetro, la de mayor luz durante siglos.

El concreto, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de solicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas de acero que soportan satisfactoriamente dichos esfuerzos, propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

La invención del concreto armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique, quien ideó un sistema convincente de concreto armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

El diseño de estructuras de concreto armado Hennebique y sus contemporáneos, basan la inventiva de sus patentes en resultados experimentales, mediante pruebas de carga.

Los primeros aportes teóricos los realizaron prestigiosos investigadores alemanes, tales como: Wilhelm Ritter, quien desarrolla en 1899 la teoría del «Reticulado de Ritter-Mörsch».

## 2.13-Estudios teóricos

A principios del siglo XX surge el rápido crecimiento de la industria del cemento, debido a varios factores: los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran producir cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular; y los métodos de transportar concreto fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907. Con estos adelantos pudo elaborarse cemento portland en grandes cantidades y utilizarse ventajosamente en la industria de la construcción.

Maillart proyecta en 1901 un puente en arco de 38 metros de luz sobre el río Inn, en Suiza, construido con vigas cajón de concreto armado; entre 1904 y 1906 diseña el puente de Tavanasa, sobre el río Rin, con 51 metros de luz, el mayor de Suiza. Claude A.P. Turner realiza en 1906 el edificio Bovex de Minneapolis (USA), con los primeros pilares fungiformes (de amplios capiteles).

Le Corbusier, en los años 1920, reclama en *Vers une Architecture* una producción lógica, funcional y constructiva, despojada de retóricas del pasado; en su diseño de Casa Dominó de 1914, la estructura está conformada con pilares y forjados de concreto armado, posibilitando fachadas totalmente diáfanas y la libre distribución de los espacios interiores.

Los hangares de Orly (París), diseñados por Freyssinet entre 1921 y 1923, con 60 metros de luz, 9 de flecha y 300 de longitud, se construyen con láminas parabólicas de concreto armado, eliminando la división funcional entre paredes y techo. En 1929 Frank Lloyd Wright construye el primer rascacielos en concreto.

## 2.14-Concreto de altas prestaciones

En la década de 1960 aparece el concreto reforzado con fibras añadidas en el momento del mezclado, dando al concreto isotropía y aumentando sus cualidades a flexión, tracción, impacto, fisuración, etc. En los años 70 los aditivos permiten obtener concretos de alta resistencia, de 120 a más de 200 MPa; la incorporación de monómeros, genera concretos casi inatacables por los agentes químicos o indestructibles por los ciclos hielo-deshielo, aportando múltiples mejoras en diversas propiedades del concreto, de las cuales podemos citar: más alto, más largo, más ancho y más bello.

## 2.15-Línea de tiempo

Fechas significativas en la historia del concreto:

1824: - James Parker, Joseph Aspdin patentan al Cemento Portland, materia que obtuvieron de la calcinación de alta temperatura de una Caliza Arcillosa.

1845: - Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado a altas temperaturas una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker".

1868: - Se realiza el primer embarque de cemento Portland de Inglaterra a los Estados Unidos.

1871: - La compañía Coplay Cement produce el primer cemento Portland en lo Estados Unidos.

1904: - La American Standard For Testing Materials (ASTM), publica por primera vez sus estándares de calidad para el cemento Portland.

## 2.16-Los avances

El estudio científico del comportamiento del concreto armado y los avances tecnológicos posibilitaron la construcción de rascacielos más altos, puentes de mayor luz, amplias cubiertas e inmensas presas. Su empleo de momento será insustituible en edificios públicos que deban albergar multitudes: estadios, teatros, cines, etc.

Muchos países y ciudades están compitiendo por erigir la edificación de mayor dimensión, o más bella, como símbolo de su progreso, el cual sin lugar a dudas estará construida con la participan mayoritaria del concreto como material estandarte de la construcción. El concreto denominado así en algunos países de Iberoamérica como en Guatemala, es el material resultante de la mezcla de cemento con agregados áridos (piedrín y arena) y agua.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.).

Por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de concreto armado comportándose favorablemente entre las diversas sollicitaciones.

Además, para modificar algunas de sus características o comportamientos se pueden agregar aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos, como: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

Cuando se proyecta una estructura de concreto armado, se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos, y el acero que se colocará en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.



Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformación de las cimentaciones.

### 2.17-Término concreto

Proviene del latín: *concretus*, que significa «crecer unidos», o «unir», su uso en el idioma español se transmite por vía de la cultura anglosajona, como anglicismo (o calco semántico), siendo la voz inglesa original: *concrete*.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, cohesiona a los agregados (arena y pedrín o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

### 2.18-Agregados

Generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

#### 2.18.1- Agregados finos

Consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm.

#### 2.18.2-Agregados gruesos

Son aquellas cuyas partículas que se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. La pasta está compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada, así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro al concreto.

Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

### 2.19-Calidad del concreto

Depende en gran medida de la calidad de la pasta, en un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas del agregado.

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento, a continuación, se presenta algunas ventajas que se obtienen al dosificar adecuadamente el contenido de agua en la mezcla:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, por ende, mayor hermeticidad y menor absorción a la humedad.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre mejor se dosifique el agua a utilizar en la mezcla, se tendrá una mejor calidad de concreto a condición de que se pueda consolidar adecuadamente, menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; con la vibración adecuada, aun las mezclas más rígidas podrán aprovecharse de la mejor manera. Para una resistencia diseñada de concreto las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad y en la economía.

## 2.20-Propiedades del concreto

En estado fresco (plástico) y endurecido, se puede modificar agregando aditivos, usualmente en forma líquida durante su dosificación, los aditivos se usan comúnmente para:

1. Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento.
2. Reducir la demanda de agua.
3. Aumentar la trabajabilidad.
4. Incluir intencionalmente el aire.
5. Adecuar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o ningún mantenimiento.

## 2.21-El concreto como material de construcción

Este puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

## 2.22-Cohesión

La propiedad de cohesión de la pasta de cemento se debe a la reacción química entre el cemento y el agua, llamada hidratación, el cemento no es un compuesto químico simple, mas bien, es una mezcla de varios compuestos, cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento, siendo estos:

- Silicato tricálcico: Se caracteriza por una elevada velocidad de hidratación.
- Silicato dicálcico: Se caracteriza por una velocidad de hidratación (fraguado) más lenta en comparación con el silicato tricálcico.
- Aluminato tricálcico: Reacciona muy rápidamente con el agua, es el que posee una cinética reactiva de mayor velocidad entre los componentes silicatos del clinker.
- Aluminio ferrito tetracálcico: Se caracteriza por aportar escasa o nula propiedad física de resistencia al concreto al ser hidratado en la fragua del mismo.

## 2.23-Otros componentes

Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación, los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el clinker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades, sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual.

El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran el promedio, el cemento contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Portland tiene un área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio (cal hidratada) y el hidrato de silicato de calcio (responsable de las propiedades resistentes del cemento). Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto, las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado, endurecimiento, resistencia, estabilidad dimensional principalmente depende del gel del hidrato de silicato de calcio, siendo este la médula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es, en cierto, modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO<sub>2</sub>), en una proporción sobre el orden de 3 a 2.

Las partículas son tan diminutas que solamente pueden ser vistas a través de un microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto, la formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Cuando el concreto fragüa, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna, la resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto, por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable.

El agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua-cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento sea hidrato puede ser útil para planear la construcción, en condiciones de bajas temperaturas, el calor de hidratación ayudará a proteger el concreto contra el daño provocado por las bajas temperaturas, sin embargo, el calor puede ser generado en estructuras masivas, tales como presas, ya que este puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer.

El cemento Portland tipo 1 libera un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor.

En el uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe considerar donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua, porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento, la reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto.

Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido, el yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

# Capítulo 3

## Marco Legal

En este capítulo se consideraron, según la normativa local, bajo la proposición y dirección de la Comisión Guatemalteca de Normas y el Catálogo de Normas Técnicas Guatemaltecas. Asimismo fueron tomadas en cuenta, la normativa internacional del Instituto Americano del Concreto y el Cemento (American Concrete Institute, ACI). Como referencias que sustentan la base técnica científica de esta investigación:

### 3.1 Normas

- **Terminología referente al concreto y agregados para concreto** *COGUANOR NTG 41006. ALCANCE* Esta norma es una compilación de la terminología relativa al concreto de cemento hidráulico, agregados para concreto y otros materiales usados en o con el concreto de cemento hidráulico.
- **Agregados para concreto Especificaciones** *COGUANOR NTG 41007.* Objeto. Esta Especificación define los requisitos para la granulometría y la calidad de los agregados finos y gruesos de densidad normal (distintos del agregado liviano o pesado) para ser utilizados en el concreto. Esta especificación es para ser utilizada por un fabricante de concreto, un contratista de la construcción u otro comprador como parte de un documento de compra que describe el material a proveer que se suministra.
- **Práctica para el muestreo de los agregados para concreto** *COGUANOR NTG 41009.* Objeto. Esta práctica cubre el muestreo de los agregados gruesos y finos.
- **Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso** *COGUANOR NTG 41010 h1.* Objeto. Este método de ensayo cubre la determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos.
- **Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.** *COGUANOR NTG 41010 h2.* Objeto. Este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad aparente ("peso unitario") entre las partículas de los agregados a granel en condición compactada o suelta, y el cálculo de los vacíos, agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, basándose en una misma determinación. Este método de prueba es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 mm (5 pulgadas) en tamaño nominal máximo.
- **Método de ensayo. Determinación de la materia orgánica en los agregados finos para concreto** *COGUANOR NTG 41010 h4.* Objeto. Este método de ensayo cubre dos procedimientos para la determinación aproximada de la presencia de materia orgánica o impurezas perjudiciales en los agregados para concreto. Un procedimiento utiliza una solución de color estándar y el otro utiliza colores estándar en vidrio.
- **Método de ensayo. Determinación por secado del contenido total de humedad evaporable en el agregado** *COGUANOR NTG 41010 h19.* Objeto. Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por el secado tanto de la humedad superficial como de la humedad dentro de los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada en los minerales en el agregado. Esta agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método. 1.2 Los valores señalados en unidades SI.
- **Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto** *COGUANOR NTG 41017 h1.* Objeto. Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes

cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor que  $800 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/pe}^3$ ).

- **Determinación del asentamiento del concreto hidráulico** COGUANOR NTG 41017 h4. Objeto. Este método de ensayo comprende la determinación del asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.
- **Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico** COGUANOR NTG 41017 h6. Objeto. Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en mezclas de concreto hidráulico recién mezclado que contengan cualquier tipo de agregado, ya sea denso, celular o de baja densidad (liviano).
- **Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.** COGUANOR NTG 41017 h10. Objeto. Este método de ensayo cubre la determinación de la temperatura de mezclas de concreto hidráulico recién mezclado.
- **Método de ensayo. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión.** COGUANOR NTG 41017 h16 Objeto. Este método cubre la determinación de (1) el módulo de elasticidad cuerda ó (Módulo de Young), y la relación de Poisson en cilindros de concreto y núcleos de concreto bajo esfuerzos de compresión longitudinal.
- **Aditivos químicos para concreto. Especificaciones** COGUANOR NTG 41047. 1. Objeto. Esta especificación cubre materiales para ser utilizados como aditivos químicos para ser agregados a mezclas de concreto de cemento hidráulico en obra para el propósito o propósitos indicados por los ocho tipos Sigüientes:  
Tipo A – Aditivos reductores de agua,  
Tipo B – Aditivos retardadores,  
Tipo C – Aditivos aceleradores,  
Tipo D – Aditivos reductores de agua y retardadores, Tipo E – Aditivos reductores de agua y aceleradores Tipo F – Aditivos reductores de agua, de alto rango, y 1.1.7 Tipo G – Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores. Tipo S – Aditivos de desempeño específico.
- **Concreto elaborado con dosificación volumétrica y mezclado continuo.** COGUANOR NTG 41048. Objeto. Esta especificación trata sobre el concreto elaborado a partir de materiales que se dosifican continuamente en volumen, mezclados en una mezcladora continua, y entregados al comprador recién mezclados y en estado no endurecido.
- **Muestreo del concreto recién mezclado.** COGUANOR NTG 41057. Objeto. Esta práctica cubre los procedimientos de obtención de muestras representativas de concreto fresco entregado en el lugar del proyecto sobre las cuales se van a realizar ensayos para determinar el cumplimiento con los requisitos de calidad de las especificaciones bajo las cuales se suministra el concreto (Nota 1). La práctica Incluye el muestreo de mezcladoras estacionarias, de pavimentación y camiones mezcladores, y de equipo agitador ó no agitador utilizado para transportar el concreto mezclado en planta central.
- **Concreto premezclado especificaciones** COGUANOR NTG 41068. Objeto. 1.1 Esta especificación trata sobre el concreto premezclado fabricado como se define en 3.2.2. Los requisitos para calidad del concreto deben ser los especificados más adelante o los especificados por el comprador. Si los requisitos del comprador difieren de los requisitos en esta especificación, la especificación del comprador debe gobernar. Esta especificación no cubre la colocación, consolidación, curado, o protección del concreto después de su entrega al comprador.
- **Agua de mezcla para uso en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones** COGUANOR NTG 41073. Objeto. Esta especificación cubre requisitos de composición y desempeño del agua usada como agua de mezcla en el concreto de cemento hidráulico. Define las fuentes de agua y provee requisitos y frecuencias de ensayo para calificar fuentes de agua individuales o combinadas. En cualquier caso, cuando los requisitos del comprador difieran de los dados por esta especificación, gobiernan los requisitos de la especificación del comprador.
- **Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño** COGUANOT NTG 41095. Objeto. Esta especificación por desempeño cubre los cementos hidráulicos de aplicación general y los de aplicaciones especiales, tanto de fabricación nacional, como importados. No contiene restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes.

- **COGUANOR NTG 36016:** Norma guatemalteca que rige la fabricación de barras de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto. Este es una norma equivalente nacional a la *Norma ASTM A706/A706M*.
- **COGUANOR NTG 36011:** Norma guatemalteca que rige la fabricación de barras de acero al carbón, lisa y corrugada, para refuerzo de concreto. Este es una norma equivalente nacional a la *Norma ASTM A615/A615M*.
- **COGUANOR NGO 36020:** Norma técnica que establece las características físicas y mecánicas de la varilla corrugada de alta resistencia de la varilla de alta resistencia y la malla electrosoldada
- **COGUANOR NGO 36021:** Norma técnica que establece las características físicas y mecánicas que debe cumplir la malla electrosoldada utilizando varilla corrugada de alta resistencia.

- **SECCIÓN 03100 FORMALETAS PARA CONCRETO**  
**PARTE 1 – GENERALIDADES 1.01 EL REQUISITO**

A. El Contratista deberá diseñar y suministrar todos los materiales para las formaletas, riostras, y soportes para el concreto y construir toda la obra falsa en estructuras del Emisario Submarino, como se muestra en los Planos y de acuerdo con las estipulaciones de los Documentos de Contrato. RESPONSABILIDAD. A. El diseño e ingeniería de las formaletas, así como las consideraciones de seguridad serán responsabilidad del Contratista. TRABAJOS RELACIONADOS QUE SE ESPECIFICAN EN OTRO LUGAR.

A. Sección 01300 - Presentaciones

B. Sección 03200 - Refuerzo del Concreto

C. Sección 03300 - Concreto Vaciado In-

Situ. ESPECIFICACIONES, CÓDIGOS Y NORMAS DE REFERENCIA.

A. Sin crear limitaciones a las disposiciones generales de estas especificaciones, todo Trabajo especificado aquí deberá cumplir o exceder los requisitos del Código de Construcción y los requisitos aplicables de los documentos siguientes, siempre que las Estipulaciones de dichos documentos no estén en conflicto con los requisitos de esta Sección. ACI 347 Prácticas Recomendadas para Formaleta de Concreto.

# Capítulo 4

## Cemento, cementadores.

Palabra que procede del latín, *caementun*, contracción de *caedimentum*. Término que proviene del verbo latino *caedere*, que es sinónimo de "cortar".

El término cemento hace referencia a una mezcla compuesta de diversas sustancias calcáreas y arcilla. Esta mezcla se cuece y luego se muele, cuando se le añade agua se produce su solidificación y endurecimiento.

### 4.1-Cemento

Es un conglomerante porque permite unir diversos materiales otorgándoles cohesión mediante transformaciones de tipo químico. Si se le agrega arena o grava, se obtiene una mezcla llamada concreto.

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

### 4.2-Cementantes hidráulicos

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí. Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

El cemento no es lo mismo que el concreto, es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800, desde entonces, el cemento portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra.

Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes en donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro. Esta mezcla se mete a un horno de secar y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaqueta y se pone a la venta.

### 4.3-Tipos de cemento

Existen cinco tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes. El cemento es un ligante hidráulico, componente esencial en la fabricación del concreto como se mencionó anteriormente. Al combinar el cemento con el agua se produce la reacción química que se conoce con el nombre de hidratación. La pasta (cemento y agua) actúa como adhesivo que une a todas las partículas de agregado, para formar el concreto, el material de construcción más versátil y de mayor uso en el mundo.

Los cementos hidráulicos están compuestos de Clinker Portland, otras adiciones minerales y aditivos. Según sus porcentajes de composición los cementos hidráulicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: Los Cementos Portland Ordinarios (CPO), que existen predominantemente de Clinker Portland y yeso, pueden contener una pequeña cantidad de componentes o adiciones minerales (normalmente < 5%). Los Cementos Portland Mezclados o Adicionados (CPA), que consisten de cemento Portland y una cantidad mayor al 5% de componentes o adiciones minerales.



#### 4.4-Historia

En 1824, el albañil inglés Joseph Aspdin, después de haber llevado a cabo unas experimentaciones para mejorar las características del cemento, patentó su cemento bajo el nombre de Portland Cement. Su uso está muy generalizado en construcción, siendo su principal función la de aglutinante. Desde la antigüedad, se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos en las edificaciones.

Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales. En el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio. La bóveda del Panteón es un ejemplo de ello. En el siglo XVIII John Smeaton construye la cimentación de un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando un mortero de cal calcinada. El siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, denominado así por su color gris verdoso oscuro. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura.

En el siglo XX se inicia el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar concreto fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907.

#### 4.5-Historia en Guatemala

La industria del cemento en Guatemala ha crecido en la medida en que el mercado de la construcción lo ha exigido. Este crecimiento a lo largo de los años y actualmente, ha convertido la producción de cemento en uno de los indicadores de las diferentes economías alrededor del mundo debido a que el precio de este puede determinar, en gran manera, el desarrollo de la economía de cada uno de los diferentes países.

El dieciocho de octubre de 1899, Carlos Federico Novella Kleé creó la empresa Carlos F. Novella y Cía. En ese tiempo el cemento no era el material que se utilizaba en Guatemala para la construcción. En 1901 se inició la comercialización de cemento producido en la Finca La Pedrera. A raíz del terremoto de 1917 se inició la verdadera demanda de este producto ya que todas aquellas construcciones hechas con cemento soportaron las inclemencias de tal fenómeno natural.

La creciente demanda en el mercado creó la necesidad de incrementar la producción. En 1971 se inició la construcción de la Primera Línea en la Planta San Miguel. Siete años después, en 1978, se construyó la Segunda Línea y se legalizó el nombre de Cementos Progreso, S.A. En 1996 principió la construcción de la Tercera Línea que inició operaciones en 1998.

#### 4.6-Fabricación

Los cementos hidráulicos se producen al pulverizar el Clinker Portland, junto con una o más formas de sulfato de calcio (yeso). Además, y sobre todo en cementos hidráulicos mezclados, los cementos contienen minerales adicionales como las puzolanas naturales, cenizas volantes, escoria de alto horno, humo sílice y combinación de estas.

La materia prima utilizada para fabricar el Clinker Portland de los cementos hidráulicos debe contener proporciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, aluminio y hierro.

#### 4.7-Clinker Portland

Fabricado en la planta consiste principalmente de silicatos hidráulicos de calcio y en menor grado de aluminatos y aluminoferritos de calcio. Durante la manufactura de los cementos hidráulicos se analizan frecuentemente todos los materiales para asegurar un cemento uniforme de alta calidad.

Los pasos a seguir en la manufactura del cemento son los siguientes:

- Explotación de materia prima
- Trituración de materia prima
- Dosificación y molienda de materia prima (mezcla)

- Formación de clinker en hornos (clinkerización)
- Envasado, paletizado y despacho

#### 4.8-Tipos según normas

Los tipos de Cemento Portland según la norma ASTM C150

Norma Técnica Guatemalteca NTG 41095, Cementos Hidráulicos: Especificaciones por desempeño.

Siendo estos:

- Tipo I -Ordinario o Simple
- Tipo II -Moderada Resistencia a Sulfatos / Moderado Calor de Hidratación
- Tipo III -Alta Resistencia Inicial
- Tipo IV -Bajo Calor de Hidratación
- Tipo V -Alta Resistencia a Sulfatos

Los tipos de Cementos Hidráulicos Mezclados según la norma ASTM C595 son:

- Tipo I S -Cemento Portland de Escoria de Alto Humo
  - Tipo I P Y P-Cemento Portland Puzolánico
  - Tipo I (SM)-Cemento Portland Modificado
  - Tipo I (PM)-Cemento Portland Modificado con Puzolana
  - Tipo S-Cemento de Escoria de Alto Horno
- Los tipos de Cementos Hidráulicos (Portland y/o Mezclados) según la norma ASTM C1157 son:

a los sulfatos) <sup>F</sup>								
6 meses, % máximo		--	--	--	0.10	0.05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	--	0.10	--	--
<b>Opción BRA/R Baja reactividad con agregados reactivos a los álcalis (G)</b>								
Expansión barra de mortero	C227							
14 días, % máximo		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
56 días, % máximo		0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
<b>Opción BL Color blanco</b>								
Índice de blancura, % mín		70	70	70	70	70	70	70
<b>Opción A Con incorporador de aire</b>								
Contenido de aire en el mortero, % <sup>D</sup>	C185	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3
<b>Requisitos físicos opcionales</b>								
Endurecimiento inicial	C451							
Penetración final, mínima, %		50	50	50	50	50	50	50
Resistencia a la compresión, MPa (psi), mín <sup>E</sup> a 28 días.	C109/109M		--	--	28 (4060)	--	22 (3190)	--
Contracción por Secado, %	C596	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)

#### 4.9-Cementos locales

Norma Técnica Guatemalteca NTG 41095, Cementos Hidráulicos: Especificaciones por desempeño.

Siendo estos:

1. **Tipo UGC**, para uso general en la construcción. Debe de utilizarse en todo tipo de obras, pequeñas, medianas o grandes, donde no se requieran otro tipo de cementos con condiciones especiales.
2. **Tipo ARI**, alta resistencia inicial, para obras especiales de concreto simple reforzado y pre esforzado de endurecimiento rápido y altas resistencias iniciales.

3. **Tipo DLR**, Desarrollo Lento de Resistencia, para estabilización de suelos, concreto compactado con rodillo (CCR), para pavimentos y presas, se debe de despachar preferentemente a granel.
4. **Tipo MRS**, Moderada Resistencia a los Sulfatos, para concretos en aguas y terrenos que contienen sulfatos. Concreto en aguas marinas o ambientes marinos, y concretos expuestos a concentraciones moderadas de sulfato de calcio, sodio y magnesio, en aguas o suelos.
5. **Tipo ARS**, Alta Resistencia a los Sulfatos, para concretos en aguas y terrenos que contienen sulfatos, concretos en aguas marinas o ambientes marinos, y concretos expuestos a concentraciones altas de sulfato de calcio, sodio y magnesio en aguas o suelos.
6. **Tipo MCH**, Moderado Calor de Hidratación, para obras de concreto masivas susceptibles de fuertes retracciones por retracciones térmicas y peligro de fisuración (presas, estribos, cimentaciones, muros gruesos y grandes losas), para obras de concreto normal en ambientes muy calurosos.
7. **Tipo BCH**, Bajo Calor de Hidratación, se utiliza cuando interesa que el concreto desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de concreto, bases de grandes dimensiones y otras construcciones masivas.

Opciones adicionales: las siguientes opciones adicionales de compra se aplican para cualquiera de los tipos principales listados. Cuando una o más de estas opciones son requeridas, su designación de siglas y título del tipo principal.

1. **Opción BRA**, Baja Reactividad Alkali-Silice con los agregados reactivos, cuando sea ensayo a la reactividad alcalina potencial con agregados reactivos, el cemento debe de cumplir con los requisitos de la tabla uno para la opción BRA.
2. **Opción BL**, Color Blanco, debe de cumplir con el requisito de blancura de la opción BL de la tabla 1.
3. **Opción A**, Con Aire Incorporado, agregado al Clinker durante la manufactura del cemento, mejora la resistencia al congelamiento y al deshielo, adicionalmente mejora la trabajabilidad de las mezclas de concreto.

#### 4.10-Proceso

El primer paso en la fabricación de cemento portland consiste en obtener las materias primas. Estas materias primas son minerales que contienen óxido de calcio, óxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de hierro y óxido de manganeso. La extracción de estos minerales se hace en canteras, que preferiblemente deben estar próximas a la fábrica.

En la cantera, los minerales son reducidos por trituradoras primarios y secundarios. La piedra se reduce primero a un tamaño de 125 mm y después a 19 mm. Para la producción de cemento portland existen dos procesos diferentes: por vía seca y por vía húmeda. En el proceso seco la materia prima es proporcionada, molida hasta conseguir un polvo, mezclada y alimentada al horno en un estado seco.

En el proceso por vía húmeda, se añade agua a las materias primas dosificadas según necesidad para obtener una lechada. Después de mezclar las materias primas, estas se ingresan a la parte superior del horno rotatorio cilíndrico ligeramente inclinado donde la temperatura llega hasta de entre 1430 y 1650 grados centígrados.

A una temperatura de 1480 grados centígrados, una serie de reacciones químicas tiene lugar causando la fusión de las materias primas y la formación del clinker en forma de esferas de color gris-negro y de diámetro de entre 3 y 30 mm. El clinker debe ser enfriado rápidamente por medio de aire, produciendo el descenso de la temperatura hasta unos 70 grados centígrados.

El clinker enfriado se mezcla con yeso y se muele, hasta obtener un polvo fino de color gris: el cemento portland.

#### 4.11-Proceso Cempro

Produce Cemento tipo portland y cal de alta calidad, innovando constantemente los procesos de producción, utilizando tecnología de punta y capacitando constantemente a sus colaboradores. Esto les permite cumplir y superar los estándares de calidad nacionales e internacionales.

#### 4.12-Control de Calidad

En la industria de cemento y cal es de vital importancia el control de calidad. Los laboratorios tienen la función de efectuar los análisis químicos y físicos de la materia y del producto final.

Desde 1898, cuando se empezaron los estudios en la fábrica, el Sr. Carlos Novella envió muestras de materia prima de La Pedrera a la casa Allentown Testing Laboratories en Estados Unidos para que fueran analizadas. Los resultados comprobaron que la materia prima era de excelente calidad para producir cemento de primera clase.

En Planta San Miguel, ubicada en Sanarate, El Progreso se cuenta con un laboratorio para el control de calidad desde 1974. En sus inicios las pruebas químicas se realizaban por complejometría, técnica analítica vía húmeda que utiliza un indicador químico para detectar la concentración del elemento por cambio de color. Solamente se cuantificaban 6 elementos químicos (silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio y azufre).

##### Evolución analítica

En 1986 se montó el primer analizador de rayos X marca ARL, con capacidad para analizar 8 elementos químicos en 2 minutos. En 2001 se montó el segundo equipo de rayos X ARL 9800 que podía hacer el análisis de 84 elementos químicos por FRX (fluorescencia de rayos X) y era capaz de analizar fases por DRX (difracción de rayos X),

En el año 2007 se instaló el Robolab, un sistema automático de la marca FLSmith para realizar controles de calidad: muestreo, preparación y análisis para la planta de cemento. Este cuenta con 14 puntos automáticos de muestreo y 3 puntos manuales.

En el laboratorio de control de calidad de Planta San Miguel se opera con métodos modernos y eficientes, así como lo último en tecnología y equipos: analizador de partículas laser, analizador infrarrojo LECO para estudios de azufre y carbón y microscopios para realizar análisis de los diversos materiales de planta. Además, se utilizan sistemas modernos para el manejo de información como la base de datos QCX marca FLSmith. En el 2013 se inició el montaje del sistema de información LIMS de ABB para el manejo de información de la planta.

El control de calidad está incluido en los sistemas de gestión de Planta San Miguel, y está respaldado por la certificación ISO 9001 para calidad, ISO 14001 para la gestión ambiental y OHSAS 18001 para seguridad industrial.

#### 4.13-Pruebas físicas

En el laboratorio de control de calidad también son necesarias las pruebas físicas de los materiales, por eso, se realizan pruebas de: resistencias a la compresión, tiempos de fraguado, expansión y tamaño de partícula en los materiales.

#### 4.14-Producción de calidad en la Planta San Miguel

Actualmente, la Planta San Miguel lleva a cabo las operaciones principales. Estas se encuentran certificadas bajo la norma internacional ISO14001, la cual funge como estándar internacional sobre requisitos para Sistemas de Administración Ambiental. Dentro del Sistema Certificado, existen programas de reducción de emisiones, eficiencia energética, manejo de residuos sólidos, orden y limpieza, tratamiento y reutilización de aguas residuales, rehabilitación de canteras, entre otros.

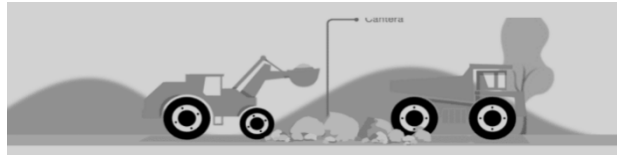
San Miguel es una planta que produce cero desechos y cero vertidos de aguas residuales a cuerpos de agua. Esta posee un programa de compostaje de residuos orgánicos, mediante el cual, se produce abono orgánico que es utilizado en viveros y jardines.

Los factores importantes a tomar en cuenta en su operación son:

- Manejo de canteras con modelos geo-estadísticos digitales.
- Control químico de materias primas en línea con analizador de rayos gamma.
- Sistemas de control lógico programable para control de procesos.
- Tecnología de punta con molinos verticales para harina cruda, combustibles sólidos y cemento.
- Control químico de proceso por fluorescencia y difracción de rayos X.
- Control granulométrico de cemento por rayos láser.

Cementos Progreso tiene participación en la edificación de viviendas, infraestructura y en todo tipo de construcciones en el país. El proceso de fabricación del cemento ha cambiado con el avance de la tecnología; sin embargo, básicamente para obtenerlo, son indispensables los siguientes pasos:

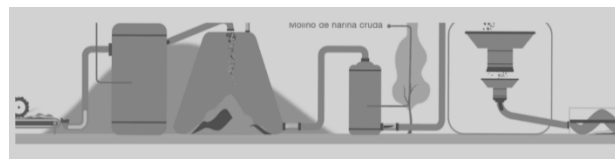
1. Extracción de materia prima: con maquinaria se obtiene la materia prima la cual consiste en piedra caliza y esquistos.



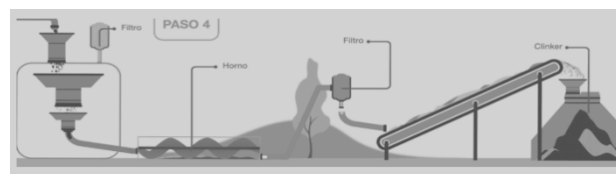
2. Trituración y pre homogenización: luego de transportar la materia prima, se reduce el tamaño de la misma, a través de la trituración. Posteriormente, se realiza una mezcla de las materias con base al tipo de cemento que se desea y se lleva a la galera de homogenización.



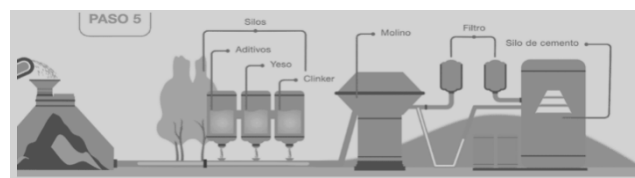
3. **Molienda de harina cruda:** durante este proceso la mezcla pre homogenizada, se pulveriza y da como resultado un polvo fino llamado harina cruda.



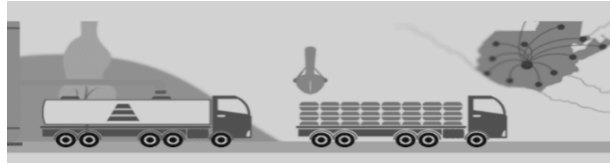
4. **Clinkerización:** la harina cruda pasa por hornos rotatorios, los cuales la calcinan a altas temperaturas. En seguida se llevan a cabo reacciones químicas con la harina, se enfría y el material es un producto gris oscuro, conocido como clinker.



5. **Molienda de cemento:** el clinker es molido y mezclado con materiales tales como el yeso o puzolana, dando paso al producto final conocido como cemento.



6. Empaque y despacho: por último, el cemento pasa a los silos donde se empaqueta en sacos o pipetas y se distribuye por todo el país.



En todos estos pasos se observan estrictos controles de calidad, en los que se asegura cumplir las normas nacionales e internacionales de calidad para los distintos tipos de cementos que se producen.

El peso neto utilizado tradicionalmente en Centroamérica para el cemento en sacos es de 42.5 kilogramos (93.7 lb). En la planta San Miguel se cuenta con 4 líneas de envasado, 2 de ellas totalmente automatizadas y con capacidad de paletizar 3000 sacos/hora cada una, y otras dos de 2000 sacos/hora cada una.

#### 4.15- Características y usos.

##### 4.15.1- Tipo Ari para fabricantes

Cumple con la normativa *COGUANOR NTG-41095* para tipo ARI. Es un cemento tipo Portland de alta resistencia inicial con adiciones minerales de excelente calidad para fabricar bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados, también es ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas, como vigas y columnas para donde se requieran resistencias superiores a los de un cemento de uso general.

Ideal para la fabricación de tubos, adoquines, bloques, prefabricados estructurales, concreto de alta resistencia.

Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión minia PSI		
1 día	1740	
3 días	3480	
28 días		>5800



Imagen Cempro.

##### 4.15.2- Tipo Ari para fabricantes block

Cumple con la normativa *COGUANOR NTG-41095* para tipo ARI. Por sus características especiales es el cemento de mayor resistencia inicial en el mercado, superando las 3400 PSI a 1 día, y como mínimo, 5800 PSI a los 28 días, permite desencofrar las formaletas o moldes en menor tiempo, ahorrando costos y mejorando la productividad. Se obtienen las mayores resistencias iniciales y finales que con cualquier otro tipo de cemento de resistencia más baja.

Cemento de alto desarrollo de resistencia inicial, ideal para fabricar: tubos, blocks, adoquines, elementos estructurales prefabricados, concretos de alta resistencia, (concretos de alto desempeño), elementos de concreto prefabricado, losas de concreto de alta resistencia inicial.

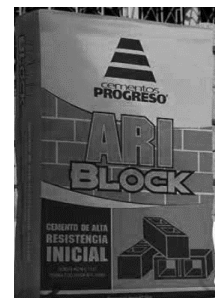


Imagen Cempro.

Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día	1740	
3 días	3480	>4500
28 días	5800	>6500

**4.15.3-Cemento Blanco**

Cumple con la normativa COGUANOR NTG 41095, Cemento Blanco para tipo BL. Es un cemento tipo portland de color blanco, de alta resistencia inicial y final, que por su excelente desempeño puede utilizarse para fabricar concretos decorativos y estructurales, bloques de concreto vistoso, y elementos prefabricados donde se desee resaltar el color blanco.

Ideal para proyectos de mampostería y concreto estructural, pisos decorativos, fabricación de mezclas secas, adhesivos, esculturas y piscinas entre otros.

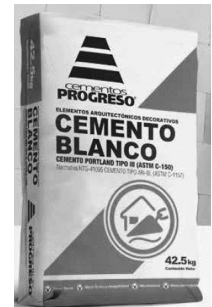


Imagen Cempro.

Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día		>2000
3 días	1750	
7 días	2750	
28 días	4100	>5800
L mínimo	85	93
Índice blancura Cie	70	>70

**4.15.4- Cemento para obras marinas**

Cumple con la normativa COGUANOR NTG-41095, para cemento tipo V o ARS, (Alta Resistencia a los Sulfatos). Es un cemento tipo Portland fabricado especialmente para ser utilizado en casos donde se requiera una alta resistencia al ataque por sulfatos, como es el caso de obras expuestas al agua de mar, al ambiente marino o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos. El uso de baja relación agua-materiales cementantes y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos. Incluso el concreto con cemento tipo V no puede soportar una exposición severa a los sulfatos si tiene alta relación agua-materiales cementantes.



Imagen Cempro.

Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día		>1000
3 días	1750	>1160
7 días	2750	>2180
28 días	4100	>3050
Resistencia a Sulfatos		
6 meses % Máximo	0.03	>3050
Calor hidratación		
7 días Máximo	290	227.95

#### 4.15.5-Cemento para fabricantes

Cumple con la normativa COGUANOR NTG-41095 para tipo ARI. Es un cemento tipo Portland de alta resistencia inicial con adiciones minerales de excelente calidad para fabricar bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados, también es ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas, como vigas y columnas para donde se requieran resistencias superiores. Cemento de alto desarrollo de resistencia inicial, ideal para fabricar: tubos, blocks, adoquines, elementos de concreto prefabricado, losas de concreto de alta resistencia inicial.

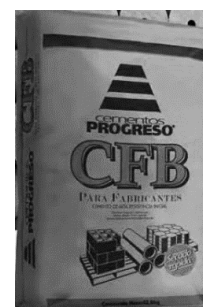


Imagen Cempro.

Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día	1740	
3 días	3480	>3480
28 días		>5400

#### 4.15.6-Cemento Estructural

Cumple con la normativa COGUANOR NTG-41095 para tipo ARI. Es un cemento portland de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural. Es ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas, como edificios altos y puentes, o cuando se requiera un aumento de resistencia a edades tempranas. Ideal para fabricar: losas, vigas, columnas y zapatas,

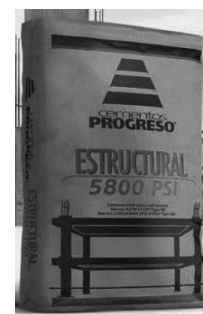


Imagen Cempro.



Tabla Características

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día	1740	
3 días	3480	>3480
7 días		5000
28 días	5800	>5800

#### 4.15.7-Pegablock

Cumple con la normativa COGUANOR NTG-41096 - ASTM C91 para tipo S. El cemento Pegablock tipo S se fabrica de forma similar a los cementos portland y los cementos con adiciones presentes actualmente en el mercado. En el proceso de fabricación de este tipo de cemento se utilizan de forma óptima puzolanas e ingredientes especiales que, sumados a los; estrictos controles de calidad, permiten hacer mezclas de mortero más trabajables para todo tipo de obras de mampostería y albañilería en general. El cemento Pegablock es un ligante con una resistencia mínima de 2100 psi, (14.5 N/mm<sup>2</sup>) a los 28 días.

##### Beneficios

Las mezclas elaboradas con cemento Pegablock proporcionan un tiempo abierto (estado plástico) más prolongado y por lo tanto permite que la mezcla se mantenga trabajable por más tiempo. Esto evita que la mezcla sufra tantas contracciones y por lo tanto, ofrece mayor durabilidad.

El cemento Pegablock ofrece mayor adherencia y trabajabilidad, por lo tanto, es ideal para pegar todo tipo de elementos de mampostería y tubos, ensabietado de muros, construcción de banquetas y elaboración de plantillas (no losas de cimentación). Usos: cemento Pegablock está diseñado para trabajos en donde no se requieran elevadas resistencias a la compresión, sino principalmente propiedades ligantes y aglutinantes, por ejemplo:

- Pegado de blocks y ladrillos en la construcción de muros.
- Pegado de tubos en la construcción de drenajes.
- Elaboración de plantillas para tener un área de trabajo limpia durante los trabajos de cimentación de las obras.
- Pegado de piedras en la cimentación de mampostería.
- Ensabietado de muros para mejorar la apariencia o como preparación para la aplicación de las capas finales de recubrimiento como repellos, cernidos y alisados.

#### 4.15.8-Uso general en la construcción

Cumple con la normativa COGUANOR NTG-41095 para tipo UGC, MRS, MCH, BRA. Este es un cemento portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que, por sus características, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción, donde no se requieran cargas o esfuerzos estructurales, el cemento UGC por su formulación con puzolana es especial para la fabricación de concreto premezclado, mezclado en obra en la elaboración de morteros de diferentes tipos.

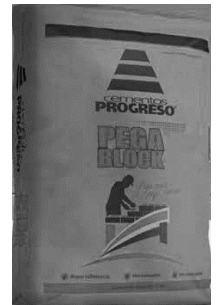


Imagen Cempro.

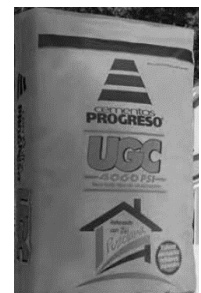


Imagen Cempro.

**Tabla Características**

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
28 días	4060	4060
Resistencia a los sulfatos		
6 meses % máximo	0.03	0.02
Calor de hidratación		
7 días Máximo	290	227.95

**4.15.9-Ultra Performance**

Cumple la normativa COGUANOR NTG-41095 para tipo ARI-BRA. Ultra Performance es un cemento ideal para trabajar en concreto, losas, postes y pavimentos. Tiene el balance perfecto entre resistencia y rendimiento, reforzado con puzolana natural y con una baja reacción álcali-sílice, lo que asegura y garantiza su alto beneficio. Por su fórmula especializada, provee mayor potencial para alcanzar resistencia, al mismo tiempo reduce la reactividad álcali-sílice; esto mejora el rendimiento respecto a cementos de uso general y garantiza una adecuada interacción con la mayoría de agregados aceptados para concreto. Uso ideal para concreto de losas, postes, pavimentos, y prácticamente cualquier mezcla de concreto donde se requieran mayores resistencias que las obtenidas con un cemento de uso general.

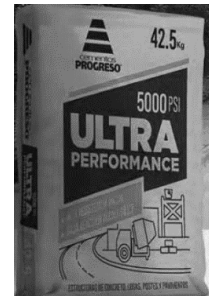


Imagen Cempro.

**Tabla de características**

Características	Normativa	Cempro
Resistencia a la compresión mínima PSI		
1 día	1740	2000
3 días	3480	>3480
28 días		5000

**4.16-Tipos de cemento internacional**

Se fabrican diferentes tipos de cemento portland, según las características físicas y químicas requeridas. La ASTM, en su especificación C-150, prevé ocho tipos diferentes de cemento portland.

**4.16.1-El cemento portland tipo I**

Es un cemento normal destinado a obras de concreto en general, al que no se le exigen propiedades específicas.

**4.16.2-El cemento portland tipo IA**

Es parecido al tipo 1 pero con inclusor de aire.

**4.16.3-El cemento portland tipo II**

Es resistente a la acción moderada de sulfato y el desprendimiento de calor es menor que en los cementos normales.

**4.16.4-El cemento portland tipo IIA**

Es igual que el tipo II pero con inclusor de aire.

#### 4.16.5-El cemento portland tipo III

Alcanza alta resistencia inicial. Su composición química y física es parecida al del tipo I pero con una molienda más fina de sus partículas.

#### 4.16.6-El cemento portland tipo IV

Tiene un desprendimiento de calor más bajo. El desarrollo de resistencia de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Es el cemento ideal para obras de estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

#### 4.16.7-El cemento portland tipo V

Tiene una resistencia muy alta a la acción de los sulfatos. Se usa en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos, principalmente donde el concreto está expuesto a tierra y aguas subterráneas con un contenido alto de sulfatos.

La norma ASTM C1157 establece los requisitos de durabilidad de los cementos hidráulicos e incluye los siguientes tipos:

- **Cemento hidráulico** del tipo GU para usos generales de construcción.
- **Cemento tipo HE** de una temprana resistencia alta.
- **Cemento del tipo MS** con una resistencia moderada a los sulfatos.
- **Cemento del tipo HS** con una resistencia alta a los sulfatos.
- **Cemento del tipo MH** de moderado calor de hidratación.
- **Cemento del tipo LH** de bajo calor de hidratación.

Estos cementos también pueden ser designados para una reactividad baja con agregados álcali-reactivos.

#### 4.17-Cementos hidráulicos mezclados

Los cementos hidráulicos mezclados se fabrican mezclando íntimamente dos y más tipos de materiales cementosos. Los materiales primarios de mezcla son el cemento portland, escoria del alto horno granulado molido, ceniza volante, puzolana natural y humo de sílice. Estos cementos se suelen usar de la misma manera que los cementos portland.

La norma ASTM C595 reconoce cinco tipos de cementos mezclados:

- Tipo IS: cemento portland de escoria del alto horno.
- Tipos IP y P: cementos portland puzolana.
- Tipo S: cemento de escoria.
- Tipo I (PM): cemento portland modificado con puzolana.
- Tipo I (SM): cemento portland modificado con escoria.

El contenido de escoria del alto horno del tipo IS varía entre el 25 y el 70 % en peso. El contenido de puzolana de los tipos IP y P varía entre el 15 y el 40 % en peso del cemento mezclado.

El contenido de puzolana del tipo I (PM) es menor del 15 % en peso del cemento terminado. El contenido mínimo de escoria del tipo S es del 70 % del cemento de escoria. El contenido de escoria del tipo I (SM) es menor del 25 % en peso del cemento de escoria. A todos estos cementos también se les puede designar la inclusión de aire, la resistencia moderada a los sulfatos, o el calor moderado o bajo de hidratación.

La norma ASTM C1157 de cementos hidráulicos mezclados incluye los siguientes cementos:

- **Cemento hidráulico mezclado** del tipo GU para usos generales de construcción.
- **Tipo HE:** cemento de alta resistencia temprana.
- **Tipo MS:** cemento de resistencia moderada a los sulfatos.
- **Tipo HS:** cemento de alta resistencia a los sulfatos,

- Tipo MH: cemento de calor moderado de hidratación.
- Tipo LH: cemento de calor bajo de hidratación.

A todos estos cementos también se les puede designar una reactividad baja con agregados álcali-reactivos. No existen restricciones para la composición de los cementos de la norma C1157. El fabricante puede optimizar los ingredientes, como las puzolanas y la escoria, para conseguir propiedades específicas del concreto.

Los cementos mezclados más comunes son los de los tipos IP e IS. En Estados Unidos usan cantidades relativamente pequeñas de cementos mezclados, comparado con países europeos y asiáticos.

#### 4.18-Cementos expansivos

El cemento expansivo es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 845, en la cual se le designa como cemento tipo E-1. Comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo:

- E-1(K) contiene cemento portland, trialuminosulfato tetracálcico anhidro, sulfato de calcio y óxido de calcio sin combinar.
- E-1 (M) contiene cemento portland, cemento de aluminato de calcio y sulfato de calcio.
- E-1 (S) contiene cemento portland con un contenido elevado de aluminio tricálcico y sulfato de calcio.

El uso de cementos expansivos (típicamente el cemento tipo K) se ha dado principalmente en EE. UU., en donde s sus únicos fabricantes.

Los principales ensayos que se efectúan al cemento son:

- Finura Blaine (ASTM C204)
- Finura Tamiz No. 325 (ASTM C430)
- Expansión de autoclave (ASTM C151)
- Consistencia normal (ASTM C230)
- Tiempos de fraguado inicial y final (ASTM C191)
- Falso fraguado (ASTM C451 Y C359)
- Resistencia a la compresión (ASTM C109)
- Calor de hidratación (ASTM C186)
- Pérdida de ignición (ASTM C114)
- Gravedad específica (ASTM C188)

La calidad, propiedades y contenido del cemento en la mezcla de concreto son cruciales en el desempeño de la misma. La calidad de la pasta agua/cemento depende directamente de la calidad y propiedades del cemento utilizado.

Es importante controlar la calidad del cemento a utilizar en una determinada mezcla de concreto, así como conocer las principales propiedades del mismo tales como: fineza, resistencia mecánica, tiempo de fraguado y estabilidad volumétrica entre otras.

El contenido óptimo de cemento en la mezcla debe ser definido de acuerdo con las características deseadas en el tipo y distribución de la granulometría de los agregados y el uso de aditivos químicos. Una cantidad insuficiente de cemento influenciará negativamente en la resistencia y durabilidad del concreto porque no habrá suficiente pasta de agua/cemento para llenar los vacíos producidos por la compactación de la mezcla de concreto.

Por otro lado, un excesivo contenido de cemento afectará negativamente en los costos del concreto, así como en la durabilidad, debido a los cambios volumétricos y agrietamientos derivados de la contracción y alto calor de hidratación de la mezcla.

La manipulación del cemento debe hacerse siempre utilizando el equipo de protección individual; lentes, mascarilla, tapones de oído, y evitar manipularlo con la mano. Siempre se debe utilizar guantes o elementos mecánicos, pala, cuchara, etc.

Al contacto con los ojos es necesario lavar con abundante agua y en caso de permanecer más de un minuto el cemento alojado en las cavidades del ojo lavar con agua a presión moderada y por una persona entrenada. Al inhalarse cemento en cantidades que provoquen irritación en las vías respiratorias, trasladar a la persona a un centro asistencial.

#### 4.19-Cementadores inorgánicos

Hay compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos; muchos de ellos se emplean comúnmente, tanto en el hogar, como en la industria, así como en el trabajo de albañilería; algunos de ellos los transforma el hombre a partir de materias primas que adquiere del medio natural. En la naturaleza se encuentran una serie de sustancias que se unen, se mezclan, se combinan y forman todos los materiales que constituyen las diferentes capas de la tierra y que se encuentran en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido o gaseoso.

Son materiales que se utilizan en la construcción, formados por una mezcla de arcilla y silicatos de calcio (silicatos dobles de aluminio y calcio) y al añadirse agua, fragua o se solidifica.

En la construcción, los cementadores más empleados son la cal, el yeso y los cementos artificiales, que mezclados con áridos (arenas y gravas) forman los componentes más utilizados morteros y concretos.

#### 4.20-Morteros

El mortero es una mezcla de conglomerantes inorgánicos, árido fino (arena), agua y posibles aditivos y adiciones. Generalmente se utiliza para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes.

Algunas definiciones importantes:

- Cemento + agua = mezcla
- Mezcla + agregado fino = mortero
- Mezcla + agregado fino + agregado grueso = concreto
- Concreto + acero = concreto reforzado.
- Fraguado: durante el fraguado la masa plástica se pone cada vez más rígida (duración de minutos a 18 horas).
- Endurecimiento: la masa rígida aumenta su dureza y resistencia mecánica.
- Curado: proceso por medio del cual la masa endurece y adquiere resistencia.
- Función de la arena: evitar expansiones y contracciones del cemento. Reducción o disminución del volumen. Disminución de costos.
- Función de la mezcla de cemento: envolver completamente cada una de las partículas del árido (arena).
- Llenar completamente los vacíos entre las partículas del árido, el mortero por su parte aun cuando se le pueda considerar un tipo de concreto especial que solo tiene agregados finos, sus componentes son básicos al igual que el concreto.

Los morteros no han experimentado el mismo grado de desarrollo práctico que el concreto. El mortero puede, o no, tener función estructural y su uso está relacionado directamente con la necesidad, por ejemplo: el mortero de los pañuelos en una losa no tiene función estructural, los morteros utilizados en mampostería (pegado o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales estos si poseen tal función.

#### 4.21- Propiedades del mortero

Las propiedades que más influyen en el comportamiento estructural de los elementos son su deformabilidad y adherencia con las piezas; así mismo, de la deformabilidad depende en gran medida las deformaciones totales del elemento y en parte su resistencia a la carga vertical.

Es importante que el mortero tenga una trabajabilidad adecuada para que pueda ser colocado de forma tal que permita el asentamiento correcto de las piezas, para evitar concentraciones de esfuerzos y excentricidades.

#### 4.22- Adherencia

Entre el mortero y las piezas es fundamental la adherencia para la resistencia por cortante del elemento. Se ha encontrado que esta adherencia se logra en gran manera por un efecto mecánico que ocurre al absorberse la lechada que penetra en los poros de las piezas. Al endurecerse la lechada se forman cristales que generan la trabazón mecánica entre ambas piezas.

#### 4.23- Por su origen

Los morteros pueden ser premezclados en planta, premezclados secos o elaborados en obra. De acuerdo a su dosificación ha sido costumbre hablar de morteros en relación (1:3 o 1:4 etc.) indicando partes de cemento y arena; los morteros con estas proporciones y manejabilidad pueden arrojar diferentes resistencias a compresión a los 28 días, en razón de la granulometría utilizada. Uno de los usos fundamentales de los morteros es la mampostería por consecuencia se definen en las siguientes categorías:

#### 4.24-Morteros premezclados húmedos

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados finos, agua y eventualmente aditivos, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. Puede tratarse de morteros convencionales o de larga vida, que permiten su almacenado fresco hasta 48 horas. De forma que su proceso de fraguado solo se inicia una vez entra en contacto con la mampostería.

#### 4.25-Morteros premezclados secos

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados secos y aditivos en polvo, los cuales son proporcionados y mezclados en planta, el proceso de mezclado de mortero seco debe de concluirse en el sitio de la obra, con la adición correcta de agua, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

#### 4.26-Morteros para mampostería

En un muro de mampostería el mortero representa entre un 10 o 20% del volumen total del material; no obstante, su efecto en el comportamiento de la pared es mucho mayor de lo que indica tal porcentaje. Por esto se determina fundamental conocer el uso que se le dará a cada uno de los diferentes morteros:

- Función estética: dar acabado al muro, textura, colorido etc.
- Función estructural: unión de las diferentes unidades de mampostería.
- Sello para evitar penetraciones de aire y sellos de agua.
- Se adhiere al refuerzo de las juntas, a los amarres metálicos y a pernos anclados, de modo que los hace actuar conjuntamente.
- De ser mampostería armada envuelve, protege y actúa en unión de la armadura.

##### 4.26.1-Clasificación de los morteros de mampostería

De acuerdo con las normas ACTM 270, los morteros se clasifican por sus propiedades o por sus proporciones. Toda especificación debe de hacerse por una sola categoría de las indicadas. Pero no por ambas (por ser excluyentes). La especificación por propiedades (resistencia a la compresión, retención de agua y contenido de aire) adquiere sentido para efectos de diseño con base en pruebas de laboratorio.

Más no para morteros mezclados en obra. Se asume que las proporciones asumidas en el laboratorio son las que se emplearan al mezclar en obra, esperándose del producto un comportamiento satisfactorio. En la práctica es recomendable especificar el mortero con la resistencia más baja que se ajuste a los requisitos del trabajo.

A continuación, se mencionarán algunos criterios importantes que se deberán considerar al utilizar un mortero:

- Cuando se especifique un mortero de resistencia baja este no puede ser sustituido arbitrariamente por otro de mayor resistencia.

- No se debe cambiar las proporciones del mortero premezclado especificado para una obra en particular, ni emplear materiales con características físicas diferentes en la mezcla, a menos que se restablezca su conformidad con los requisitos de la norma.

#### 4.26.2-Características del Mortero tipo M

Este mortero está diseñado para unir las piezas de mampostería a través de juntas verticales y horizontales. Usos y aplicaciones: pega de piezas de mampostería estructural, muros y muros confinados donde se requiera mayor resistencia.

Características:

- Es una mezcla de alta resistencia.
- Ofrece más durabilidad que otros morteros.
- Se recomienda para mampostería reforzada o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se prevea congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, temblores.
- Se debe de usar en estructuras en contacto con el suelo: cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos etc.

#### 4.26.3-Características del Mortero tipo S

Mortero para uso general relacionado a los levantados. Obtiene una resistencia intermedia de 1800 PSI, la cual es adecuada para ser utilizada en cualquier tipo de construcción. Es ideal para muro de carga liviana, mediana o pesada, para paredes perimetrales y división, así como también para muros de tabique.

Características

- Es un mortero que alcanza las más altas características de adherencia que un mortero puede alcanzar.
- Debe de usarse para estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que a la vez requieran de una alta característica de adherencia.
- Debe de usarse en los casos que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosas de barro cocido, etc.

#### 4.26.4-Características del Mortero tipo N

Por lo general, el mortero Tipo N es recomendable utilizarlo en paredes exteriores y de superficies por encima del nivel del suelo expuestas a condiciones climáticas severas y a altas temperaturas. La mezcla de mortero Tipo N tiene una resistencia a la compresión media y está compuesta de una parte de cemento Pórtland, una parte de cal y seis partes de arena.

Características

- Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo.
- Es bueno para recubrimiento de mampostería en muros internos y divisiones.
- Representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.  
Usualmente las mezclas tipo N alcanzan cerca de 125 kg/cm<sup>2</sup> (1,800 Psi) de resistencia a la compresión, en los ensayos de laboratorio. Debe de tenerse presente que la calidad de la mano de obra, la succión propia de los elementos de mampostería y otras variables afectan su resistencia una vez colocado.

#### 4.26.5-Características del Mortero tipo O

Esta mezcla de mortero Tipo O tiene una resistencia a la compresión relativamente baja, sólo 350 psi. Es utilizado principalmente para paredes interiores, sobre rasantes y sin carga. En algunas aplicaciones interiores se puede utilizar el tipo O como alternativa al tipo N, pero su uso exterior es limitado debido a su baja capacidad estructural.

#### Características

- Es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal.
- Puede usarse en paredes sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos.
- Son usuales en la construcción de viviendas de uno o dos pisos.
- Por su excelente trabajabilidad son los morteros preferidos por los albañiles.

#### 4.27-Correlación entre morteros y piezas de mampostería

El tipo de mortero utilizado en cada obra debe correlacionarse con las piezas de mampostería, blocks o ladrillos, a efecto de evaluar su compatibilidad, y garantizar una fuerte adherencia que evite la entrada de agua al muro. Así tratándose del uso de piezas de mampostería con gran tasa inicial de absorción, son de mejor compatibilidad los morteros de gran retención de agua (tipo O) eso significa que los ladrillos de mucha absorción deben combinarse con morteros altos en cal.

Por el contrario los ladrillos con bajo nivel de absorción inicial, indican los ensayos, que es más conveniente el uso de mortero con mayor cantidad de cemento que de cal (morteros tipo S o M).

La razón por la cual deben utilizarse morteros de cemento y cal es explicada de la siguiente manera: la cal hidratada tipo S (hecha de cal viva dolomítica y que contiene cantidades iguales de hidróxido de magnesio, e hidróxido de calcio cuyos tamaños son del orden de 500 veces menores que las de cemento). Y actúa de la siguiente manera:

- Mejora la plasticidad del mortero.
- Mejora notablemente la retención del agua.
- Incrementa la adherencia del mortero y las piezas de mampostería
- Incrementa la ductilidad y flexibilidad del mortero.
- Ayuda a evitar eflorescencia (pérdida espontánea del agua de cristalización en los hidratos).
- Cura fisuras pequeñas.
- Contribuye ligeramente a la adquisición de resistencias finales.

#### 4.28-Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno.

Las normas recomiendan un uso granulométrico según se trate de arena natural o arena de trituración, no basta solamente con el cumplimiento de la granulometría, sino que, además, deben considerar otros parámetros de importancia:

1. La arena no debe tener más de 50% retenido entre dos tamices consecutivos, ni más de 25% en el tamiz de 0.15mm (No.100) y que pase del tamiz 0.30 mm (No. 50).
2. Si el módulo de finura varía en más de 0.20 del valor asumido para escoger las proporciones del mortero, la arena debe rechazarse a menos que modifiquen las proporciones de la mezcla para compensar el cambio.
3. Cuando la junta tenga más de 10 mm de espesor es conveniente utilizar arenas más gruesas.
4. Cuando las juntas sean muy delgadas se usan arenas que pasen totalmente el tamiz 2.4 mm (N0.8) y 95% el tamiz de 1.2 mm (No. 16)

#### 4.29-Control de calidad de los morteros de pegado

Resistencia a la compresión: se controla mediante la elaboración de cubos de mortero de 5 cm de arista, o de cilindro de 7.5 cm (3") de diámetro y 15 cm (6") de altura, o de cilindros de 10 cm (4") de diámetro y 20 cm de (8") de altura, el uso de los cilindros siendo un proceso dispendioso y de cuidado más apropiado para laboratorio. No es recomendado en obra ya que en esta es preferible el uso de cilindros fundidos en 3 capas, 25 golpes, varilla redondeada de 9.5 mm, mazo de caucho. Los ensayos son de 7 a 28 días de edad.



#### 4.29.1-Ensayo de retención de agua

En un ensayo mediante el cual una muestra de mortero se somete a succión mediante un aparato que permite aplicar vacío de 50.8 mm de mercurio durante 60 segundos, de acuerdo a la norma ASTM CP1, el valor de flujo obtenido después de este tratamiento, expresado como porcentaje del flujo medido antes de la succión es la capacidad de retención de agua del mortero.

Notas destacadas sobre propiedades importantes de los morteros.

1. Manejabilidad: depende principalmente del contenido de agua, del uso de aditivos, de la forma y textura de los agregados y de la finura del cemento. Se evalúa mediante ensayo de mesa de flujo o método del cono de penetración.
2. Retención del agua: debe de ser alta para evitar agrietamientos y pérdida de resistencias. Se logra con el uso de cal o aditivos.
3. Retracción de secado: es alta en morteros (alto contenido de pasta) y por tanto debe tratar de disminuirse, se recomienda utilizar bajos contenidos de cemento.
4. En lo posible, cementos adicionados, deben de ser curados, tan rigurosamente, como el concreto.
5. Resistencias mecánicas: especialmente a la compresión, depende de la relación A/C, y de la adición usada y muy especialmente de la granulometría de la arena, la cual se establece a través del módulo de finura. La arcilla disminuye esas resistencias, por lo cual es indispensable controlar su inclusión a través de las arenas sucias.
6. Su resistencia en compresión no será menor de 40 KG/cm<sup>2</sup>.
7. La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3.
8. Se empleará la mínima cantidad de agua que de cómo resultado mortero fácilmente trabajable.

#### 4.30-Definiciones generales de morteros.

##### Morteros de Cemento

El Mortero de Cemento es una mezcla de cemento, arena y agua. Posee gran resistencia y asimismo rapidez en secarse y endurecerse; sin embargo, es escasamente flexible, y puede agrietarse con facilidad.

##### Mortero de Cal:

El Mortero de Cal está compuesto por cal (hidráulica o aérea), arena y agua, es un mortero de gran plasticidad, fácil de aplicar, flexible y untuoso, pero de menor resistencia e impermeabilidad que el Mortero de Cemento.

##### Mortero Bastardo:

Se llama Mortero Bastardo o Mixto al compuesto por cemento y arena que combina las cualidades de los dos anteriores. Si en la masa se pone más cemento que cal será más resistente y si la cantidad de cal es mayor, será más flexible.

##### Mortero de Yeso:

Se denomina Mortero de Yeso a aquel elaborado a base de yeso, arena y agua. Es menos resistente que otros morteros, pero endurece rápidamente. Normalmente, no se utiliza para levantar paredes. No se recomienda su aplicación en elementos en los que se presuma la existencia de humedad (cuartos de baño, cocinas, o cualquier área húmeda.), debido a que el yeso tiene una gran capacidad de absorción, por lo que puede almacenar una gran cantidad de agua.

#### Diseño de morteros de cemento

Cemento	Arena	Uso
1	4	Pegado de block, ladrillo, donde se requieran altas resistencias de muro.
1	5	Mezcla de mediana resistencia, pegado de pisos, azulejos, acabados interiores.
1	6	Mezcla de baja resistencia par muros de relleno o tabique.
1	8	Mezclas pobres: obras provisionales.
1	10	Mezclas pobres: mejoramiento de suelos.
1	12	Mezclas pobres: elementos para delimitación de lotes (mojones), bases para pisos.

#### 4.31- Cal

La cal es un elemento cáustico, muy blanco en estado puro, que proviene de la calcinación de la piedra caliza. La cal común es el óxido de calcio de fórmula  $\text{CaO}$ , también conocido como cal viva. Es un material muy utilizado en construcción y en otras actividades humanas.

Como producto comercial, normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro. La cal se puede obtener normalmente por descomposición térmica de materiales como la piedra caliza, que contiene carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), material extraído de depósitos sedimentarios llamados caliches. Se somete a temperaturas muy altas, que oscilan entre 900 y 1200 °C, por un período de 3 días, en un horno rotatorio o en un horno especial llamado kiln de cal.

#### Norma Técnica guatemalteca, NTG 41018 h2

#### 4.32- Calcinación

En este proceso se libera una molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), resultando el material llamado óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), de color blanco y muy cáustico (quema los tejidos orgánicos). Sin embargo, el proceso puede ser reversible, ya que, al enfriarse la cal, comienza a absorber nuevamente el  $\text{CO}_2$  del aire, y después de un tiempo, vuelve a convertirse en  $\text{CaCO}_3$  o carbonato de calcio.

#### 4.33- Cal viva

Esta puede ser combinada con agua, produciéndose una reacción violenta que desprende mucho calor. Se forma entonces el hidróxido de calcio que se comercializa en forma de polvo blanco conocido como cal muerta o apagada. Desde la antigüedad, el uso más frecuente de la cal es como aglomerante en la construcción. Al mezclar cal con agua y arena, se produce una especie de mortero que se utiliza para pegar ladrillos, piedras y también para aplanar paredes y techos. Este uso se debe principalmente a que la cal puede adquirir mucha dureza al secarse y puede ser un material muy resistente. Eso se produce debido a que la cal apagada absorbe el dióxido de carbono que había perdido y se convierte lentamente en carbonato de calcio al secarse.

Debido a esa misma característica, la cal también se utiliza para crear pinturas murales con la técnica del fresco. Al endurecerse la cal, por convertirse en carbonato de calcio, facilita la fijación de los colores del fresco. En muchos lugares, también se usa para recubrir fachadas debido a su impermeabilidad.

Otros usos de la cal incluyen la neutralización de los suelos ácidos en agricultura, la fabricación de vidrio y papel, el lavado de ropa blanca, el refinado de azúcar, el ablandamiento del agua, incluso en alimentación, para hacer sémola de maíz y tortillas en un proceso llamado nixtamalización.

El óxido de calcio o cal, de fórmula  $\text{CaO}$ . Esta palabra interviene en el nombre de otras sustancias, como por ejemplo la «cal apagada» o «cal muerta», que es hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ . También se denomina cal viva. Antiguamente se usaba «cal» en vez de «calcio», en algunos nombres de compuestos donde interviene este elemento, como el "talco" o "aljez" (sulfato de calcio dihidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o el mármol o "gjs" (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ).

Los depósitos sedimentarios de carbonato de calcio se llaman caliches. La cal ha sido un material de construcción muy utilizado antes de la aparición del cemento. La cal era usada mezclada con arena como mortero (una de cal y una de arena) para unir sillares de roca, para lucir paredes, para blanquear fachadas e incluso como desinfectante. La cal se ha usado, desde la más remota antigüedad, como conglomerante en la construcción; también para pintar (encalar) muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial, habitual en las antiguas viviendas mediterráneas, en la fabricación de fuego griego.

#### **4.34-El óxido de calcio**

Reacciona violentamente con el agua haciendo que este alcance los 90 °C. Es por ello que, si entra en contacto con seres vivos, deshidrata sus tejidos ya que estos están formados por agua. Por ejemplo, un ser humano está formado por un 75% de agua.

El hidróxido de calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono (IV) del aire para formar de nuevo carbonato de calcio (cal). En esta reacción la masa se endurece. Por esto el óxido de calcio forma parte de formulaciones de morteros, especialmente a la hora de enlucir paredes de color blanco.

Variedades de la cal viva.

De acuerdo con el porcentaje de óxido de calcio las cales vivas se clasifican en dos variedades.

##### **4.34.1-Cales grasas**

Son las más blancas, fabricadas con piedras calizas de gran pureza, que en presencia de agua reaccionan con fuerte desprendimiento de calor.

##### **4.34.2-Cales magras**

Son más amarillentas, más impuras porque poseen sustancias como arcilla, óxido de magnesio, etc., que en presencia de agua reaccionan con poco desprendimiento de calor.

#### **4.35-Cal apagada**

Se dice que se obtiene "cal apagada" cuando se vierte agua sobre la cal viva en las construcciones. El apagado es exotérmico: se desprende gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada. Simultáneamente la cal viva se desterrona y expande. Es pastosa y como es cáustica, no debe tocarse con los dedos. El apagado de la cal viva se practica en un hoyo excavado en el terreno o dentro de una batea de madera. Mientras se añade agua, remueve constantemente la mezcla. Después cubre con agua el producto obtenido y lo estaciona un mínimo de 48 horas.

Con cal apagada, arena y en ocasiones polvo de ladrillo se hace la mezcla, argamasa o mortero aéreo, para asentar ladrillos, fijar baldosas y azulejos y revocar paredes.

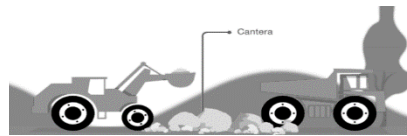
#### **4.36-Cal hidratada**

La cal hidratada es hidróxido de calcio, pero la cal viva no es apagada a pie de obra, sino en condiciones cuidadosamente controladas. El óxido de calcio debe recibir una cantidad estrictamente necesaria de agua, obteniéndose un hidróxido como polvo seco, que se muele finamente. La cal hidratada se expende en bolsas de papel impermeable de 40 kilos.

#### **4.37-Proceso de producción de cal**

Debido a que la cal debe cumplir determinados requerimientos físicos y químicos, se requieren calizas de alta pureza y de un proceso de producción controlado que aseguren un producto de excelente calidad. Seguidamente se detalla el proceso de elaboración de la cal hidratada Horcalsa.

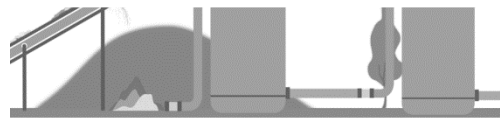
1. Obtención de la piedra caliza: Incluye todos los procesos en la cantera, a través de los cuales se obtiene la piedra caliza, la cual es la materia prima del proceso. La explotación de la cantera se realiza después de un proceso de análisis de caliza, según su pureza y composición.



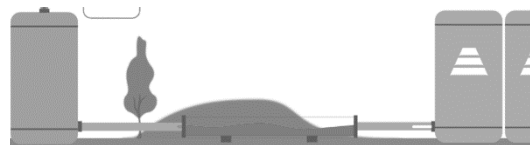
2. Preparación de la piedra: Aquí se incluye el proceso de trituración primaria y secundaria, así como la clasificación del material para obtener piedras con el diámetro requerido en el horno de calcinación.



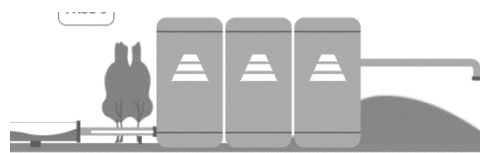
3. Calcinación: La calcinación, en el sentido más sencillo, consiste en la aplicación de calor para la descomposición de reacción térmica de la caliza. En este paso de la producción de cal se pierde cerca de la mitad de peso, por la descarbonatación pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. La calcinación es un proceso que requiere mucha energía para que la descarbonatación pueda ocurrir y es en este paso cuando la piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) se transforma en cal viva ( $\text{CaO}$ ).



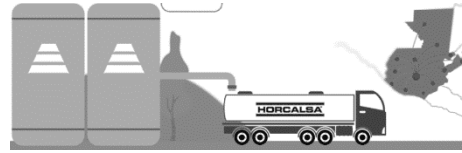
4. Hidratación: En esta etapa, el óxido de calcio o cal viva se lleva a un hidratador, en donde se agrega agua al producto. De esta forma las piedras de cal viva, al hidratarse se convierten en el polvo fino que conocemos como cal hidratada, que como ya se explicó, es hidróxido de calcio. Además, cabe mencionar que este proceso es un proceso exotérmico, esto es que cuando a la cal viva se le agrega agua, la reacción libera calor.



5. Separación: Luego de la hidratación el producto se almacena en silos.



6. Envasado / Empaque / Despacho: Finalmente, se procede al empaque de la cal hidratada HORCALSA, lo cual se lleva a cabo en las bolsas de papel generalmente conocidas, o bien, a granel en pipas.



Todos los procesos anteriormente descritos, son completamente industriales. En los mismos se llevan a cabo estrictos controles de calidad que permiten alcanzar las normas requeridas para la fabricación de cal hidratada.

Para ello, se determina el cumplimiento de los requerimientos químicos (dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido férrico, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxidos no hidratados y dióxido de carbono) y de los requerimientos físicos de fineza y retención de agua.

#### 4.38-Descripción del proceso

El procesamiento de la cal, requiere de una planificación de producción exacta, ya que es un producto altamente cáustico y peligroso si no se trabaja con ella de una manera adecuada. A continuación, la descripción del proceso:

1. Extracción de calizas a cielo abierto, con explosivos (barrenos) fragmentación.
2. Machaqueo, con machacadoras de mandíbulas.
3. Cocción o calcinación en hornos intermitentes de mampostería o ladrillo, o en hornos continuos (planta).
  4. Apagado, hidratación al pie de la obra o con hidratadores continuos (planta).
  5. Molienda, molinos de bolas (mover) o de martillos (impacto).
  6. Almacenamiento en silos verticales.
  7. Envasados, automático en la parte inferior, en sacos de papel de doble forro de 25 y 40 kg de peso. Se colocan las piedras calizas grandes abajo; la calcinación dura 3 o 4 días hasta que no sale humo por la chimenea (pérdida de bióxido de carbono). Queda óxido de calcio = cal viva que hay que apagar.

Cal Hidratada HORCALSA Cempro, Es una cal hidratada en polvo elaborada de calizas de alto contenido de carbonato de calcio, calcinadas e hidratadas. Su uso principal es en albañilería o mampostería, se utiliza en las mezclas para recubrimientos como repello, cernidos y otras texturas, para mezclas de levantado de paredes de block, concreto y pómez, para mezclas de pega de fachaletas y para la elaboración de mezclón.

#### Presentación

Disponible en bolsa de 20kg (44 lbs), 25 kg (lbs) y granel.

#### Beneficios

- Su mayor pureza asegura un menor consumo de cal.
- Reducción del problema de incrustaciones o coloración.
- Reduce la formación de sarro o incrustaciones en tuberías y equipos.
- Mayor área superficial que mejora la reactividad y reduce el consumo de cal.

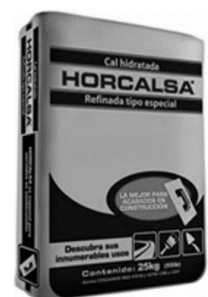


Imagen Cempro.

Datos Técnicos

Pureza

Arriba del 90% expresada como hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . La mayor cantidad de óxido de calcio disponible o reactivo mayor que 65% de  $\text{CaO}$  disponible.

#### 4.39-Apagado de cales a pie de obra.

Apagar una cal es hidratarla, es agregarle agua para hidratar el óxido de calcio en libertad, cal viva +  $\text{H}_2\text{O}$  = cal hidratada.

Proceso de apagado

- Se colocan los terrones de cal viva en la pileta.
- Se agrega agua y se agita con un rastrillo a formar pasta.
- Se deja escurrir después de deshacer los terrones
- Por gravedad la pasta pasa al pozo de almacenamiento, abriendo la compuerta y por la malla se cuela, la rejilla impide el paso de los terrones.
- Se deja reposar la pasta cubriéndola con arena para que no endurezca.
- La cal hidratada estará lista en + (-) 6 días o hasta que aparezcan grietas hasta de 1 cm. En los hidratadores de tipo continuo utilizados en las plantas fabricantes, el proceso dura + (-) 12 minutos, teniendo control de calidad absoluto en las proporciones, peso, etc.

#### 4.40-Estabilizador de suelos

El amplio campo de la construcción ha encontrado un fuerte aliado en la cal hidratada, al comprobar su utilidad como un magnífico y económico estabilizador de subsuelos.

Un estudio de subsuelo puede revelar la necesidad de modificar ciertas características del área al nivel en que se requiere apoyar la estructura, ya sea porque existe un marcado riesgo de sufrir variaciones durante o después de levantar la edificación, debido a la baja capacidad de soporte.

Guatemala es un país con tendencia a suelos arcillosos de características plásticas, que sufren cambios volumétricos por variaciones de humedad y temperatura, haciendo necesario el proceso de estabilización para producir resistencia de forma permanente.

La cal hidratada es la mezcla idónea para el tratamiento de subsuelos ya que flocculan las arcillas y facilita la compactación a través de este procedimiento, áreas inapropiadas transforman su composición, estabilizándose, aumentando su nivel de soporte, descendiendo el índice plástico y resistiéndose a la penetración del agua.

La dosis de cal aplicada debe ser suficiente para lograr en la masa un PH mínimo de 12.4, aunque más bien dependerá de los resultados reflejados en los estudios de laboratorio; sin embargo, el rango de aplicación debe de mantenerse el 2 y 6% por el peso del material (50 lbs por metro cúbico), según las características particulares del suelo. La recomendación es no usar más del 6%, puesto que, aunque con esto se aumenta la resistencia, también genera un incremento de plasticidad.

#### 4.41-Proceso de estabilización

1. Escarificación:

Es necesario remover todo material orgánico.

2. Mezcla de cal y aplicación de agua:

Se realiza la mezcla de cal con tierra, de acuerdo al porcentaje requerido según análisis. El agua del agregado debe de asegurar la hidratación del suelo, elevando el nivel de humedad del suelo 3% arriba del óptimo, antes de la compactación. Cuando se trata de arcillas con alto grado de plasticidad, puede ser necesario realizar la mezcla en dos fases, dejando un intermedio de 24 a 48 horas de periodo de fraguado, para permitir que la arcilla se torne friable, facilitando la compactación.

### 3. Compactación:

Se debe realizar con compactadora de mano, con capas de no más de 15 cms, hasta llegar al nivel sugerido. Se recomienda dejar de 1 a 2 días de fraguado entre capas.

### 4. Fraguado:

El intervalo de tiempo dependerá del tipo de suelo, variando entre 1 y 7 días.

### 5. Prueba final:

Dependiendo del estudio de suelos, se debe intentar traspasar el suelo, utilizando la punta de una varilla de  $\frac{3}{4}$  (usando la fuerza de una sola persona), esta no debería lograr pasar los 5 cms de profundidad.

## 4.42-La cal aérea

La cal ya era conocida en el sexto siglo a. C. como material de construcción para morteros y revestimientos, ya que en Çatal Hüyük (Anatolia) se han encontrado paredes revocadas con frescos y armadas con morteros. Posteriormente, gracias a investigaciones de arqueólogos se ha descubierto que se ha usado en periodos como el Antiguo Egipto, imperio Asirio, Grecia clásica, en el imperio romano; también, fuera del Mediterráneo, fue usada por los Mayas, Incas y Aztecas en América y las primeras dinastías chinas o también las primeras dinastías de la India.

Es muy importante no confundir la cal aérea llamada cal viva, con la cal hidráulica, ya que esta última contiene muchos silicatos y tiene un comportamiento diferente, sobre todo como material de construcción.

La cal hidráulica tiene un comportamiento similar al cemento blanco, por lo que no es válida para restaurar monumentos antiguos, ni para la "bio-construcción", a pesar de lo que se viene diciendo con campañas de mercadeo de un tiempo a la fecha.

Solo la cal aérea tiene capacidad bioclimática y es capaz de conservarse en perfectas condiciones durante siglos, ya que posee poros que dejan transpirar las paredes y al mismo tiempo la impermeabilizan. También el núcleo que conserva, regula la temperatura del interior de una casa gracias al efecto de "respiración" de la casa a través suyo.

Para ello, el resto de los materiales deben ser tradicionales, como piedra, barro, ladrillo tradicional, etc. Cuando se apaga una cantidad de cal cualquiera, es posible almacenar en una "balsa" o "pudridero" durante años, dejando que siga apagándose y madurándose. El periodo mínimo para usarla es de seis meses; cuantos más años pase en reposo, mejor comportamiento tendrá después, carbonatándose de forma óptima al utilizarse en revocos, estucos o morteros. Por supuesto, no todas las canteras de cal ofrecen la misma calidad de producto y cuanto mayor porcentaje de carbonato tenga una cal, mejor calidad tendrá la cal apagada, siendo las ideales las que se acercan a la composición del mármol.

Durante esa maduración, dure lo que dure, sigue siendo cáustica y cualquier elemento orgánico que caiga en la "balsa" acabará desapareciendo devorado por la cal.

En la antigüedad, cuando se comenzaba la construcción de algún monumento (catedrales, palacios, etc.), se preparaban las balsas de cal, ya que era el último elemento que se usaba en grandes cantidades y como la construcción era muy lenta, en algunos casos duraba más de un siglo, la cal iba madurando para cuando fuera necesaria.

Los antiguos caleros decían que la cal ideal era la que llevaba al menos treinta años en reposo y la denominaban "chica" mientras que a la cal de entre veinte y treinta años la denominaban "chico".

Una vez que la cal se utiliza, empieza a cristalizar y a carbonatarse, desde la superficie hacia dentro, conservando un núcleo húmedo que es el que le confiere sus propiedades y elasticidad, gracias a la cual tiene un comportamiento mecánico mejor que un cemento Portland, tanto para acabados exteriores como interiores, así como para morteros y otros usos.

Al cabo de cientos de años, la cal apagada, después de carbonatarse completamente, retorna a su estado original en la cantera, que es el de roca caliza. Una observación importante es que la cal apagada no tiene propiedades adherentes y por lo tanto su fijación es mecánica a los agujeros de la piedra o el ladrillo, por lo que, si se va a aplicar a una pared lisa, previamente, hay que picarla para crear unos pequeños poros en toda la superficie en donde se adhiera.

#### 4.43-Otros usos de la cal aérea

Otro uso de la cal es en "lechada" para pintar las paredes y en algunos casos los techos con una brocha gorda. Esta pintura tiene, como los enfoscados, revocos, estucos, etc. de cal aérea apagada, un comportamiento bioclimático que hace que un edificio tenga frescor en verano y calor en invierno, el efecto vasija de barro.

Se utiliza en la técnica de construcción llamada tapial, ya que forma parte de la mezcla usada. También puede ser usada para la creación de caminos de tierra o con mortero de cal que mantienen y regulan la temperatura de su superficie creando una zona con microclima "suave" y evitando la creación de charcos.

Así mismo, puede usarse para desinfectar superficies como paredes o evitar plagas en árboles pintando la superficie de su tronco con lechada de cal.

Precauciones al "apagar" o "matar" la cal. La cal al contacto con el agua reacciona alcanzando una temperatura de 90 °C por lo que debe tenerse precaución, con el recipiente que se utilizará para hidratar la cal. Sólo debe hacerse en recipientes metálicos o de ciertos tipos de plásticos.

Durante este proceso y posteriormente, la cal se vuelve cáustica y puede provocar quemaduras químicas muy graves. Si una parte de cal cae sobre la piel o, sobre todo, en los ojos, es importante:

- Utilizar agua en abundante cantidad para limpiarse, nunca en pequeñas cantidades, Ya que siempre hay una pequeña proporción que sigue manteniendo su composición original y reaccionaría hirviendo.
- En todo caso el ojo afectado corre grave peligro de quedar ciego.
- Es mejor que los restos de cal salgan gracias a las secreciones lacrimales, aunque es un proceso muy doloroso.

Para la operación de apagado, en la que hay que batir a pocas revoluciones la mezcla para oxigenarla adecuadamente, siempre deben utilizarse guantes y lentes protectores.

#### 4.44-Cal hidráulica

La cal hidráulica fue creada en Francia en 1821, debido a que en este país las canteras de cal, al igual que en las de Bélgica y Alemania, daban una roca de pésima calidad con muchos silicatos en comparación a las canteras de países como España e Italia. Básicamente, la cal hidráulica se comporta en la construcción como un cemento portland blanco, pero con peores resultados. Los franceses consiguieron su uso masivo prohibiendo en sus colonias, sobre todo en las norteafricanas, el uso de la cal aérea y obligando a usar la cal hidráulica.

Dentro de las cales hidráulicas existen las cales hidráulicas naturales, son naturales porque no tienen ningún tipo de aditivo, como los cementos y poseen mucha más resistencia que una cal aérea. Las cales aéreas para usarse en construcción deberán estar siempre mezclada con algún tipo de aditivo, de los llamados puzolánicos (cemento, escoria, etc.) para obtener resistencia; se pueden utilizar en rehabilitación de edificios antiguos como en bioconstrucción ya que no contienen ningún tipo de Sulfato, Aluminatos, Sales, etc.... y que puedan dañar tanto el edificio a rehabilitar o a construir.

La resistencia de este tipo de cales viene dada por la combinación de sílice que se da durante el proceso de cocción de la cal, mientras que en las cales hidráulicas no naturales se consigue su resistencia por adición de elementos puzolánicos durante el proceso del fraguado.

A continuación, citaremos algunas aplicaciones prácticas de la cal hidráulica:

- Floculante, para el tratamiento de aguas residuales y mejoramiento de tierras ácidas Ingrediente para hacer mortero y yeso reactivo químico en el proceso para la neutralización de ácido sobrante.
- En la remineralización de agua desalada.
- En la industria petrolera para la manufactura de aditivos para el petróleo crudo.
- En la industria química para la manufactura de estereato de calcio. En la industria alimenticia para el procesamiento de agua para bebidas alcohólicas y carbonatadas.



- Para librar una salmuera de carbonatos de calcio y magnesio en la manufactura de sal para comida y farmacopea.
- Componente para la nixtamalización del maíz para producir tortillas.
- Como relleno en la industria petroquímica.
- Para la manufactura de aceite sólido.
- Para la manufactura de discos de freno.
- Para la manufactura de ebonita.
- Para la preparación de mezclas secas para pintura y decoración.
- Para mezclas de pesticidas.
- Como material de tratamiento de los conductos radiculares o protección pulpar directa o indirecta en Endodoncia.

#### 4.45-Yeso

Es un producto preparado básicamente a partir de una piedra natural denominada aljez, compacto terroso y blando, generalmente de color blanco, una vez deshidratado por efecto térmico y molido se endurece rápidamente tras mezclarse con agua, al que puede añadirse, en fábrica, determinadas adiciones de otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente.

También, se emplea para la elaboración de materiales prefabricados. El yeso, como producto industrial, es sulfato de calcio semihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), también llamado comúnmente "yeso cocido".

Se comercializa molido, en forma de polvo, el yeso también se conoce como (yeso natural, piedra de yeso o aljés), es un mineral de calcio dihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), este está presente en cristales tabulares exfoliables en laminas, generalmente incoloros. El yeso es producido por las industrias generalmente para utilizarlo en la construcción, acabados en yeso y estuco. El polvo de yeso crudo se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, en este el actúa como elemento retardador del fraguado.

También es utilizado en la agricultura (para mejorar las tierras agrícolas y para obtener ácido sulfúrico). Una variedad de yeso, denominada alabastro, se utiliza profusamente, por su facilidad de tallado, para elaborar pequeñas vasijas, estatuillas y otros utensilios.

El yeso forma Monoclínica, con frecuencia forma cristales de forma tabular o de prismático, tiene una forma rómbica y parecen cristales que han sido sesgados. Algunas veces se presenta en cristales grandes, en masas, agregados hepáticos y mezclado con cristales idénticos en forma de flecha. Además, el yeso al romperse a lo largo del plano, los enlaces que se desprenden son débiles. Es un buen aislante térmico, pero un mal conductor del calor.

El yeso evita los fenómenos de condensación superficial y la humectación de las paredes y techos gracias a su poder de absorción. Su estructura permite acumular gran cantidad de agua cuando la concentración de la misma en el ambiente es alta y devolverla cuando este se reseca. La reacción del yeso ante el fuego es de inercia total, es decir, es completamente incombustible. Tampoco emana gases tóxicos, solo vapor de agua (esta evaporación de agua permite que la temperatura del material no suba por encima de los 100 °C durante 4 horas).

##### 4.45.1-Yeso crudo

También llamado yeso natural o piedra de yeso, es un sólido blanco cuyo componente principal es el sulfato de calcio bihidratado, no tiene aplicaciones directas el yeso empleado en la construcción es el yeso cocido, obtenido cuando se calienta yeso natural a 120 °C. En esas condiciones se produce la deshidratación parcial.

##### 4.45.2-El yeso cocido

Molido y amasado con agua, fragua hidráulicamente, transformándose en un sólido, este recupera el agua perdida por calentamiento y regresa los cristales bihidratados. El yeso destinado a la construcción: revoques decorativos y paneles contiene cola de carpintero y almidón.

El fraguado se retarda y el endurecimiento se completa en 2 horas, El llamado "yeso medicinal" para molde de hueso y dentadura fragua en pocos segundos porque tiene sal común. Los estucos, marmolinas y porcelaninas se preparan mezclando yeso cocido con borax, alumbre, polvo de mármol y sustancias auxiliares.

#### 4.46-Una breve historia

El yeso data de tiempos remotos, por lo cual fue frecuentemente utilizado en construcciones, por ejemplo, este se utilizaba en el periodo Neolítico, en este periodo se comenzó a elaborar y se utilizaba como en guarnecidos, también se usaba para unir las piezas de mampostería y para sellar las juntas de los muros de las viviendas.

También fue utilizado en el Antiguo Egipto, este se utilizó para sellar las juntas de la gran pirámide de Giza. Igualmente se utilizó en la Edad Media, en el renacimiento y en el periodo barroco, por ejemplo, en la Edad Media se empleó en tabiques, en revestimientos y en forjados.

Plinio el Viejo describió su uso con gran detalle. Vitrubio, arquitecto y tratadista romano, en sus, *Diez libros sobre arquitectura*, describe el yeso (*gypsum*), aunque los romanos emplearon normalmente morteros de cal y cementos naturales. Los Sasánidas utilizaron profusamente el yeso en albañilería. Los Omeyas dejaron muestras de su empleo en sus alcázares sirios, como revestimiento e incluso en arcos prefabricados.

La cultura musulmana difundió en España el empleo del yeso, ampliamente adoptada en el valle del Ebro y sur de Aragón, dejando hermosas muestras de su empleo decorativo en el arte de las zonas de Aragón, Toledo, Granada y Sevilla. Durante la Edad Media, principalmente en la región de París, se empleó el yeso en revestimientos, forjados y tabiques. En el Renacimiento para decoración. Durante el periodo Barroco fue muy utilizado el estuco de yeso ornamental y la técnica del staff, muy empleada en el Rococó.

En el siglo XVIII el uso del yeso en construcción se generaliza en Europa. Lavoisier presenta el primer estudio científico del yeso en la Academia de Ciencias. Posteriormente Van t'Hoff y Le Chatelier aportaron estudios describiendo los procesos de deshidratación del yeso, sentando las bases científicas del conocimiento ininterrumpido posterior.

#### 4.47-Como material de construcción

El yeso tanto como la cal, son buenos materiales para la construcción. Existe en la naturaleza en estado anhidro, o bien con dos moléculas de aguas de cristalización  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , constituyendo el yeso.

Es usado como pasta de juntas y de agarre, y es manipulado para obtener estucados, es importante tener en cuenta que este se usa de igual forma en la preparación de superficies de soporte para la pintura artística al fresco.

El yeso se puede utilizar para un sin número de entes, por ejemplo, es usado para confeccionar moldes de dentadura, se utiliza en la escultura, se usa para fabricar tiza y se utiliza como aislante térmico.

En presencia de unas gotas de ácido clorhídrico no produce efervescencia (diferenciándolo del mármol). Calentado fuertemente a  $280^\circ\text{C}$ , pierde toda su agua de cristalización y se transforma en sulfato de calcio anhidro o yeso extra cocido o yeso muerto, que no se endurece en presencia del agua. Calentado a  $900^\circ\text{C}$ , se descompone parcialmente en anhídrido sulfuroso, oxígeno y óxido de calcio, constituyendo lo que se conoce con el nombre de yeso hidráulico.  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 + \text{Oca}$

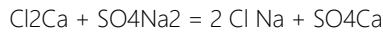
#### 4.48-Variedades comerciales y sus aplicaciones

A continuación, se citan algunas de sus presentaciones:

- Yeso natural o piedra de yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Yeso cocido para modelar ( $2\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- Yeso extra cocido o muerto ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ )
- Yeso hidráulico ( $\text{SO}_4\text{Ca}$  y Oca), que se endurece muy lentamente, pero dando superficies duras y muy resistentes (porcelanina, etc.).
- Yeso para cirugía.
- Yeso para uso dental.

El yeso mezclado con alumbre y sometido a la acción del calor, aumenta su dureza, constituyendo el cemento inglés (puede emplearse, con ese mismo fin: bórax, crémor tártaro, etc.).

El sulfato de calcio artificial se obtiene como subproducto de la fabricación del ácido tartárico o del ácido cítrico, o por precipitación, haciendo reaccionar el cloruro de calcio con el sulfato de sodio:



Se obtiene cloruro de sodio y sulfato de calcio.

Se usan como materiales de construcción; para moldear y modelar (estatuas, objetos de adorno, etc.); en la industria del cemento (para retardar su endurecimiento); en la industria del papel (para darle peso y brillo); en la agricultura (para mejorar los suelos para viñedos), etc.

#### 4.49-Yeso prefabricado

Sus aplicaciones son diversas y muy convenientes, por ejemplo:

- Se utiliza como paneles de yeso para tabiques, y acabados para techos.
- Se usa como aislante térmico, pues el yeso es mal conductor del calor y la electricidad.
- En los moldes utilizados para preparación y reproducción de esculturas.
- En la elaboración de yeso para escritura.
- En la fabricación de cemento.

#### 4.50-Yeso natural triturado

Para mejorar las tierras agrícolas, pues su composición química, rica en azufre y calcio, hace del yeso un elemento de gran valor como fertilizante de los suelos, aunque en este caso se emplea el mineral pulverizado y sin fraguar para que sus componentes se puedan dispersar en el terreno. Asimismo, una de las aplicaciones más recientes del yeso es la "remediación ambiental" en suelos, esto es, la eliminación de elementos contaminantes de los mismos, especialmente metales pesados.

De la misma forma, el polvo de yeso crudo se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, donde actúa como elemento retardador del fraguado. Es utilizado para obtener ácido sulfúrico, también se usa como material fundente en la industria.

#### 4.51-Tipos de yeso en construcción

Los yesos de construcción se pueden clasificar en:

- Yesos artesanales: tradicionales o multifases El yeso negro es el producto que contiene más impurezas, de grano grueso, color gris, y con el que se da una primera capa de enlucido.
- El yeso blanco con pocas impurezas, de grano fino, color blanco, que se usa principalmente para el enlucido más exterior, de acabado.
- El yeso rojo, muy apreciado en restauración, que presenta ese color rojizo debido a las impurezas de otros minerales.

#### 4.52- Yesos industriales o de horno mecánico

Grueso: Para pasta de agarre en tabicados en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra. Fino: Para enlucidos, refilos o blanqueos sobre revestimientos interiores (guarnecidos). Escayola, es un yeso de más calidad y grano más fino, con pureza mayor del 90%.

#### **4.53-Yeso grueso de construcción**

Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: para pasta de agarre en la ejecución de tabicados en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra.

#### **4.54-Yeso fino de construcción**

Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: para enlucidos, refilos o blanqueos sobre revestimientos interiores (guarnecidos o enfoscados)

#### **4.55-Otros yesos**

También se puede distinguir el yeso rojo, que se utiliza bastante en restauración de monumentos o patrimonios culturales, y por último está el yeso negro o artesanal el cual contiene más impurezas, este yeso es que le da al enlucido una primera capa.

# Capítulo 5

## Agregados

### 5.1-Definición

Los minerales son cuerpos naturales químicos, inorgánicos y homogéneos, que pueden hallarse en la superficie de la Tierra, formados en ella de forma espontánea. En general poseen estructura cristalina, dada por el entrelazamiento de los átomos, y la composición química difiere de unos a otros. Poseen caras, o sea superficies planas, pues sus átomos se disponen en forma ordenada. Hay pocos minerales integrados por un solo elemento, como el oro y la plata; la mayoría, son compuestos químicos.

### 5.2-Agregado

También conocido como roca, material granular o agregado mineral, son aquellos materiales pétreos resultantes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de rocas, con forma, y distribución de tamaños apropiados.

En el proceso de formación de las rocas existen eventos geológicos que constituyen el origen de los minerales, se agrupan en la forma de masas consistentes y adquieren la forma, composición y las propiedades de las rocas, así como se presentan en la corteza terrestre. Estos eventos geológicos se producen en el interior y exterior de la corteza terrestre, lo que permite clasificar las rocas en tres grupos importantes: ígneas o magmáticas, sedimentarias y metamórficas.

El estudio de las rocas es importante desde el punto de vista geológico, industrial y geotécnico, para conocer y analizar su procedencia, componentes minerales, textura y estructura, de las cuales se puede deducir su historia y el ambiente en donde se formaron. Desde el punto de vista geotécnico es preciso saber características importantes, como son el grado de alteración al que las rocas serán sometidas, resistencia, desgaste, impacto, etc.

Las principales características de los agregados para concreto son:

- Granulometría – distribución de tamaños
- Forma de partícula y textura superficial
- Masa unitaria
- Densidad relativa
- Absorción de humedad superficial
- Resistencia a congelación y deshielo
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a sulfatos

### 5.3-Clasificación de las rocas

Las rocas según el origen y naturaleza de su formación se dividen en tres grupos:

- Rocas ígneas o magmáticas
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas.

### 5.4-Rocas Ígneas

La mayor parte de la corteza terrestre está formada por rocas ígneas y las demás proceden de ellas, por lo que se les llama rocas originales, endógenas o magmáticas por proceder del magma.

### 5.5-Rocas Sedimentarias

Son las más abundantes en la superficie terrestre (75%); están formadas por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias. Su origen puede darse por dos procesos: por descomposición y desintegración de las rocas mencionadas, en un proceso de erosión, transporte, depósito y consolidación; o por precipitación o depósito químico (carbonatos).

### 5.6-Rocas Metamórficas

Ellas provienen de rocas ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan modificaciones en sólido debido a grandes presiones que sufren los estratos profundos, temperaturas elevadas que hay en el interior, y emanaciones de los gases del magma; según la incidencia de estos factores el metamorfismo puede ser:

### 5.7-Metamorfismo de contacto

Debido a la intrusión del magma y al calor aportado por éste, la formación de la roca es originada por transformación iónica y porque se presenta una fluidez que permite modificar sin fragmentar los cristales que se alargan y adelgazan.

### 5.8-Metamorfismo regional o dinámico

Se denomina regional porque generalmente ocupa grandes extensiones y se presenta a gran profundidad en condiciones de altas presiones de confinamiento, combinadas con reacciones químicas que originan una reagrupación molecular para conformar una roca más densa en su estructura. Según el grado de metamorfismo, se obtienen estructuras foliadas (esquistadas) o masivas, las cuales inciden en la forma, tamaño y textura de las partículas del agregado.

### 5.9-Según su origen

### 5.10-Agregados naturales

Son los que se encuentran en la corteza terrestre, y sus partículas se forman por la acción directa de la naturaleza o el proceso de trituración. A través de estos procesos se obtiene los agregados tradicionales como arena y grava.

### 5.11-Agregados artificiales

Son producto de aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización.

### 5.12- Por su tamaño

Los agregados, atendiendo al volumen de sus partículas se clasifican en dos ramas:

1. Agregados finos (arena): son aquellos con el 95% de sus partículas menores de 4.75 mm (Tamiz núm. 4).
2. Agregados gruesos (grava): son aquellos con el 95% de sus partículas mayores de 4.75 mm (Tamiz núm. 4).

### 5.13-Por su densidad

A continuación, nombraremos los siguientes:

- Agregados ligeros: son aquellos cuya densidad está entre 500-1000 kg/m<sup>3</sup> se utilizan en concreto de relleno o en mampostería estructural.
- Agregados normales: son aquellos cuya densidad está entre 1300-1600 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en concretos comunes.

- Agregados pesados: son aquellos cuya densidad está entre 3000-7000 kg/m<sup>3</sup>, se utilizan en hormigones pesados, como centrales nucleares o usos especiales.

#### Por su forma

- Canto rodado: proveniente de cauces de ríos. Su forma es redondeada.
- Triturado: proveniente de piedra de cantera. Su forma es angular.
- Canto rodado y triturado (mixto): proveniente de trituración de canto rodado y mezclado con grava natural. Su forma es redondeada con caras fracturadas.

#### 5.14-Cualidades

Los agregados deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y durables, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o material fino que pueden influenciar en la vida útil de la estructura. Para agregados de peso normal deben reunir los requerimientos de la norma ASTM C-33 Especificaciones para Agregados para Concreto.

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.50 mm)	100 %
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600 μm)	25 a 60 %
No. 50 (300 μm)	10 a 30 %
No. 100 (150 μm)	2 a 10 %

Imagen ASTM

Estas limitan las cantidades de sustancias dañinas y cubren los requerimientos de abrasión, solidez y resistencia. Los agregados para concreto deben estar formados de partículas compactas y duras, con textura, forma y granulometría adecuadas. Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material ligero o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia. Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33, la cual se describe de forma general a continuación.

#### Norma ASTM C-33

Esta norma define los requisitos necesarios de graduación y calidad de los agregados fino y grueso que serán utilizados para concretos estructurales, por lo que es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios en concretos utilizados en obra.

#### NORMA TECNICA GUATEMALTECA COGUANOR NTG 41009

Práctica estándar para el muestreo de los agregados

#### 5.15-Agregado fino

Se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas.

Límites de granulometría para el agregado fino según Norma ASTM C-33<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ASTM, Norma ASTM C-33. Vol. 04.03. Págs. 10 y 11. El agregado fino no deberá tener más del 45% retenido entre 2 tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior.

### Clasificación de la arena por su módulo de finura

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.90 - 3.20 gramos
Media	2.20 - 2.90 gramos
Fina	1.50 - 2.20 gramos
Muy fina	1.50 gramos

El módulo de finura debe ubicarse en el rango de 2.3 a 3.1. Si cambia más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

#### 5.16-Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos

En el caso de arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7% respectivamente.

#### 5.17-Impurezas orgánicas

El contenido de impurezas orgánicas se determina por medio de la prueba colorimétrica. A excepción de los límites presentados en la tabla III, los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas y que produzcan un color más oscuro que el habitual deberán ser rechazados, a no ser que cumplan alguna de las condiciones siguientes:

Sustancia	Porcentaje máximo en peso del total de la muestra
Arcilla y partículas disgregables	3.0
Material más fino que el tamiz 200 (75 µm): Concreto sujeto a abrasión A Cualquier otro concreto	3.0A 5.0A
Carbón y lignito: Cuando es importante la apariencia del concreto Cualquier otro concreto	0.5 1.0

- Puede usarse un agregado fino que no haya cumplido con el ensayo, si se comprueba que la decoloración se produjo debido a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares.
- Puede usarse un agregado fino que no haya cumplido con el ensayo, si cuando se ensaye, posee propiedades adecuadas para la fabricación de morteros y estos presenten una resistencia a la compresión no menor del 95 % a los 7 días, calculada según la norma ASTM C - 87.

#### 5.18-Agregado grueso

Está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se considera como el material retenido a partir del tamiz No. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33.



### 5.19-Graduación

Los agregados gruesos deben conformar los requerimientos descritos en la norma *ASTM C-33* para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

### 5.20-Sustancias perjudiciales

Las especificaciones de los límites de sustancias perjudiciales en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto se designan según el tipo de agregado, la severidad de la abrasión y otros elementos a los que deben ser expuestos, similares a los del agregado fino.

Los agregados gruesos utilizados en la fabricación de concreto deben estar libres de cantidades excesivas de sustancias como arcilla, carbón y lignito, cenizas y material fino. Los límites permisibles están en función del uso que se le dará al concreto.

El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que reaccione peligrosamente con los álcalis del cemento.

### 5.21-Características

Se deberá conocer en los agregados su capacidad de absorción y contenido de humedad, peso específico, así como también el peso unitario.

### 5.22- La humedad de los agregados

Está compuesta por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado. Un cambio del 1% en el contenido de humedad, cambia el asentamiento del concreto en 1.5 pulgadas y la resistencia en 300 lbs. pulgadas<sup>2</sup> Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

1. Seco al horno, completamente seco y absorbente.
2. Seco al aire, seco en su superficie, pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.
3. Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.
4. Saturado y de superficie seca, condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.

Todos los cálculos deben basarse en agregado en condición seco saturada para proporcionar mezclas de concreto, resulta imposible que los agregados vengán en condición ideal, pero puede conseguirse por una simple operación aritmética:  $\text{humedad superficial} = \text{humedad total} - \text{factor de absorción}$ .

Para los agregados gruesos la absorción se determina de acuerdo con la norma *ASTM C -127* y para los agregados finos la norma *ASTM C -128*.

### 5.23-Peso específico

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico.

En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior. Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces: peso

específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión.

La gravedad específica como se define en la especificación *ASTM E-12* corresponde al peso específico relativo y para agregados finos se determina por métodos descritos en la norma *ASTM C-128* y para agregado grueso *ASTM C-127* y que consiste en medir el desplazamiento del agua, producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

#### **5.24-Peso unitario**

Es el peso con respecto a su volumen. Este término es el más utilizado en las especificaciones de la norma *ASTM C-29*. Es aplicable a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el metro cúbico o el pie cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento y por el contenido de humedad, por lo que debe calcularse con el material seco apisonado y suelto.

#### **5.25-Análisis de las propiedades mecánicas**

La resistencia al desgaste (abrasión), y la resistencia al rayado de un agregado a menudo es empleado como índice general de su calidad. Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la norma *ASTM C-131*, consiste, básicamente, en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo especificado en la norma anterior, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, *ASTM C-131*. Este método cubre el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles.

#### **5.26-Resumen del método**

La prueba de la máquina de Los Ángeles es una medida de la degradación de los minerales de los agregados de graduaciones normales, resulta de la combinación de acciones incluyendo abrasión e impacto en un tambor rotativo de acero que contiene un número específico de esferas, que dependerá de la graduación de la muestra. Mientras el tambor rota, una placa eleva la muestra y las esferas de acero, transportándolas hasta ser soltadas desde la parte opuesta del tambor, creando un efecto de trituración por impacto.

El contenido sigue rotando dentro del tambor con una acción abrasiva hasta que la placa hace impacto y el ciclo se repite. Después de transcurrido el número de revoluciones preestablecido, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como el porcentaje de peso perdido.

#### **5.27-Aparatos**

Se usa la máquina de ensayo de desgaste de Los Ángeles que satisfaga las características descritas por la norma *ASTM C-131*. La máquina consistirá en un cilindro cerrado en ambos extremos, con un diámetro interno de 28 pulgadas y el largo interior de 20 pulgadas. El cilindro será montado en ejes, acoplados a los extremos del cilindro, pero sin atravesarlo, y será montado de manera que pueda girar estando su eje en posición horizontal.

El cilindro será provisto de una abertura para poder introducir la muestra de ensayo. La abertura debe cerrarse para evitar que salga el polvo, lo que se logra con una tapadera hermética. A lo largo de una línea de la superficie interior del cilindro se colocará una placa o paleta de acero removible, proyectada radialmente hacia el centro del cilindro 3½ pulgadas y extendida a todo lo largo del mismo. Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46.8 mm y cada una con un peso de entre 390 a 445 gramos.

### 5.28-Muestra de ensayo

La muestra de ensayo consistirá en agregado que ha sido secado al horno a temperatura de 105 OC a 110 OC, hasta obtener peso constante. La graduación utilizada será aquella que cumpla con el porcentaje retenido en la muestra cuarteada y homogenizada.

#### 5.29.1-Procedimiento

- Se encuentra la granulometría con una cantidad representativa para obtener los porcentajes y cantidades retenidas, así se identifica el tipo de abrasión
- De acuerdo a la cantidad de material, por graduación se clasifica el tipo de desgaste, según la siguiente tabla:

TIPO	TAMIS	PESO RETENIDO (gr.)	No. DE ESFERAS	REV.	TIEMPO (min.)
A	1", ¾", ½" y ⅜"	1250±10	12	500	17
B	½" y ⅜"	2500±10	11	500	17
C	¼" y No. 4	2500±10	8	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03  
Págs. 10 y 11

La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo, se expresará en forma de porcentaje del peso inicial de la muestra de ensayo. Este valor será expresado como porcentaje de desgaste.

### 5.30-Análisis de las propiedades químicas

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones negativas, en el concreto, al interactuar con sustancias alcalinas (Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) en un concreto. Estas reacciones pueden ser lentas o espaciosas, y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando éstos entran en contacto con el agua, posteriormente al combinarse con sílice hidratada generando un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50 %.

Este cambio de volumen produce fisuras entre los agregados y la matriz de cemento, provocando mal desempeño en la función estructural del concreto y en casos severos puede darse incluso explosiones internas.

Cuando se trata de rocas carbonáticas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca micro fracturas, generando en el proceso carbonato de potasio. Las normas ASTM para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de cemento Pórtland, a corto, mediano o largo plazo son: método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial del álcali (ASTM C-227), método químico para determinar la reactividad potencial álcali-sílice (ASTM C-289), examen petrográfico (ASTM C-295) y método para determinar la reactividad potencial álcali-carbonato (ASTM C-586).

### 5.31-Examen petrográfico

ASTM C-295

Se utiliza para determinar la presencia de minerales y sustancias que provocan reacciones con la pasta de cemento Pórtland a corto, mediano y largo plazo.

Uso de los análisis petrográficos

Los exámenes petrográficos se realizan con los siguientes propósitos:

- Determinar las características físicas y químicas del material que será observado para establecer el comportamiento de este según el uso al que será destinado.
- Describir y clasificar los componentes que tiene la muestra.

- Comparar muestras de agregados de uno o más bancos con muestras de bancos nuevos, estos datos deben estar disponibles en archivos.

A continuación, se presentan los lineamientos para la realización de un análisis petrográfico de los agregados para concreto, basado en la norma *ASTM C-295*.

### 5.32-Toma de muestras

Para adquirir la muestra debe realizarse bajo la supervisión de un geólogo, habituado con los requisitos necesarios para la toma de muestras de agregados para concreto, se debe considerar la localización exacta, la geología y otros datos significativos del lugar donde se sustrajo la muestra.

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa no debe tomarse por no menos de 45 kilogramos o 300 piezas de cualquier tamaño del material a examinar. Para afloramientos de canteras no productoras, donde los apilamientos regulares del material no son disponibles, las muestras no deben ser menores de 2 kilogramos de cada estrato con piezas que no pesen menos de 0.5 kilogramos o por núcleo perforado descrito anteriormente.

Los depósitos de arenas y gravas no desarrollados, deberán ser muestreados por medio de pruebas en trincheras excavadas a mano, para anticipar la futura producción económica. Las muestras consistirán en no menos de las cantidades de material indicadas en la tabla V, seleccionando, tanto como sea posible, la representatividad de los depósitos.

Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico

Abertura de Tamiz	Kg	Lb	Piezas
Mayores de 150 mm (6")	-	-	-
75 a 150 mm (3" a 6")	-	-	300
37.5 a 75 mm (1½" a 3")	180	400	-
19 a 37.5 (¾" a 1½")	90	200	-
4.75 a 19 mm (No. 4 a ¾")	45	100	-
Menores de 4.75 mm (No. 4) **	23	50	-

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág. 178

### 5.33-Muestras agregado fino

Selección de las muestras para el examen. Las muestras se tamizan en condición seca para obtener muestras década tamaño de tamiz.

En el caso de las arenas se utiliza una cantidad adicional que se prueba según la norma *ASTM C-117*, lavado de agua para que sea tamizado y removido por secado, para proporcionar un muestreo del material que pasa el tamiz No. 200.

Los resultados del análisis de tamices de cada muestra se deben adjuntar al examen petrográfico. Cada fracción tamizada será examinada por separado, iniciando con el tamaño mayor para facilitar su identificación; puede necesitarse el uso del microscopio estereoscópico para facilitar la identificación de pequeñas partículas, o el uso del microscopio petrográfico.

La reducción de partículas de cada fracción tamizada se realiza por medio de cuarteos hasta obtener un mínimo de 150 partículas; del número de partículas depende el grado de precisión que se requiera, el cual se contará al iniciarse el examen, luego de identificarse las partículas, se deben contar nuevamente.

### 5.34-Examen de la grava natural

El recubrimiento, cantos rodados, se examinan para establecer si existen recubrimientos exteriores, de ser así se determina si son dañinos para el concreto. Las características físicas más importantes que deben describirse son las siguientes:

- Forma de las partículas
- Superficie de la partícula, textura
- Tamaño del grano
- Estructura interna, porosidad, cementación de los granos
- Color
- Composición mineralógica
- Heterogeneidad significativa
- Condición física general del tipo de rocas de la muestra
- Revestimiento o incrustaciones
- Presencia de componentes reactivos dañinos en el concreto

### 5.35-Exámenes de la arena natural

Este examen es similar al examen de grava, la diferencia está en el tamaño de las partículas.

Se sugiere que la muestra se extienda en un piso, plato de vidrio con fondo. La identificación es a menudo fácil cuando se sumergen en agua. El análisis de la reducción de las partículas sumergidas muestra rasgos de un diagnóstico que no se proporciona cuando el grano está seco.

### 5.36-El Petrógrafo

Determina la presencia de partículas planas de vidrio, granos típicos, examinándolos en un medio de inmersión, con la utilización del microscopio.

Examen del núcleo de perforación

Cada núcleo es examinado obteniendo su respectivo registro, la longitud del núcleo recuperado, las pérdidas, espaciamiento de fracturas y diaclasas, tipos litológicos, alteraciones, condiciones rígidas y variantes en la condición tenacidad-dureza, coherencia, porosidad, tamaño y textura del grano, variaciones de los tipos de rotura y presencia de elementos capaces de reaccionar en deterioro de concreto.

Si el tamaño de la muestra lo permite, se considera la posibilidad que la roca se encuentre en los límites con respecto al tamaño máximo requerido.

### 5.37-Examen de la roca expuesta

El procedimiento en este tipo de roca debe ser el estudio de la roca individual. La muestra consiste en una cantidad relativamente grande de roca fracturada, se debe examinar la muestra completa, ya que de esta forma se determina la variedad relativa de las partículas presentes en la muestra.

### 5.38-Examen de la roca triturada

Debe ser similar al examen de las arenas naturales, con énfasis en la cantidad del grado de fractura, la naturaleza y cantidad del polvo de rocas desarrolladas por el proceso de la trituración, el examen refleja información que es de valiosa utilidad.

### 5.39-Examen de la arena manufacturada

El procedimiento debe ser igual al de la arena natural, con énfasis sobre la cantidad y extensión de fracturación y la cantidad y naturaleza del polvo de roca desarrollado por la operación de trituración. Si una muestra de la roca de la cual la arena fue producida está disponible, el examen de ésta proveerá información de mucha utilidad.

### 5.40-Cálculos de las pruebas

Se calcula la composición de cada fracción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderado de toda la muestra como sigue: se expresa la composición de cada fracción retenida en los tamices, por la suma del

número total de partículas de la fracción contada y calculando cada componente en cada condición como un porcentaje de la cantidad total (como número de partículas en porcentaje, en cada fracción de tamiz).

El porcentaje de peso de la fracción retenida en cada tamiz de la muestra completa (porcentajes individuales retenidos sobre tamices consecutivos) se obtiene al multiplicar los porcentajes de los componentes en la fracción tamizada, determinada y descrita anteriormente, por los porcentajes de la fracción tamizada de la muestra completa, se calculan los porcentajes de la muestra completa de ese componente, de ese tamaño y el porcentaje pesado de los componentes de la fracción tamizada.

Se construye una tabla para representar la composición de cada fracción tamizada y los pesos de la composición de la muestra completa. Reportar los valores aproximados a números enteros y las cantidades de componentes menores del 5% de la fracción tamizada o de la muestra completa como residuos. Como una convención, el total de cada fracción tamizada y el total, de la muestra completa, será cada uno el 100 %, no incluyendo los residuos.

#### **5.41- Informes examen petrográfico**

El reporte del examen petrográfico debe contener los datos necesarios para identificar la muestra, la fuente, propósito, uso, incluyendo una descripción de la composición y propiedades del material. El informe debe incluir los procedimientos empleados en la prueba, y una descripción de la naturaleza y los componentes de la muestra, acompañado por tablas y fotografías según sea necesario.

Los resultados y conclusiones deben ser expresados en términos comprensibles para quienes deben tomar las decisiones de conveniencia del material para ser usado como agregado para concreto.

Se deben mencionar todos los elementos que no favorezcan al concreto y si la muestra fue tomada en condiciones desfavorables.

El informe debe incluir las recomendaciones respectivas a cualquier examen petrográfico adicional, químico, investigaciones físicas, investigaciones geológicas que puedan ser determinantes para evaluar las propiedades de la muestra en estudio.

#### **5.42-Método químico para medir la reactividad potencial**

*ASTM C-289*

##### **5.42.1-Aplicación y uso**

Este ensayo describe un método químico para determinar la Reactividad Potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con cemento Pórtland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80 o C, entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase por un tamiz No. 50 y quede retenido en un tamiz No. 100.

Reacciones entre una solución de hidróxido de sodio y agregado silíceo han demostrado correlación con el desempeño del agregado en estructuras de concreto, por lo que debe ser usado cuando nuevas fuentes de agregados están siendo evaluadas.

Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente, y, aunque no son completamente fiables en todos los casos, proveen datos valiosos que pueden mostrar la necesidad de obtener información adicional a través de los métodos establecidos en las normas *ASTM C-227* y *ASTM C-295* (método de la barra de mortero y análisis petrográfico, respectivamente).

##### **5.42.2-Selección y preparación de la muestra**

Este ensayo es aplicable tanto a agregados finos como gruesos; cuando los agregados finos y gruesos provengan del mismo material, puede aplicarse para el agregado total. La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado, triturándolo hasta que pase el tamiz de 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo.

hasta que pase por el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150  $\mu\text{m}$ . Descartar el material que pase por el tamiz de 150  $\mu\text{m}$ . Reducir el material retenido en el tamiz de 300  $\mu\text{m}$  pasándolo

repetidamente por el disco pulverizador, tamizando después de cada pulverizado. El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de 300  $\mu\text{m}$ . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasa el tamiz No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$  como muestra para el ensayo.

### 5.43-Componentes del concreto

El concreto es un material compuesto, en el cual existe una gran variabilidad en las características de sus componentes, especialmente en los agregados pétreos. Siendo éstas de carácter físico y químico, producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del concreto como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo conformado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los vacíos que éste produzca.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interacción entre estos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias.

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Ya que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras.

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente se encuentran al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Normas que determinan las características de los agregados, siempre deberán de ser tomadas en cuenta:

- Granulometría ASTM C136
- Densidad Relativa ASTM C127 y C128
- Masa Unitaria ASTM C29
- Absorción de Agua ASTM C127 y C128
- Contenido de humedad ASTM C566
- Finos menores de 75 mm ASTM C117
- Contenido de materia orgánica ASTM C40
- Estabilidad al sulfato de sodio y magnesio ASTM C88
- Resistencia al desgaste ASTM C131 y C535

### 5.44-Propiedades físicas de los agregados

El 100% de los concretos que se elaboran requieren para su fabricación agregados que pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca.

Desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60  $\mu\text{m}$ ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125mm.

De acuerdo a su peso específico, los agregados se dividen en ligero, normal y pesado; estas diferencias los hacen aptos para producir concreto con cierta variedad en el peso unitario, el cual es una característica básica del material.

Algunas otras importantes propiedades físicas de los agregados son: la forma y textura de las partículas, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, la resistencia, etc. También es de suma importancia la granulometría de los agregados, y el tamaño máximo del agregado (para la grava), tanto en el comportamiento del concreto en estado plástico, como en su estado endurecido.

Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco, la absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla.

Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas.

Por otro lado, si el contenido de cemento se incrementa, se afecta la consistencia del concreto; este incremento permite agregar más agua a la mezcla para una mantener la relación agua/cemento. Por lo tanto, en algunas ocasiones puede ser necesario aumentar el contenido de cemento en la mezcla, buscando mejores consistencias para mezclas de concreto de resistencias no muy altas.

#### 5.45-La forma de los agregados

Tienen incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco. Las formas básicas de éstos se pueden simplificar en 4 tipos, que son:

- o equidimensional o esférica
- o prismática
- o tabular o elíptica
- o irregular.

De todas éstas la que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo tabular que además está alargada (conocidas como piezas planas y alargadas); estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas.

Además, gravas con esta forma ocasionan mayores requerimientos de arena, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla. Es deseable, entonces, que los agregados particularmente los gruesos tengan una forma un tanto angular y cúbica.

Los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo.

La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento menor relación de vacíos; pero por otra parte un menor valor de este parámetro reduce la capacidad de compactación.

#### 5.46-Granulometría

Por otro lado, la granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) para las gravas, afectan las porciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco.

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados, por un lado, el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase granulométrica.



Si consideramos únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad; la otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina), en este caso puede ocurrir que los concretos sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado.

#### **5.47-Exceso de materiales**

El agregado grueso con un contenido excesivo de materiales finos puede provocar problemas similares en el concreto a los que suele causar una arena con un módulo de finura menor a 2.2. Por medio de la prueba de pérdida por lavado se puede determinar este contenido, cuyo resultado se expresa como un porcentaje de la muestra.

#### **5.48-Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido**

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación a/c. Además, por consideraciones teóricas, independientemente de la relación a/c, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, por lo tanto, afectan la resistencia del concreto.

En cuanto a la interrelación mecánica entre la matriz y el agregado grueso, la textura superficial de éste es principalmente responsable de la adherencia. La roca triturada produce una adherencia superior comparado con la grava de canto rodado; aunque en la adherencia también tiene influencia la relación a/c que afecta tanto física como químicamente la zona de interacción.

El efecto del tamaño máximo del agregado en la resistencia también es conocido. La tendencia observada indica que mientras que el TMA disminuye, la resistencia decrece. Este fenómeno se ha observado para gravas de 75.0, 37.5, 19.0 y 9.5 mm (3", 1½", ¾", y ⅜"). En contraste, no sucede lo mismo para el concreto hecho usando un TMA de 4.75 mm. (No. 4), esto es atribuido al tamaño pequeño del agregado y al factor de que esta mezcla representa, básicamente, mortero o micro concreto (Sleiman 2000).

Se ha observado que concretos con bajos contenidos de agregados resisten altos esfuerzos a la edad de un día, excepto los hechos con grava triturada.

En contraparte, los concretos con altos contenidos de agregados presentan bajas resistencias de compresión a edades tempranas, fallando probablemente por la concentración de esfuerzos alrededor de los agregados, ya que en éstos sus propiedades físicas no varían con el tiempo. Mientras que la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta de cemento están todavía por debajo de su valor final.

#### **5.49-Capacidad de absorción**

Por otro lado, la capacidad de absorción de un material incide directamente sobre el grado de alteración que este mismo puede sufrir; la cantidad de espacios vacíos como los poros y fisuras, y la permeabilidad, son factores que influyen sobre la durabilidad de cualquier estructura de concreto. Un ejemplo típico de esto son los concretos que se encuentran en sitios donde el proceso de congelamiento y deshielo es común, ya que el agua puede expandirse hasta un 9% al congelarse. Este cambio volumétrico puede alterar fuertemente la estructura interna del concreto.

#### **5.50-Densidad**

Una propiedad de los agregados que resulta ser de vital importancia es la densidad, ya que si se emplea un material con una buena densidad ( $\geq 2.25$ ) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo.

El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al concreto en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla.

### 5.51-Adhesion

Por otro lado, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200.

La presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo.

### 5.52-Contaminación

Los agregados contaminados pueden ser causa de reducción de la resistencia a la compresión del concreto; y, además, pueden contener sustancias nocivas que afecten químicamente al material de diversas formas. Los morteros o los concretos hidráulicos están constituidos en un alto porcentaje por agregados (50-80% en volumen), por lo tanto, éstos no son menos importantes que la pasta del cemento endurecida, el agua libre, el aire incorporado, el aire naturalmente atrapado, o los aditivos; por el contrario, gran parte de las características de las mezclas de mortero o de concreto, tanto en estado plástico como en estado endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener morteros o concretos de buena calidad y económicos.

### 5.53-Resistencia de las partículas

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activa, entre otros.

Algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como, por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

### 5.54-Agregados artificiales

Por lo general, los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes. Actualmente se están utilizando concretos ligeros o ultraligeros, formados con algunos tipos de áridos los cuales deben presentar ciertas propiedades como son:

- forma de los granos compacta
- redondeada con la superficie bien cerrada
- ninguna reacción perjudicial con la pasta de cemento ni con el refuerzo
- invariabilidad de volumen suficiente resistencia a los fenómenos climatológicos.

Además, deben de tener una densidad lo menor posible, con una rigidez y una resistencia propia suficientemente elevada y ser de calidad permanente y uniforme.

### 5.55-Los agregados ligeros

Utilizados con mayor frecuencia son los producidos con arcilla y pizarra expandida (incluyendo la arcilla pizarrosa y la pizarra arcillosa). Es de anotar que se han desarrollado con bastante éxito agregados ligeros en Alemania (con arcilla y pizarra), y España (con arcilla expandida conocida comercialmente como ARLITA).

Estos agregados ligeros poseen características tales como: baja densidad, aislante, resistente, no tóxico e incombustible. Es utilizado en la fabricación de concreto ligero estructural; aislamiento de cubiertas, suelos y terrazas; rellenos ligeros aislantes y resistentes y prefabricados (desde el bloque más ligero hasta el panel más grande). La pequeña densidad aparente de los granos se debe siempre a su gran porosidad (hasta un 50% de su volumen y más).

La constitución porosa de cada uno de los granos se consigue mediante un tratamiento a altas temperaturas (en general 1100 °C o mayores, según la temperatura de sinterización del material –

Sinterizar: Conglomerar o soldar metales pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión). La inclusión del aire se efectúa generalmente por:

A) Formación de gases de determinados componentes de la materia prima o de aditivos mezclados. Una parte de los gases originados quedan encerrados en la masa viscosa y la expanden.

B) Mezcla de materia prima reblandecida o ya fundida con agua o vapor. El vapor encerrado o un gas formado en esta mezcla, origina al enfriarse, una estructura celular.

C) Combustión de componentes de la materia prima.

#### **5.56-Fabricación de agregados ligeros o ultra – ligeros.**

Los áridos ligeros o ultraligeros deben presentar una superficie bien cerrada y muy impermeable. Una condición para que esto se cumpla es que, después de la inclusión de aire, los granos tengan ya el tamaño deseado y no deban triturarse posteriormente. Según la materia prima disponible, son corrientes los siguientes procesos de preparación:

#### **5.57-Preparación por la vía seca**

En la obtención de la pizarra expandida, el material se tritura hasta el punto preciso para que los granos después de la inclusión de aire alcancen el tamaño deseado. La forma puntiaguda del material primitivo permanece en el posterior proceso de aireación. Otra posibilidad consiste en moler finamente primero el material inicial, preformándolo después al tamaño necesario.

La materia prima en forma de terrones se hace pasar por una trituradora, siguiendo a un molino, en donde se efectúa el molido fino. Si el material está muy húmedo (estado plástico), debe secarse previamente. El granulado se consigue rociando con agua a la que se le han añadido a veces elementos especiales, en un plato granulador; ahí se forman gránulos esféricos de diámetros bastante similares.

El tamaño puede determinarse variando la velocidad de giro del plato, así como la inclinación de su eje, para que los granos no se peguen pueden espolvorearse con un mineral antes de introducirse al horno.

#### **5.58-Preparación por la vía húmeda**

En este proceso de preparación de arcilla expandida, de pizarra arcillosa expandida y de arcilla pizarrosa expandida, se tritura el material en varias etapas, se homogeniza y se hace una masa plástica moldeable.

De esta masa, mediante prensado, se obtienen piezas cilíndricas, cuyas dimensiones tienen ya en cuenta el volumen debido a la expansión del aire; o bien el material pasa directamente a un tambor de secado antes del horno, allí se proporciona mediante la rotación del tambor el tamaño deseado de las partículas. Para la uniformidad del árido ligero es importante que la homogeneidad del material inicial sea suficiente; debido a esto, se recomienda una explotación vertical de la materia prima cuando tiene disposición horizontal, en capas.

Si la arcilla contiene compuestos cálcicos que no pueden separarse, los componentes calcáreos deben triturarse y distribuirse muy bien, de lo contrario se presenta el peligro que los áridos no mantengan un volumen invariable y al apagarse la cal viva formada durante el proceso de expansión, destruya el hormigón.

Una vez preparada la materia prima la expansión del granulado preformado se realiza empleando alguno de los procedimientos siguientes:

- Expansión en horno tubular rotatorio.
- Expansión en horno vertical (procedimiento de corriente de circulación).
- Expansión en la cinta de sinterizar.

### 5.59-Procedimiento del horno rotativo

Los hornos tubulares rotativos utilizados en la inclusión del aire para los áridos ligeros se asemejan notablemente a los usados en la cocción del clinker en la fabricación del cemento Portland. La combustión se realiza mediante polvo de carbón, gas natural o aceites minerales. Este horno consiste en un tubo largo, revestido de material refractario, con el eje de giro inclinado ligeramente respecto a la horizontal. La introducción del material se realiza en forma continua, por el extremo superior no calentado. En algunos casos se dispone de un tambor de secado delante del horno giratorio y un tambor de refrigeración detrás; debido al lento movimiento de giro y de la ligera pendiente del tubo el material se desplaza, en sentido contrario a los gases de combustión, en dirección al extremo inferior donde tiene lugar la combustión.

Después del secado que tiene lugar previamente, al aumentar el calor se forman gases y tiene lugar un reblandecimiento; por medio de un buen manejo del horno (control en la alimentación del material, velocidad de giro y temperatura) se consigue conectar entre sí ambos procesos: formación de gases y reblandecimiento, de manera tal que en cada caso se produzca precisamente el grado de expansión más adecuado a las propiedades principales del árido en cuestión, tales como: resistencia, elasticidad, y densidad.

En general el horno se alimenta de material preclasificado, si éste durante la preparación, no ha adquirido unas formas redondeadas, como por ejemplo en la obtención de arcilla expandida, los granos adquieren la forma redondeada y cerrada, y según los casos una película sinterizada bastante impermeable, debido a que el avance en el horno giratorio se realiza rodando y también al reblandecimiento creciente del material por la temperatura de expansión, que llega cerca del límite de sinterización. La expansión en los áridos más pequeños que entran al horno es mayor ya que al girar en el horno estos tienden a ir a la superficie.

La fabricación de áridos para concreto armado ligero es adecuada, tan sólo si se realiza la sinterización de granos a los que se les ha dado previamente una forma conveniente, puesto que sólo así puede conseguirse un grano redondeado con la superficie cerrada. La sinterización de material no previamente conformado, que debe romperse después de la combustión, da granos angulosos con poros bien abiertos, con la forma a menudo rara y poca resistencia.

Los concretos obtenidos con estos componentes se compactan muy difícilmente y poseen una resistencia muy baja en comparación con su masa unitaria. Los granos dispuestos en una capa uniforme en la cinta de sinterizar llegan a los quemadores de gas o aceite, después de pasar por dispositivos de secado y calefacción. La combustión que alcanza inicialmente a la superficie, atraviesa todo el grueso de la capa; los gases originados se introducen en los granos en estado caliente plástico y los expanden.

### 5.60-Forma y tamaño de los granos

La forma de los granos influye en la granulometría del árido y como en el concreto normal en la manejabilidad de la mezcla, en el contenido de cemento y la cantidad de agua en la mezcla. Un grano de cantos redondeados proporciona ventajas solamente al concreto fresco; así como en el concreto normal la adherencia se presenta mejor con granos de cantos angulosos (como la piedra triturada), y por lo tanto mejora su resistencia, de igual manera se comportan los áridos ligeros.

La superficie de los granos influye sobre la superficie del concreto y sobre la adherencia del árido con la pasta de cemento en el concreto ya fraguado. El tamaño de los granos también influye en las propiedades de la mezcla, ya que, en su elaboración, al aumentar el tamaño puede disminuir su densidad, rigidez y resistencia, por lo que el diámetro no debe ser mayor a 25 mm (1"); para alta resistencia se recomienda que éste no sobrepase los 19 mm (3/4").

### **5.61-Densidad aparente, densidad real y porosidad de los granos**

La densidad aparente de los áridos es una de sus principales cualidades, por que influye en la densidad y en la resistencia de los concretos con ellos elaborados. La densidad aparente de un grano se define como la relación entre la masa de dicho grano y el volumen encerrado dentro de la superficie que lo envuelve. Este volumen abarca tanto el volumen del material sólido como el de los poros contenidos en el interior del grano. La reducción de la densidad aparente depende del proceso de elaboración del grano, ella varía entre 1/3 y 2/3 del valor de los áridos considerados normales.

La obtención de la densidad aparente del árido se efectúa basados en el principio de Arquímedes (volumen desalojado). La densidad real de un árido se define como la relación entre la masa y el volumen de la parte sólida; todos los poros pueden eliminarse mediante un molido fino. La densidad real de los áridos varía entre límites relativamente estrechos (2,6 a 3,0 kg/dm<sup>3</sup>). En la mayoría de las arcillas y pizarras expandidas está alrededor de 2,7 kg/dm<sup>3</sup>.

La porosidad es el valor numérico de la relación entre el espacio ocupado por los poros y el volumen encerrado dentro de la superficie del grano; esta propiedad define el contenido de poros de dicho grano, en los áridos fabricados en Alemania se encuentran valores entre el 50% al 75% del volumen, para la fracción con diámetros entre 8-19 mm; para granos de tamaño 2 mm la porosidad oscila entre 30% y 50% en volumen.

### **5.62-Masa unitaria del árido**

La masa unitaria del árido se define como el cociente entre la masa de una cantidad de árido y el volumen ocupado por el mismo incluidos en aquel todos los poros, tanto los propios de los granos como los que quedan en el amontonamiento. No representa ninguna característica fija del material, puesto que además de depender de la humedad depende de la compacidad del amontonamiento.

Para estos agregados, se pueden obtener valores de masa unitaria entre 0,40 y 0,80 kg/dm<sup>3</sup>, para granos comprendidos entre 8 y 19 mm.

### **5.63- Módulo de elasticidad y resistencia propia de los granos**

Como en el concreto normal, en el concreto ligero la resistencia depende en forma decisiva no sólo de la calidad de la pasta de cemento, sino también de la calidad del grano y sobre todo, de la rigidez de los áridos. El módulo de elasticidad y la resistencia propia de los granos son, por ello, características importantes del árido.

### **5.64-Absorción de agua**

Los áridos ligeros debido a su estructura porosa, tienen una mayor capacidad de absorción que los agregados normales. La absorción de agua de los áridos debe de tenerse en cuenta al verter el agua de amasado, puesto que influye en la manejabilidad del concreto, en la eficaz relación agua / cemento, en la resistencia y la densidad del concreto y en propiedades del concreto que están en dependencia con ellas, como la deformabilidad en función del tiempo (retracción y fluencia). La absorción de agua es la relación entre el agua absorbida en un tiempo determinado y la masa seca del árido.

### **5.65-Resistencia al congelamiento y deshielo**

Los agregados ligeros para concreto, que muy a menudo están expuestos a cambios de congelación y descongelación cuando todavía están húmedos, deben poseer una resistencia suficiente; la cantidad de agregados destruidos por esta razón debe ser menor al 4%. El aumento de un 10% en volumen que sufre el agua en los poros al congelarse, es una de las causas que puede dañar los áridos ligeros; los áridos en los que la totalidad de sus poros se llenan de agua corren especial peligro.

Aún después de mucho tiempo sumergidos dentro del agua, los poros de las partículas del agregado ligero no se llenan en su totalidad, y los espacios restantes que quedan con aire, sirven para absorber el aumento de volumen ocasionado por el hielo.

### 5.66-Propiedades térmicas

El coeficiente de dilatación de los áridos y su relación con el coeficiente de dilatación de la pasta de cemento influyen en las presiones internas que aparecen en el concreto al variar la temperatura. No se han establecido valores cuantitativos de dilatación térmica, pero se presume que debe ser similar que para los ladrillos (por ser materiales cerámicos).

Una de las ventajas del concreto ligero armado respecto al normal es su mejor comportamiento como aislante térmico, esto se debe a la menor conductividad térmica de los áridos ligeros, por la porosidad de los mismos. Debido a la alta temperatura alcanzada en su fabricación los áridos ligeros son muy refractarios.

### 5.67-Ingredientes perjudiciales

Los agregados no deben reblandecerse con el agua, ni descomponerse, ni formar combinaciones desfavorables con los elementos del cemento; no deben influir negativamente sobre la hidratación ni amenazar la protección contra la corrosión del refuerzo.

Según la cantidad y distribución pueden ser nocivos los siguientes componentes: polvos capaces de entrar en suspensión, materias de origen orgánico, determinados componentes de azufre, elementos con tendencia al reblandecimiento, la hinchazón o el enmohecimiento, combustibles y materiales que puedan favorecer la corrosión, como por ejemplo cloruros. Si no se está seguro, que no existen materias desfavorables en cantidad peligrosa, deben analizarse los áridos.

### 5.68-Forma y textura superficial

La forma y textura de las partículas de agregados influyen grandemente en los resultados a obtenerse en las propiedades del concreto.

Existiendo un efecto de anclaje mecánico que resulta más o menos favorable en relación con el tamaño, la forma, la textura superficial y el acomodo entre ellas, también se producen fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, condicionados por estos factores; que contribuyen en el comportamiento de resistencia y durabilidad del concreto.

### 5.69-Forma

Por naturaleza los agregados tienen una forma irregularmente geométrica, compuesta por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades.

La forma de las partículas está controlada por la redondez o angularidad y la esfericidad, dos parámetros relativamente independientes. En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Subangular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: Bordes casi eliminados.

Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

La esfericidad resultante de agregados procesados, depende mucho del tipo de chancado y la manera como se opera. La redondez está más en función de la dureza y resistencia al desgaste de la abrasión.

Los agregados con forma equidimensional producen un mejor acomodo entre partículas dentro del concreto, que los que tienen forma plana o alargada y requieren menos agua, pasta de cemento, o mortero para un determinado grado de trabajabilidad del concreto.

### 5.70-Textura

Representa qué tan lisa o rugosa es la superficie del agregado. Es una característica ligada a la absorción, pues los agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos; además que producen concretos menos plásticos pues se incrementan la fricción entre partículas dificultando el desplazamiento de la masa.

### 5.71-Recomendaciones

Los agregados son partículas en su mayoría que por su forma y tamaño requieren la utilización de equipo de protección individual como:

- Lentes de policarbonato
- Mascarilla de partículas
- Guantes de cuero

Al manipularlos en pruebas de laboratorio se requiere el uso de una estación de lava – ojos para evitar lesiones a personas que puedan sufrir accidentes.

### 5.72-Manejo y almacenamiento de los agregados

Los agregados deben manejarse y almacenarse de manera que se minimice la segregación (separación del material en fracciones) y se evite la contaminación con sustancias perjudiciales.

Las pilas de almacenamiento deben formarse por capas de espesor uniforme y no ser muy altos porque se produce segregación; cuando se deja caer material de bandas transportadoras o cucharones, el viento puede llevarse las partículas más finas lo que debe evitarse en lo posible.

Cuando el material se almacena en silos estos deberán ser circulares o casi cuadrados, sus fondos deberán tener una inclinación no menor de 50 grados con la horizontal de todos los lados hacia la salida central. Al cargar los silos los materiales deben caer verticalmente sobre la salida, si el material cae sobre los costados formando ángulo puede producirse segregación. Para evitar la segregación y variaciones en la granulometría se deben almacenar por separado.

Los agregados de acuerdo con su tamaño, así, por ejemplo: agregado de tamaño máximo 1 ½" en una parte, agregado de tamaño máximo 1" en otra y la arena en otra; si se tienen diferentes arenas también se deben separar. Aunque de manera simplista pudiera pensarse que el agregado grueso actúa principalmente como un relleno para reducir el contenido de la pasta de cemento y moderar el esfuerzo en la matriz, sus contribuciones parecen ser más que eso.

Un porcentaje máximo en volumen de agregados, sobre todo gruesos, tiene un efecto positivo tanto en su resistencia, como en sus características de flujo plástico, contracción por secado y permeabilidad, hecho que se presenta debido a que la pasta de cemento endurecido constituye el elemento más débil en lo que se refiere a las propiedades antes citadas.

La demanda de agua de los agregados determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del concreto. Debido a que la pasta es la principal fuente de acortamiento y alargamiento en el concreto, agregados con bajas demandas de agua producirían concretos menos propensos a la deformación (acortamiento y alargamiento). Por esto, los agregados que mejor se acomodan en una mezcla producen concretos con menor inestabilidad volumétrica.

Influencia de los agregados en la zona de interacción y en el módulo de elasticidad

Ante la aplicación de cargas en el concreto, el micro agrietamiento se inicia generalmente en la zona de interfase (ITZ) entre el agregado grueso y el mortero que lo rodea; y posteriormente en el momento de la falla ante el incremento de las cargas, el patrón de grietas siempre incluye a la interfase; lo anterior subraya la importancia de esta zona del concreto. Por ello es necesario darle la debida importancia a las propiedades y el comportamiento de la zona de interfase.

La zona de interfase tiene su propia microestructura. La superficie del agregado se cubre con una capa de cristales orientados de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de calcio) con un espesor aproximado de 0.5  $\mu\text{m}$ , tras de ésta hay una capa de silicato de calcio hidratada, también de aproximadamente 0.5  $\mu\text{m}$  de espesor; estas capas son conocidas como la película doble. Más alejada de los agregados está la zona de interfase principal de unos 50  $\mu\text{m}$  de espesor, conteniendo productos de hidratación del cemento con cristales más grandes de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , pero menores que los de cualquier cemento hidratado.

La zona de interfase no sólo existe en la superficie de las partículas del agregado grueso sino también alrededor de las partículas de la arena, aquí el espesor de la zona de interfase es más pequeño, pero la suma de las zonas individuales genera un volumen muy considerable, al grado que el volumen total de la ITZ está entre un tercio y un medio del volumen total de la pasta de cemento endurecida.

La microestructura de la zona de interfase es grandemente influenciada por la situación que existe en la cubierta final, en esta zona las partículas de cemento son incapaces de unirse estrechamente con las partículas relativamente grandes del agregado; en consecuencia, la pasta de cemento endurecida en la zona de interfase tiene una porosidad mucho mayor que la pasta de cemento endurecida más alejada de las partículas del agregado.

Por otro lado, el módulo de elasticidad del concreto es afectado por el módulo de elasticidad del agregado y por el contenido volumétrico de éste en el concreto. Debido a que el módulo de elasticidad del agregado es raramente conocido, algunas expresiones para el módulo de elasticidad del concreto permiten que el del agregado se sustituya por un coeficiente que está en función de la densidad del concreto. En este sentido, la expresión del ACI 318-89 puede emplearse haciendo la consideración anterior para concretos hechos con agregados de peso normal y ligero. La adherencia depende de la ITZ, la cual tiene una microestructura diferente al de las grandes cantidades de cemento endurecido.

### **5.73-Recomendaciones para el uso de agregados**

Es un hecho que las características de los agregados (así como todos los materiales existentes) se ven afectados por su entorno. Por lo tanto, se hace necesario resaltar algunas recomendaciones para minimizar el impacto de los aspectos relacionados con el ambiente y el manejo de estos.

Evitar que el material permanezca mucho tiempo almacenado ya que los factores climáticos pueden alterar sus condiciones. En lo posible, almacenar el material en un lugar cubierto para que no se afecte por lluvias u otros agentes externos.

- El cargador/maquinaria móvil no debe montarse sobre las pilas de material para evitar contaminación.
- Evitar hacer pilas mayores a cuatro metros de alto porque esto produce segregación en los materiales.
- Contar con un buen espacio para los acopios con el fin de realizar divisiones e ingreso de camiones de volteo sin contratiempos.
- Lavado de llantas de la maquinaria móvil que pueda entrar en contacto con el material para evitar contaminación con materias orgánicas o agentes externos al producto.
  
- Evitar el contacto de la arena con la lluvia o la humedad permanente. De lo contrario se debe ajustar el diseño de mezclas con la fórmula de corrección por humedad.
- Cada producto diferente deberá acopiarse por separado para evitar cambios en su granulometría original.
  
- Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentran en contacto con la superficie natural del terreno no deberán ser utilizados, a menos que se haya colocado sobre esta alguna superficie que prevenga la contaminación del material de acopio, o que la superficie tenga pavimento.



# Capítulo 6

## Agua para concreto

### 6.1-El agua

Es considerada como materia prima para la fabricación y el curado del concreto, debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar. Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo libre de arcilla, lodo y algas.

Las aguas agresivas son aguas que actuando sobre construcciones de concreto u hormigón fraguado pueden entrar en reacción con algunos de sus componentes y aumentar la porosidad o causar fisuras, rindiendo de esta forma la estructura más vulnerable ante la acción de agentes físicos.

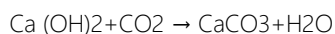
Se considera un agua agresiva cuando presenta un contenido alto en CO<sub>2</sub>, ya que en esas condiciones puede disolver el calcio de los minerales que lo contienen.

### 6.2-Aguas disolventes

Las aguas disolventes son las que no contienen iones y actúan por lo tanto solamente sobre la cal libre (Ca (OH)<sub>2</sub>) disolviendo los cristales y aumentando la porosidad del concreto.

Aguas con contenido de CO<sub>2</sub>

También el dióxido de carbono presente en este tipo de aguas sobre la cal libre produciendo carbonato de calcio.

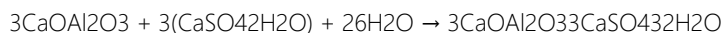


Si la acción de estas aguas continua se producirá una nueva reacción que lleva a la producción de bicarbonato de calcio.  $\text{Ca (HCO}_3)_2$   
 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$

Siendo que el bicarbonato de calcio es soluble, este se disolverá en el agua produciendo un incremento de la porosidad.

### 6.3-Aguas con contenido de sulfatos

Los iones sulfato contenidos en el agua entran en reacción con la cal para formar el sulfato de calcio, el cual reacciona a su vez con el aluminato tricalcico (3CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) para formar:



Esta última sal (llamada 'ettringita') es expansiva, al estar el concreto endurecido, la sal expansiva, al aumentar de volumen, provoca fisuras en la estructura, lo que permite al agua agresiva de entrar en contacto con nuevos estratos de concreto, el cual también será atacado.

### 6.4-Rol del agua

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación.

## 6.5-Agua de mezclado

Cantidad de agua que requiere el concreto por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco.

## 6.6-Agua de curado

Es la cantidad de agua adicional que requiere el concreto una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversas situaciones como: altas temperaturas por estar expuesto al sol o por el calor reinante en los alrededores, alta absorción donde se encuentra colocado el concreto, fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación. Aunque en la actualidad existen productos que minimizan la pérdida superficial del agua, en el caso de que no sean utilizados se requiere adicionársela periódicamente a los elementos construidos para que alcancen el desempeño deseado.

## 6.7-Diseño de mezcla

El agua en el concreto es fundamental porque al relacionarla con la cantidad de cemento contenido en la mezcla (relación agua/cemento), es la que determina la resistencia del mismo y en condiciones normales su durabilidad. Concretos con altos contenidos de agua (relaciones agua/cemento por encima de 0,5) pueden proporcionar resistencias bajas y ser susceptibles de ser atacados fácilmente por los agentes externos. Por el contrario, relaciones agua/cemento bajas (menores de 0,45) contribuyen de forma significativa a la resistencia de los elementos, tanto a la compresión y mejor desempeño de la estructura, como al ataque de agentes que se encuentran en el medio ambiente, y en consecuencia a la durabilidad.

## 6.8-Relación agua/cemento

La relación agua-cemento, también conocida como razón agua/cemento,  $a/c$ , o pasta cementicia es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto, ya que influye considerablemente en la resistencia final del mismo. Esta expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento. Como es matemáticamente una razón, debe usarse un signo de división (barra: /) y nunca un guion.

Dado que el peso del agua utilizada siempre debe ser menor que el peso del cemento, la cifra resultante es menor que la unidad. Una relación agua/cemento baja, conduce a un concreto de mayor resistencia que una relación agua/cemento alta. Por lo tanto, cuanto más alta sea esta relación, el concreto será más trabajable. Por ello, es fundamental el control de adición de agua a la mezcla durante su preparación o colocación ya que al alterar la condición inicial de esta (aumentar la relación agua/cemento para conseguir mayor facilidad en la acomodación y el acabado), puede afectar de forma apreciable el desempeño del mismo consiguiéndose menores resistencias a la compresión o desgastes prematuros de los elementos construidos.

Si se requiere utilizar el agua de mar esta debe ser empleada en concretos que no requieran refuerzo metálico, si no, es conveniente tomar acciones encaminadas a evitar que sus sales afecten el buen desempeño de las varillas. De acuerdo con todo lo anterior, en la medida en que se establezcan controles para el uso y manejo del agua apropiados, obtendremos concretos con los desempeños deseados y evitaremos inconvenientes posteriores en las obras que generalmente se traducen en sobrecostos de las mismas.

## 6.9-Cualidades del agua

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable. Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación:

- Las aguas que contengan menos de 2000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 p.p.m. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo y deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencia del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción de la resistencia es del 30%.

#### **6.10- Cualidades e incidencias del agua del curado**

Tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia.

Las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el concreto y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes. Las causas más frecuentes de manchas son: El hierro o la materia orgánica disuelta en el agua. Por ello, es fundamental el control de adición de agua a la mezcla durante su preparación o colocación ya que al alterar la condición inicial de esta (aumentar la relación agua/cemento para conseguir mayor facilidad en la acomodación y el acabado, puede afectar de forma apreciable el desempeño del mismo consiguiéndose menores resistencias a la compresión o desgastes prematuros de los elementos construidos.

Si se requiere utilizar el agua de mar esta debe ser empleada en concretos que no requieran refuerzo metálico, si no, es conveniente tomar acciones encaminadas a evitar que sus sales afecten el buen desempeño de las varillas. De acuerdo con todo lo anterior, en la medida en que se establezcan controles para el uso y manejo del agua apropiados, obtendremos concretos con los desempeños deseados y evitaremos inconvenientes posteriores en las obras que generalmente se traducen en sobre costos de las mismas.

#### **6.11-Funciones del agua**

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del concreto.

La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el concreto queden trabajables.

Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u concreto si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla.

## 6.12-Extracción de agua

El agua puede extraerse de fuentes naturales cuando no se tienen redes de acueducto y puede contener elementos orgánicos indeseables o un alto contenido inaceptable de sales inorgánicas. Las aguas superficiales en particular, a menudo contienen materia en suspensión tales como: aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales; lo cual puede hacerla inadecuada para emplearla sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para permitir que dicha materia en suspensión se elimine.

## 6.13-Impurezas orgánicas

Las sustancias orgánicas contenidas en aguas naturales, afectan considerablemente el tiempo de fraguado inicial del cemento y la resistencia última del concreto.

Las aguas que tengan un color oscuro, un olor pronunciado, o aquellas en las cuales sean visibles lamas de algas en formación de color verde o café, deben ensayarse. Se debe tener especial cuidado con los altos contenidos de azúcar en el agua porque pueden ocasionar retardo en el fraguado.

## 6.14-Impurezas inorgánicas

Los límites permisibles para contenidos inorgánicos son algo amplios, pero en algunas partes, éstos pueden presentarse en cantidades suficientes para causar un deterioro gradual del concreto. La información disponible respecto al efecto de los sólidos disueltos en la resistencia y durabilidad del concreto es insuficiente para poder establecer límites numéricos con base en un sistema comprensible, pero se puede proporcionar una guía sobre niveles permisibles de ciertas impurezas.

Los mayores iones que se presentan usualmente en aguas naturales son calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato, y menos frecuente carbonato. Las aguas que contengan un total combinado de estos iones comunes que no sea mayor de 2 g/l (2000 ppm), son generalmente adecuadas como agua de mezcla.

La presencia de cloruros en el concreto, ya sea que provengan del agua de mezcla, o de otras fuentes, puede presentar problemas potenciales con algunos cementos (generalmente con cantidades apreciables de aluminato tricálcico - C3A) o cuando se tienen metales embebidos en el concreto. La cantidad de cloruros que pueden permitirse en el agua de mezcla, depende de la cantidad total de cloruros en el concreto considerando las demás fuentes. Como una guía, el contenido total de cloruros del agua no debe exceder generalmente de 0,5 g/l. Algunas veces es necesario aceptar concentraciones más altas, como en ciertas regiones áridas donde las aguas naturales son bastante salinas.

## 6.15-Mezclado agua de mar

El agua de mar se ha empleado para producir concreto de cemento Portland, pero existe una tendencia para que esta cause humedad superficial y eflorescencia (formación de depósitos salinos en la superficie del mortero o del concreto). Su uso puede causar también una moderada reducción de la resistencia. El agua de mar no debe emplearse en concreto reforzado o pre esforzado.

Un referente general a la aceptabilidad de los sulfatos en el agua de mezcla, es que el contenido de sulfatos no exceda 1 g de  $SO_3$  /l. Sin embargo, se ha empleado satisfactoriamente agua con un contenido de sulfatos más alto. La cantidad de sulfatos, permitida en agua de mezcla, depende del contenido de sulfatos de los agregados y el cemento, ya que el factor crítico es la cantidad total de sulfatos en el concreto.

El agua que contiene carbonatos y bicarbonatos de álcalis puede afectar el tiempo de fraguado del cemento y la resistencia del concreto. Su presencia puede ser perjudicial si existe un riesgo de reacción álcalis-agregado. En general, su total combinado no debe exceder 1 g/l de agua.

## 6.16-Contaminación por desechos industriales

Se debe tener cuidado cuando se empleen aguas que pueden estar contaminadas por afluentes industriales o por drenaje de minas y depósitos de minerales entre otros.

### 6.17-Requisitos

Se recomienda que el agua utilizada en la preparación de mezclas de mortero o concreto, cumpla los requisitos establecidos en la norma, Sin embargo, es preferible ensayar el agua que se va a emplear en la preparación de la mezcla y comparar los resultados con los de un agua testigo (de comportamiento conocido como por ejemplo agua destilada).

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua puede tener muy pocas cantidades de cloruros, sulfatos, álcalis y material sólido.

El agua siempre deberá de generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento Portland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumpla con los requisitos de calidad establecidos. Aguas potables o sobre las que se posea experiencia por haber sido empleadas para tal fin, con resultados satisfactorios. No deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre:

- El fraguado,
- La resistencia,
- La durabilidad,
- Apariencia del concreto.

### 6.18-Partes por millón

PPM (ppm) es una unidad de medida de concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una parte por millón (1 ppm)

### 6.19-Estudios comparativos

Se podrán realizar ensayos comparativos empleando en un caso el agua en estudio y en otra agua potable, manteniendo además similitud en materiales y procedimientos a utilizar, con el fin de obtener ensayos reproducibles.

Dichos ensayos se realizarán con el mismo cemento que será usado y consistirán en la determinación del tiempo de fraguado del cemento y resistencia a compresión a los 7 y 28 días.

La reducción de resistencia del mortero que contiene el agua en estudio a cualquier edad de ensayo, podrá ser como máximo del 10%

### 6.20-PH del agua

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno ( $H^+$ ). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.

La escala de pH es logarítmica, por lo que cada cambio de la unidad del pH en realidad representa un cambio de diez veces en la acidez. En otras palabras, pH 6.0 es diez veces más ácido que el pH 7.0; pH 5 es cien veces más ácido que el pH 7.0. En general, un agua con un pH < 7 se considera ácido y con un pH > 7 se considera básica o alcalina.

El rango normal de pH en agua superficial es de 6,5 a 8,5 y para las aguas subterráneas 6 – 8.5. La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para resistir un cambio de pH que tendría que hacerse más ácida. Es necesaria la medición de la alcalinidad y el pH para determinar la corrosividad del agua.

El pH del agua pura (H<sub>2</sub>O) es 7 a 25 °C, pero cuando se expone al dióxido de carbono en la atmósfera este equilibrio resulta en un pH de aproximadamente 5.2. Debido a la asociación de pH con los gases atmosféricos y la temperatura.

El PH del agua debe estar en promedio en 7 (estado neutro), cuando el PH<6 (agua ácida) daña severamente al concreto (especialmente al acero) de preferencia debe emplearse agua potable. La cantidad de sustancias nocivas contenidas en el agua, se deben sumar a los contenidos en los agregados para evaluar los límites máximos permisibles.

Típicamente se encuentran estos problemas cuando la dureza excede de 100 a 200 miligramos (mg) / litro (L) o ppm, que es equivalente a 12 granos por galón. El agua puede ser suavizada mediante el uso intercambio iónico, aunque este proceso puede aumentar el contenido de sodio en el agua.<sup>3</sup>

pH de los líquidos más comunes:

- Vinagre 3.0
- Vino 2.8 – 3.8
- Cerveza 4 – 5
- Leche 6.3 – 6.6
- Agua de mar 8.3

### 6.21-Los cloruros

Actúan sobre el acero produciendo corrosión, obras cercanas a ambientes marinos sufren corrosión. Contenido total de iones cloruros solubles en agua en el concreto (ACI318-05)

aguas prohibidas:

- Aguas ácidas
- Aguas calcáreas, minerales, carbonatadas o naturales.
- Aguas provenientes de minas o relaves
- Aguas que contengan residuos industriales.
- Aguas con un contenido de cloruro de sodio mayor del 3%; o un contenido de sulfato mayor del 1%.
- Aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, partículas de carbón, turba azufre o descargas de desagües.
- Aguas que contengan azúcares o sus derivados.
- Aguas con porcentajes significativos de sales de sodio o potasio disueltos, en especial en todos aquellos casos en que es posible la reacción álcali-agregado.

En caso de que el lugar de extracción se encuentre próximo a la costa, una sola muestra de agua, puede no ser representativa si existen variaciones de composición en función del tiempo, cambios climáticos (lluvia, viento, etc.), cambios estacionales o influencia de las mareas.

### 6.22-Requisitos para uso de agua

El agua de mezcla debe consistir de:

- El agua dosificada (El agua pesada o medida a través de la unidad dosificadora de la planta).
- El agua añadida por el operador del camión mezclador.

---

<sup>3</sup> Driscoll, F.G. *Groundwater and wells. USA: Johnson Division, 1986.*

- El agua libre contenida en los agregados, y El agua introducida por el uso de aditivos cuando esta agua incrementa la relación agua-materiales cementantes, en más de 0.01. (Uno por ciento).
- Se permite el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto, sin necesidad de ensayarla para determinar su conformidad con los requisitos de esta especificación.

El agua de mezcla que esta parcial o totalmente compuesta de agua de fuentes que son no potables o que proceden de operaciones de la producción de concreto, puede permitirse que sea usada en cualesquiera proporciones dentro de los límites prescritos para cumplir con los requisitos de la Cuadro 1. A opción del comprador y cuando se considere apropiado para la construcción se puede especificar los límites opcionales indicados en la Cuadro 2, al momento de efectuar la orden de producción del concreto, de acuerdo con el numeral 6. Información de la orden de compra de la norma NTG 41068 (ASTM C94/C94M).

### 6.23-Fuentes de agua

Las fuentes no potables de agua pueden ser calificadas para su uso, cuando el agua de una fuente no potable se usa combinada con una de fuente potable, la calificación del agua combinada debe ser determinada al más alto porcentaje previsto de agua no potable en el agua de mezcla combinada durante la producción.

El agua combinada de dos o más fuentes, cuando una de las fuentes incluya agua recuperada de la producción de concreto, debe ser calificada de acuerdo con el agua combinada debe ser calificada al contenido de sólidos más alto, previsto durante la producción. Será permitido el uso del agua de mezcla que contenga un contenido total de sólidos igual o menor al nivel calificado por medio de los ensayos.

#### Ensayo del agua y requisitos

Para fuentes de agua de mezcla no potable propuesta para uso como agua total de mezcla en toma de agua de mezcla combinada. El agua debe ser ensayada para determinar su cumplimiento, antes de su primer uso y luego cada tres meses o más seguido, cuando se tenga razón para sospechar que pudo haber ocurrido un cambio en las características de la fuente. Se permite hacer ensayos con una menor frecuencia, pero no menor que anualmente, cuando los resultados de cuatro ensayos consecutivos indiquen cumplimiento con la norma COGUANOR NTG 41073.

### 6.24-Constancia de la fuente

El fabricante debe mantener una evidencia documentada de que las características del agua de mezcla combinada cumplen con los requisitos. Estos ensayos deben ser efectuados antes del primer uso del agua de mezcla, y luego cada seis meses o más seguido, cuando haya una razón para sospechar que pudo haber ocurrido un cambio en las características de la fuente. Estos requisitos deben ser proporcionados al comprador, al ser requeridos.

Para fuentes de agua de las operaciones de producción de concreto, propuesta para uso como agua total de la mezcla o en forma de agua de mezcla combinada se aplica lo siguiente al agua combinada:

La densidad del agua de la fuente de producción de concreto premezclado debe ser ensayada por lo menos diariamente de acuerdo con el método de ensayo (ASTM C1603) o monitoreada con un hidrómetro que haya sido verificado de acuerdo con el método de ensayo (ASTM C1603). Los fabricantes que usen dispositivos automáticos deben mantener en la planta de producción, la documentación sobre los procedimientos de uso y calibración de los sistemas, según se requiera.

La combinación de proporciones de agua de diversas fuentes puede ser determinada de acuerdo con el apéndice A 1 del método de ensayo C1603 para alcanzar la meta de contenido de sólidos establecida.

El agua de mezcla combinada debe ser ensayada para determinar su cumplimiento con los requisitos de la Cuadro 1, al mayor contenido de sólidos previstos a ser usado durante la producción de acuerdo con las siguientes, frecuencias de ensayo:

## 6.25-Densidad del agua combinada

Cuando la densidad del agua combinada sea menor de 1.01g/mL, el agua debe ser ensayada antes de su primer uso y luego una vez cada seis meses se permite que la frecuencia sea reducida a una vez cada (12) meses, cuando los resultados de dos ensayos consecutivos indiquen que se ha cumplido con los requisitos de la norma. Esta condición pretende cubrir el uso de agua de lavado clarificada que ha sido pasada por un sistema de lagunas de sedimentación.

Cuando la densidad del agua combinada esté entre 1.01 y 1.03, el agua debe ser ensayada antes de su primer uso y luego mensualmente. Se permite que la frecuencia de ensayo será reducida una cada tres meses cuando los resultados de 4 ensayos consecutivos indiquen que se ha completado los requisitos.

El agua con una densidad de 1.03 aproximadamente representa un contenido de sólidos de 50,000ppm.  
COGUANOR NTG 41073.

Cuando la densidad del agua combinada exceda de 1.03, el agua debe ser ensayada cada semana o más seguido cuando hay razón para sospechar que se ha tenido algún cambio en las características requeridas para cumplir con los requisitos de la norma.

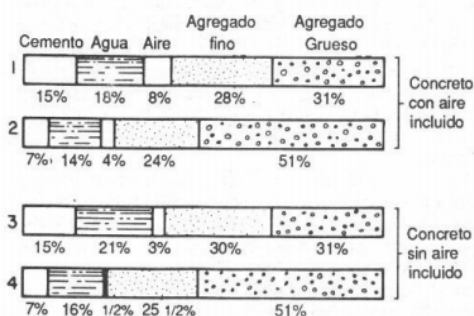
Se permite reducir la frecuencia de ensayos a una cada mes, cuando los resultados consecutivos indiquen que se ha cumplido con los requisitos de la norma.

El ensayo del agua con una densidad mayor de 1.05 debe ser realizado, ya sea que el agua incluya o no incluya un aditivo estabilizador de la hidratación.

Una densidad del agua que exceda aproximadamente 1.05, donde los sólidos son esencialmente compuestos de materiales cementantes, puede requerir el uso de aditivos estabilizadores de la hidratación para mantener un cumplimiento con los requisitos del Cuadro 1. El

fabricante debe tener un proceso bien documentado en la planta, para verificar la efectividad de los aditivos y sus dosificaciones empleadas.

### Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.  
Diseño y control de mezclas de concreto. Pág. 1



# Capítulo 7

## Concreto

**7.1-**El concreto (del inglés *concrete*, a su vez del latín *concrētus*, «agregado, condensado»), material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos.

El aglomerante es cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los agregados.

La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero. Existen concretos que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el concreto asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla. En el caso del elaborado con cemento Portland se le suele comúnmente llamar mezcla o cemento en los países de América latina.

### 7.2-El cemento

Es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que, mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece, tornándose en un material de consistencia pétreo. El cemento consiste esencialmente en silicato cálcico hidratado (S-C-H). Este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas. Se denomina cemento hidráulico cuando el cemento, resultante de su hidratación, es estable en condiciones de entorno acuosas. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones (en cantidades inferiores al 1 % de la masa total del concreto), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores y retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

### 7.3-El concreto convencional

Normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup> (137 hasta 150 libras/pies<sup>3</sup>). La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento.

Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m<sup>3</sup> (150 lb/ft<sup>3</sup>).

Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existen varios tipos de concretos. Se considera concreto pesado aquel que posee una densidad de más de 3200 kg/m<sup>3</sup>, debido al empleo de agregados densos (empleado protección contra las radiaciones), el concreto normal, empleado en estructuras, que posee una densidad de 2200 kg/m<sup>3</sup>, y el concreto ligero, con densidades de 1800 kg/m<sup>3</sup>.

### 7.4-Característica estructural

El concreto resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado a ciertas armaduras de acero, recibiendo en este caso la denominación de concreto armado. Este conjunto se comporta muy favorablemente ante las diversas solicitaciones o esfuerzos mencionados con anterioridad.

Cuando se diseña y planifica una estructura de concreto armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

## 7.5-Sus componentes

El concreto es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos al concreto, generalmente es un cemento artificial, y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento portland. Los áridos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos: silíceos, calizos, graníticos, etc. El árido cuyo tamaño sea superior a 5 mm se llama árido grueso o piedrín, mientras que el inferior a 5 mm se llama árido fino o arena. El tamaño del piedrín influye en las propiedades mecánicas del concreto.

## 7.6- La pasta

Formada por cemento y agua es la que permite al concreto su fraguado y endurecimiento, mientras que el árido es un material inerte sin participación directa en el fraguado y endurecimiento del concreto. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose diversas reacciones químicas de hidratación que lo convierten en una pasta maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, llevan al fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo. Una característica importante del concreto es poder adoptar formas distintas, a voluntad del proyectista. Al colocarse en obra es una masa plástica que permite rellenar los moldes o formaleas, previamente construidos con una forma establecida.

## 7.7- Características mecánicas del concreto

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas del concreto utilizado.

Para superar este inconveniente, se "arma" el concreto introduciendo varillas de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de las columnas. Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado.

Introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado. Posteriormente, se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del concreto pretensado y el concreto postensado.

Los aditivos permiten obtener concreto de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del concreto.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento.

Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

## 7.8- Características físicas del concreto

Las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, son:

Densidad: en torno a  $2350 \text{ kg/m}^3$

Resistencia a compresión: de  $150$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$  ( $15$  a  $50 \text{ MPa}$ ) para el concreto ordinario.

Existen concretos especiales de alta resistencia que alcanzan hasta  $2000 \text{ kg/cm}^2$  ( $200 \text{ MPa}$ ).

### 7.8.1- Resistencia a tracción

Proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.

### 7.8.2- Tiempo de fraguado

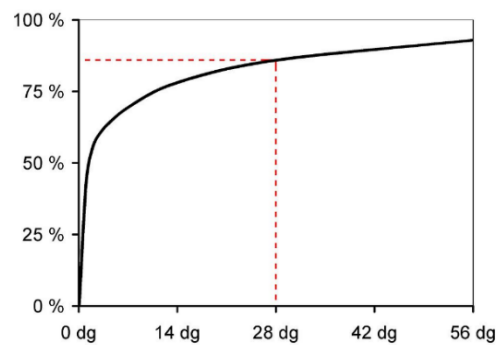
Dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.

### 7.8.3- Tiempo de endurecimiento

Este es progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros. De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana  $3/4$  partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo. Dado que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el concreto protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

## 7.9- Fraguado y endurecimiento

Diagrama indicativo de la resistencia (en %) que adquiere el concreto a los 14, 28, 42 y 56 días.



Fuente Cempro.

### 7.9.1- El proceso de fraguado y endurecimiento

Es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del concreto.

Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

En el cemento portland, el más frecuente empleado en los concretos, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación, el silicato bi cálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

### 7.10-El fenómeno físico de endurecimiento

Este no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides (Las partículas coloides tienen propiedades intermedias entre las disoluciones y las suspensiones químicas; se encuentran dispersas sin que estén unidas a las moléculas del disolvente y se sedimenta al dejarlas en reposo) que forman una película en la superficie del grano.

A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los vacíos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento. En la planta de concreto, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

En condiciones normales un concreto Portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 o 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de un concreto tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras referenciales.

Tabla 2 referencial de tiempo vs resistencia a compresión del concreto a edades tempranas.

Evolución de la resistencia a compresión de un concreto Portland normal					
Edad del concreto en días	3	7	28	90	360
Resistencia a compresión	0.40	0.65	1.00	1.20	1.35

Fuente Cemex México.

### 7.11-Consistencia del concreto fresco

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los vacíos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el concreto fresco.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con concreto fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia. Los concretos se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluido.

## 7.12-Durabilidad

Las presas de concreto son una tipología habitual en la construcción de embalses. La presa de Hoover construida en Estados Unidos en 1936 está diseñada con forma parabólica para optimizar la capacidad del concreto de soportar esfuerzos a compresión. La durabilidad del concreto es la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

### 7.12.1-Prueba de compresión

Por tanto, no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc.

Para garantizar la durabilidad del concreto y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un concreto con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al concreto.

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas.

## 7.13-Fabricación

Es muy importante conseguir la mezcla óptima en las proporciones precisas de áridos de distintos tamaños, cemento y agua. No hay una mezcla ideal que sirva para todos los casos. Para establecer la dosificación adecuada en cada caso se debe tener en cuenta la resistencia mecánica, factores asociados a la fabricación y puesta en obra, así como el tipo de ambiente a que estará sometido. Hay muchos métodos para dosificar previamente el concreto, pero son solo orientativos. Las proporciones definitivas de cada uno de los componentes se suelen establecer mediante ensayos de laboratorio, realizando correcciones a lo obtenido en los métodos teóricos.

### 7.14-Aspectos básicos de la fabricación

Se señalan brevemente los aspectos básicos que hay que determinar:

La resistencia característica ( $f_{ck}$ ) se fija en el proyecto. La selección del tipo de cemento se establece en función de las aplicaciones de su colocación (en masa, armado, pretensado, prefabricado, de alta resistencia, desencofrado rápido, colocado en tiempo frío o caluroso, etc.) y del tipo de ambiente a que estará expuesto.

El tamaño máximo del árido interesa que sea el mayor posible, pues a mayor tamaño menos agua necesitará ya que la superficie total de las piezas de áridos a rodear será más pequeña. Pero el tamaño máximo estará limitado por los espacios que tiene que ocupar el concreto fresco entre dos armaduras cercanas o entre una armadura y el encofrado.

La consistencia del concreto se establece en función del tamaño de los espacios que hay que rellenar en el encofrado y de los medios de compactación previstos.

La cantidad de agua por metro cúbico de concreto. Conocida la consistencia, el tamaño máximo del agregado y si la piedra es canto rodado o triturada, es importante establecer la cantidad de agua que se necesita.

La relación agua/cemento depende fundamentalmente de la resistencia del concreto, influyendo también el tipo de cemento y los agregados empleados. Conocida la cantidad de agua y la relación agua /cemento, determinamos la cantidad de cemento. Conocida la cantidad de agua y de cemento, el resto serán agregados.

Determinar la composición granulométrica del agregado, que consiste en determinar los porcentajes óptimos de los diferentes tamaños de áridos disponibles. Hay varios métodos, unos son de granulometría continua, lo que significa que interviene todos los tamaños de áridos, otros son de granulometría discontinua donde falta algún tamaño intermedio de árido. Determinada la dosificación

más adecuada, en la planta de concreto hay que medir los componentes, el agua en volumen, mientras que el cemento y agregados se miden en peso. Los materiales se amasan en mezcladora o amasadora para conseguir una mezcla homogénea de todos los componentes.

El agregado debe quedar bien envuelto por la pasta de cemento. Para conseguir esta homogeneidad, primero se vierte la mitad de agua, después el cemento y la arena simultáneamente, luego el árido grueso y por último el resto de agua.

Para el transporte al lugar de empleo se deben emplear procedimientos que no varíen la calidad del material, normalmente camiones mezcladora. El tiempo transcurrido no debe ser superior a hora y media desde su mezclado. Si al llegar donde se debe colocar el concreto, este ha empezado a fraguar debe desecharse.

## **7.15-Puesta en obra**

En el concreto armado se emplea habitualmente acero de alta resistencia de adherencia mejorada o varillas corrugadas. El corrugado está normalizado por la forma del resalto en el perímetro de la varilla, su altura, anchura y separación.

### **7.15.1-Colocación de armaduras**

Las armaduras deben estar limpias y sujetarse al encofrado o formaleta, y entre sí de forma que mantengan la posición prevista sin moverse en el vertido y compactación del concreto. Para ello se colocan tacos o distanciadores en número suficiente que permitan mantener la rigidez del conjunto.

Las distancias entre las diversas varillas de armaduras deben mantener una separación mínima que está normalizada para permitir una correcta colocación del concreto entre ellas de forma que no queden espacios o ratoneras durante la compactación del concreto.

De igual manera el espacio libre entre las varillas de acero y el encofrado, llamado recubrimiento, debe mantener una separación mínima, también normalizada, que permita el relleno de este espacio por el concreto. Este espacio se controla por medio de separadores que se colocan entre la armadura y el encofrado.

### **7.15.2-Encofrado**

El encofrado debe contener y soportar el concreto fresco durante su endurecimiento manteniendo la forma deseada sin que se deforme. Puede ser de madera o metálicos, se requiere que sean rígidos, resistentes, de origen accesible y limpios. En su montaje deben quedar bien sujetos de forma que durante la consolidación posterior del concreto no se produzcan movimientos.

Antes de reutilizar un encofrado debe limpiarse bien con cepillos de alambre eliminando los remanentes que se hayan podido adherir a la superficie. Para facilitar el desencofrado se suelen aplicar al encofrado productos desencofrantes; estos deben estar exentos de sustancias perjudiciales para el concreto.

### **7.15.3-Colocación y compactación**

El vertido del concreto fresco en el interior del encofrado debe efectuarse evitando que se produzca la segregación de la mezcla. Para ello se debe evitar verterlo desde gran altura, hasta un máximo de dos metros de caída libre y no se debe desplazar horizontalmente la masa.

Se coloca por capas horizontales de espesor reducido para permitir una buena compactación (hasta 40 cm en concreto en masa y 60 cm en concreto armado). Las distintas capas o se consolidan sucesivamente, trabando cada capa con la anterior con el medio de compactación que se emplee y sin que haya comenzado a fraguar la capa anterior.

Para conseguir un concreto compacto, eliminando orificios y para que se obtenga un completo cerrado de la masa, hay varios sistemas de consolidación. El picado con varilla, que se realiza introduciéndola sucesivamente, precisa concretos de consistencias blandas y fluidas y se realiza en obras de poca envergadura. La compactación por golpeo repetido de un apisonador se emplea en capas de 15 o 20 cm de espesor y mucha superficie horizontal. La compactación por vibrado es la habitual en concretos resistentes y es apropiada en consistencias secas.

El vibrador más utilizado es el de aguja, un cilindro metálico de 35 a 125 mm de diámetro cuya frecuencia varía entre 3.000 y 12.000 ciclos por minuto. La aguja se dispone verticalmente en la masa de concreto fresco, introduciéndose en cada bachada hasta que la punta penetre en la capa anterior y cuidando de no tocar las armaduras pues la vibración podría separar la masa de concreto de la armadura. Mediante el vibrado se reduce el aire contenido en el concreto sin compactar que se estima del orden del 15 al 20 % hasta un 2-3 % después del vibrado.

### 7.16-Curado

El curado es una de las operaciones más importantes en el proceso de puesta en obra por la influencia decisiva que tiene en la resistencia del elemento final. Durante el fraguado y primer endurecimiento se producen pérdidas de agua por evaporación, formándose espacios capilares en el concreto que disminuyen su resistencia. En particular el calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua incluso una vez compactado. Es preciso compensar estas pérdidas curando el concreto añadiendo abundante agua que permita que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de la resistencia.

Hay varios procedimientos habituales para curar el concreto. Desde los que protegen del sol y del viento mediante cerramientos móviles, plásticos; mediante riegos de agua en la superficie; la inmersión en agua empleada en prefabricación; los productos de curado aplicados por pulverización; los pulverizados a base de resinas forman una película que impide la evaporación del agua, se trata de uno de los sistemas más eficaces y más costosos.

### 7.17-Desencofrado y acabados

La retirada de los encofrados se realiza cuando el concreto ha alcanzado el suficiente endurecimiento. En los portland normales suele ser un periodo que oscila entre 3 y 7 días.

Una vez desencofrado hay que reparar los pequeños defectos superficiales normalmente orificios superficiales. Si estos defectos son de grandes dimensiones o están en zonas críticas resistentes puede resultar necesario la demolición parcial o total del elemento construido.

Es muy difícil que queden bien ejecutadas las aristas, por ello es habitual biselarlas antes de su ejecución. Esto se hace incorporando en las esquinas de los encofrados unos biseles.

### 7.18-Mezclado en sitio

El valor exacto de los tiempos mínimos de mezcladora varía con el tipo y tamaño de mezcladora que se esté usando, la tabla 1 muestra valores típicos de estos tiempos.

Capacidad de la mezcladora m<sup>3</sup>, Tiempo de mezclado, en minutos, según el American Concrete Institute ACI.

Capacidad de la mezcladora m <sup>3</sup>	Tiempo de mezclado, en minutos, según el American Concrete Institute
0.8	1
1.5	1 ¼
2.3	1 ½
3.1	1 ¾
3.8	2
4.6	2 ¼
7.6	3 ¼

Fuente: Neville. A.M., *Tecnología del Concreto*, Tomo II, IMCYC, Editorial Limusa, México D.F., 1988, pág. 46

Uno de los factores importantes en el mezclado son el tamaño del terciado en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas. No se debe mezclar durante un periodo largo o mayor de especificado pues habrá evaporación del agua de la mezcla, con la consecuente

disminución de trabajabilidad y aumento de la resistencia. Otro efecto secundario es la trituración de los agregados, especialmente si no son duros, la granulometría se vuelve más fina y la trabajabilidad menor.

Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correcto, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado del terciado sobre si misma a medida que se mezcla el concreto.

Tipos de mezcladoras de concreto y tipos de mezclado.

Capacidad de la mezcladora m <sup>3</sup>	Tiempo de mezclado, en minutos, según el American Concrete Institute
0.8	1
1.5	1 ¼
2.3	1 ½
3.1	1 ¾
3.8	2
4.6	2 ¼
7.6	3 ¼

Fuente ACI

La trabajabilidad.

Facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. Se denomina trabajabilidad, el concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos: Cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación Agua - Cemento cerca de la superficie, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se lleva a cabo las operaciones de acabado mientras está presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad, reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

### 7.19-Consolidación

La vibración pone en movimiento a las partículas dentro del concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado debidamente graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta en un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria, con una consolidación adecuada de las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado. El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

### 7.20-Hidratación

Tiempo de fraguado, endurecimiento la propiedad de liga de las pastas de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación. El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento Portland y son:



- El silicato tricálcico
- El silicato dicálcico
- El aluminato tricálcico
- El aluminio ferrito tetracálcico.

Además, de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el clinker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades, sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro.

Si todas las partículas de cemento fueran el promedio, el cemento Portland contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Portland tiene un área superficial aproximada de 400 metros cuadrados.

### 7.21-Los silicatos de calcio

Los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es por mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, - fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente depende del gel del hidrato de silicato de calcio, siendo esta la medula del concreto.

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO<sub>2</sub>), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos 3000 metros cuadrados por gramo. Las partículas son tan diminutas que solamente pueden ser vistas en microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto.

La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia. Cuando el concreto fragua su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable.

A un entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima Agua - Cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser considerable en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer.

El cemento Portland tipo 1 un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor.

El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad de terminada el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland.

Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

## **7.22-Concreto endurecido**

Curado húmedo

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras esté presente algo 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.

### **7.22.1-Velocidad de secado del concreto**

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta.

Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que esté seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se mencionó, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién vertido tiene agua abundante, pero a medida que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascamiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al secarse, del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, el ancho de las grietas es en función del grado del secado.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho más tiempo secarse.

Luego de 114 días de secado natural el concreto aún se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descendiera al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secados al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto. El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantienen una relación importante como la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial en relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas.

Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica, durabilidad.

### 7.23-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 por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa  $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ . El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento.

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 para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de  $240 \text{ kg}/\text{m}^3$ , a concretos pesados con pesos unitarios de  $6400 \text{ kg}/\text{m}^3$ , que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

### 7.24-Características estructurales

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas.

Para superar este inconveniente, se "arma" el concreto introduciendo barras de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero.

Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado.

Posteriormente, se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del concreto pretensado y el concreto postensado.

Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado.

Los aditivos permiten obtener concretos de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del mismo.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

## 7.25-Características físicas del concreto

Las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a  $2.350 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia a compresión: de 150 a  $500 \text{ kg/cm}^2$  (15 a 50 MPa) para el concreto ordinario. Existen concretos especiales de alta resistencia que alcanzan hasta  $2.000 \text{ kg/cm}^2$  (200 MPa).
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
- De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana 3/4 partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el concreto protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

### 7.25.1-Forma de partícula y textura superficial

Para producir un concreto trabajable, las partículas elongadas, angulares, 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 adherencia entre la pasta de cemento y un agregado generalmente aumenta a medida que las partículas cambian de lisas y redondeadas a rugosas y angulares.

### 7.25.2-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.

### 7.27.3-Peso específico

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionar miento de mezclas y control, por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado.

### 7.25.4-Absorción y humedad superficial

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determina de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

## 7.26-Proporcionamiento de mezclas de concreto normal

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que 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 propiedades siguientes:

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

### 7.26.1-Elección de las características de la mezcla

Con base en el uso que se propone dar al concreto, a las condiciones de exposición, al tamaño y forma de lo miembros, y a las propiedades físicas del concreto (tales como la resistencia), que se requieren para la estructura.

Relación entre la relación agua - cemento y la resistencia.

A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular nos tanto función de la relación agua - cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento. Actualmente, el concreto es el elemento más usado en el ámbito mundial para la construcción, lo que conlleva a la evolución de las exigencias para cada uso del mencionado elemento.

La demanda del concreto ha sido la base para la elaboración de los diferentes Diseños de Mezcla, ya que estos métodos permiten a los usuarios conocer no sólo las dosis precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla. Los Métodos de Diseño de mezcla están dirigidos a mejorar calificativamente la resistencia, la calidad y la durabilidad de todos los usos que pueda tener el concreto.

### **7.27-Cementos recomendables por sus efectos en el concreto**

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.
2. Las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente y del 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 adecuar los 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:

- Cohesión y manejabilidad
- Concreto Pérdida de revenimiento fresco
- Asentamiento y sangrado
- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Concreto Generación de calor endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que en otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables. No obstante, es conveniente conocer y tomar en cuenta todos los efectos previsibles en el concreto, cuando se trata de seleccionar el cemento apropiado para una obra determinada.

### **7.28-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 y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las formaletas.

Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto, por tanto, los cementos de mayor finura como el portland tipo III o los portland-puzolana serían recomendables en este aspecto.

Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto 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.

### 7.29-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 circunstanciales, 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 la obra, 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 estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

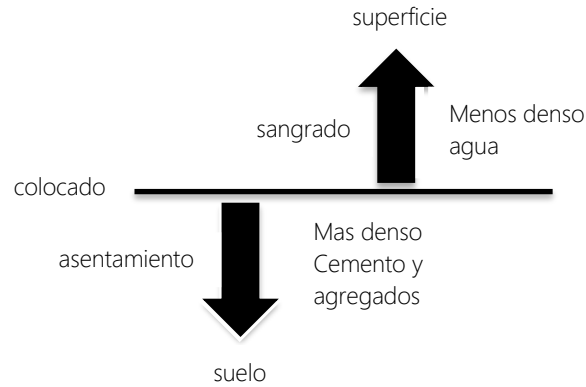
1. Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
2. El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
3. El uso de algunos aditivos reductores de agua y super fluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.
4. El empleo de cementos portland-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 ressecamiento prematuro provocado por la ausencia de agua de la puzolana.

En relación con esos dos últimos factores, lo conveniente es verificar oportunamente que exista compatibilidad entre el aditivo y el cemento de uso previsto y, en el caso del cemento portland-puzolana, realizar pruebas comparativas de pérdida de revenimiento con un cemento portland simple de uso alternativo.

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsecuente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del fenómeno de falso fraguado en el cemento. Para evitar esto último, es recomendable seleccionar un cemento que en pruebas de laboratorio demuestre la inexistencia de falso fraguado (endurecimiento rápido de una pasta de cemento Portland, mortero o concreto, sin desprendimiento apreciable de calor. La plasticidad se recupera continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua), o bien especificar al fabricante el requisito opcional de que el cemento no presente falso fraguado.

### 7.30-Asentamiento y sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio formateado, 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.



Elaboración propia.

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. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden interno, 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 o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores, para lo cual es conveniente:

1. Emplear mezclas de concreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura, y que posea el menor contenido unitario de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.
2. Utilizar agregados con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica; en especial, con un contenido de finos en la arena que cumpla especificaciones en la materia.
3. Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando no sea factible cumplir con la medida anterior.
4. Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de mayor finura, como el portland tipo III o los portland-puzolana. En relación con esta última medida, es un hecho bien conocido la manera como se reduce la velocidad de sangrado de la pasta al aumentar la superficie específica del cemento.

Sin embargo, existe el efecto opuesto ya mencionado en el sentido de que un aumento de finura en el cemento tiende a incrementar el requerimiento de agua de mezclado en el concreto. Por tal motivo, es preferible aplicar esta medida limitadamente seleccionando el cemento apropiado por otras razones más importante, y si se presenta problema de sangrado en el concreto, tratar de corregirlo por los otros medios señalados, dejando el cambio de cemento por otro más fino como última posibilidad.

Para fines constructivos se considera que el tiempo medido desde que se mezcla el concreto hasta que adquiere el fraguado inicial, es el lapso disponible para realizar todas las operaciones inherentes a la fundición hasta dejar el concreto colocado y compactado dentro del espacio encofrado. De esta manera, este lapso previo al fraguado inicial adquiere importancia práctica pues debe ser suficientemente amplio para permitir la ejecución de esas operaciones en las condiciones del trabajo en obra, pero no tan amplio como para que el concreto ya colocado permanezca demasiado tiempo sin fraguar, ya que esto acarrearía dificultades de orden técnico y económico.

La duración del tiempo de fraguado del concreto depende de diversos factores externos 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 cantidad derivadas del contenido unitario, la clase y la finura del cemento.

Así, por ejemplo, tienden a fraguar un poco más rápido:

- a) Las mezclas de concreto de alto consumo de cemento que las de bajo consumo.
- b) Las mezclas de concreto de cemento portland simple que las de cemento portland-puzolana las mezclas de concreto de cemento portland tipo III que las de portland tipo II.

Sin embargo, normalmente estas variaciones en el tiempo de fraguado son de poca significación práctica y no justifican hacer un cambio de cemento por este solo concepto.

Influencia del cambio de cemento en el proceso de fraguado de la seguido por medio de su resistencia eléctrica. Otro aspecto relacionado con la influencia del cemento sobre el tiempo de fraguado del concreto, se refiere al uso que frecuentemente se hace de aditivos con el fin de alargar ese tiempo en situaciones que lo requieren, como es el caso de las fundiciones de grandes volúmenes de concreto, particularmente cuando se realizan en condiciones de alta temperatura ambiental. Hay antecedentes en el sentido de que algunos aditivos retardadores del fraguado pueden reaccionar adversamente con ciertos compuestos del cemento, ocasionando una rigidez prematura en la mezcla que dificulta su manejo. Para prevenir este inconveniente, es recomendable verificar mediante pruebas efectuadas anticipadamente, el comportamiento del concreto elaborado con el cemento y el aditivo propuestos.

### 7.31-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 portland depende básicamente de la composición química del clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) 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 portland.

En cuanto a los cementos portland-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 clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue.

Tipo de cemento que su edad es recomendable para especificar emplea en el concreto la resistencia de proyecto:

- Portland III 14 ó 28 días
- Portland I, II y V 28 ó 90 días
- Portland-puzolana 90 días, o más.

En ausencia de cemento tipo III, puede emplearse cemento tipo I junto con un aditivo acelerante, previa verificación de su compatibilidad y efectos en el concreto, tanto en lo que se refiere a su adquisición de resistencia como a la durabilidad potencial de la estructura.



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.

### 7.32-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. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. La simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.

Consecuentemente con lo anterior, una de las medidas recomendables cuando se trata de construir estructuras voluminosas de concreto consiste en utilizar cementos que comparativamente generen menos calor de hidratación. En lo referente a los cementos portland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clinker 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. Por consiguiente, cuando se comparan en este aspecto dos cementos, uno portland y otro portland-puzolana elaborados con el mismo clinker, puede esperarse en el segundo una disminución del calor de hidratación por una cantidad del orden de la mitad del que produciría el clinker sustituido por la puzolana, si bien es recomendable verificarlo mediante prueba directa porque hay casos en que tal disminución es menor de lo previsto.

Para establecer un criterio de clasificación de los cementos portland en cuanto a generación de calor, es apropiado definir ciertos límites. Así, haciendo referencia al calor de hidratación a 7 días de edad, en el portland tipo IV que por definición es de bajo calor puede suponerse alrededor de 60 cal/g; en el extremo opuesto se ubica el portland tipo III con un calor del orden de 100 cal/g, ya medio intervalo se sitúa el portland tipo II sin requisitos especiales con un calor cercano a 80 cal/g, y al cual se le considera de moderado calor de hidratación.

### 7.33-Resistencia al ataque de los sulfatos

El concreto de cemento portland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino, por ejemplo:

#### 7.33.1-Ácidos inorgánicos

- Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico Rápido
- Fosfórico moderado
- Carbónico lento

#### 7.33.2-Ácidos orgánicos

- Acético, fórmico, lácteo Rápido
- Tánico Moderado
- Oxálico, tartárico Despreciable

#### 7.33.3-Soluciones alcalinas

- Hidróxido de sodio > 20\ Moderado
- Hidróxido de sodio 10-20\, hipoclorito de sodio Lento
- Hidróxido de sodio < 10\, hidróxido de amonio Despreciable

#### 7.33.4-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

#### 7.33.5-Despreciables

Diversas:

- Bromo (gas), solución de sulfito moderado
- Cloro (gas), agua de mar, agua blanda - Lento
- Amonio (líquido) Despreciable.

Las soluciones alcalinas pueden ocasionar reacciones del tipo álcali agregado, en concretos con agregados reactivos con los álcalis. En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcico (C3A) es el compuesto del cemento portland que puede reaccionar con los sulfatos externos para dar Bulfoaluminato 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 portland con moderado o bajo contenido de C3A, 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 portland-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. Hay desde luego abundante información acerca del buen comportamiento que en este aspecto manifiestan los cementos de escoria de alto horno y los aluminosos, pero que no se producen en el país.

#### 7.34-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.

#### 7.35-Estabilidad química

De tiempo atrás se reconoce que ninguna mezcla es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque, contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas 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:

#### 7.36-Reacciones perjudiciales

##### 7.36.1-Álcali-sílice

Es aquella que se produce entre fórmulas de sílice reactiva presente en los agregados y álcalis contenidos en la disolución intersticial del concreto, de esta reacción química se obtiene como producto de reacción un gel, que, al embeber agua, expande produciendo la fisuración del concreto.

### 7.36.2-Álcali-agregado Álcali-silicato

La combinación del cemento con el agua en el concreto, genera un ambiente altamente alcalino, donde las partículas del agregado se encuentran inmersas, en estas condiciones algunos agregados reaccionan químicamente con los materiales en contacto, dando lugar a un gel que al absorber agua se expande y crea presiones capaces de desintegrar el concreto, causando deterioro prematuro en las estructuras.

### 7.36.3-Álcali-carbonato

Una reacción álcali-carbonato es una reacción entre los álcalis (sodio y potasio) del cemento portland y ciertas rocas carbonatadas, particularmente la dolomita calcítica y las calizas dolomíticas, presentes en algunos agregados; los productos de la reacción pueden provocar la expansión o fisuración anormal del concreto.

### 7.37-Diseño de Mezcla

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados. Existen diferentes métodos de Diseños de Mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

En oportunidades no es necesario tener exactitud en cuanto a las proporciones de los componentes del concreto, en estas situaciones se frecuente el uso de reglas generales, lo que permite establecer las dosis correctas a través de recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado para estos casos.

### 7.38-Diseños elementales

#### 7.38.1-Diseño Único

Una parte en volumen de agregado grueso, por una parte, de arena y media parte de cemento, agua necesaria para mantener la trabajabilidad. El agregado grueso varía entre piedra picada, grava, canto rodado picado o canto rodado natural, mientras que la arena puede ser natural o de trituración.

La dosis de cemento puede ser medida a través de sacos enteros y medio saco si se cuenta con la experiencia necesaria.

#### 7.38.2-Receta ampliada

Se deben tomar en consideración las características más importantes de los agregados, la granulometría y el tamaño máximo. Con respecto a la granulometría solo se deben usar piedras o arenas balanceadas en sus diferentes tamaños de granos, sin exceso o ausencia. Existen tres alternativas correspondientes al tamaño máximo que se vaya a usar. El agua debe aplicarse con una cantidad tal que se mantenga la trabajabilidad, y la colocación de moldes y formaletas.

Esta dosis debe ser lo más precisa posible ya que un exceso de agua disminuye la resistencia, por ello los encargados de esta tarea deben tener experiencia mínima exigida.

Es necesario disponer de un procedimiento detallado, preciso y complejo para obtener resultados óptimos en cuanto a cantidades y proporciones de los componentes del concreto se refiere, así existe la posibilidad de tomar en cuenta los posibles cambios que afectan las características de los componentes, incrementando así mayores índices de calidad.

Algunos métodos son probados en laboratorio y en plantas de preparación comercial, el que se mencionará a continuación dio excelentes resultados y es muy usado en el caso del empleo de agregados pocos controlados.

Se basa en cuatro aspectos fundamentales:

- dosis de cemento,
- trabajabilidad,
- relación agua/cemento,
- resistencia

Todos estos fundamentos se relacionan a través de dos leyes: Relación Triangular y la Ley de Abrams.

También toma en cuenta dos variables importantes: Tamaño Máximo y Tipos de Agregados, además de explicar la calidad del cemento y el efecto reductor del agua de los aditivos químicos en su parte final; la incorporación de aire, la presencia elevada de ultra finos o el empleo de dos o más agregados.

El método explica de forma independiente la proporción entre agregado fino y grueso, también la granulometría del agregado combinado lo que permite cambiar dicha proporción sin alterar la dosis de los demás componentes. Este método es usado para mezcla con resistencias entre los 18 y 42 Mpa, a los 28 días en probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, también es usado para concretos con asentamiento en Cono de Abrams entre 2.5 y 13 cm, este método no es el más apropiado para las mezclas ultrarresistentes.

### 7.39-Cálculo de la proporción entre agregados finos y gruesos

Un determinado tipo de agregado fino se combina con algún agregado grueso, para dar origen a la mezcla, la granulometría de ambos agregados es conocidos previamente. En la parte interna de la mezcla actúa una combinación de agregados, que va desde la partícula más gruesa del agregado hasta la más fina de la arena. La granulometría debe estar dentro de los límites correspondientes, solo así se puede esperar un buen resultado de la mezcla, tanto en el aspecto de calidad como en el aspecto económico.

### 7.40-Datos para el Diseño de Mezcla

Se refiere a las variables tomadas en cuenta dentro del diseño, probablemente una de las variables sea común dentro de todos los métodos debido a que son de suma importancia, las restantes establecen la diferencia entre cada método.

La información básica del método está constituida por los datos de entrada, gracia a ellas se puede llegar a la dosificación esperada. Los datos de entrada son:

- Lugar de la obra, o condiciones ambientales.
- Tipo de obra, o parte de la estructura.
- Tipo de agregados y tipo de cemento.
- Resistencia de diseño o algún dato relacionado.

### 7.41-El asentamiento

Es considerado en algunos métodos como dato de entrada, mientras que en otro se selecciona de alguna tabla, con relación al tipo de elemento estructural al que se destine la mezcla próxima a diseñar.

#### 7.41.1-Valores usuales de asentamiento

#### 7.42.2-Ley de Abrams

Como resultado de un extenso trabajo en el Instituto Lewis, de la Universidad de Illinois, en 1918, Duff Abrams planteo su conocida ley, en la cual, para los mismos materiales y condiciones de ensayo, la resistencia de un concreto completamente compactado a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua/cemento, Abrams propuso la siguiente expresión donde:

$w/c$  = relación agua/cemento

K1 y K2= Constantes empíricas, dependientes de la calidad y tipo de cemento.

Según la ley de Abrams la relación agua/cemento determina la porosidad de la pasta de cemento endurecida en cualquiera de sus etapas de hidratación, lo cual es cierto, sin embargo, la ley de Abrams asume implícitamente que el volumen de cavidades en el concreto también depende de esta, lo cual no es cierto, pues el volumen de vacíos en la pasta y el concreto es determinada por las diferentes características de los componentes de la mezcla.

### 7.42.3-Aplicación de la ley de Abrams

Ha sido muy usada para predecir con cierta exactitud la relación agua/cemento que producirá un concreto de una resistencia específica, y es utilizada en varios métodos de diseño de mezcla para predecir esta característica, sin embargo para los concretos con bajas relaciones agua cemento, la ley de Abrams no cumple con su objetivo, para resistencias que superan los 450 Kg/cm<sup>2</sup>, la naturaleza de la resistencia a la compresión es tal que interactúan en esta el conjunto de los componentes del concreto por lo cual, no solo la relación agua cemento la define.

Esta ley establece la relación entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento.

= a/c donde a es la cantidad de agua en litro o en Kg, y c la dosis de cemento en Kg.

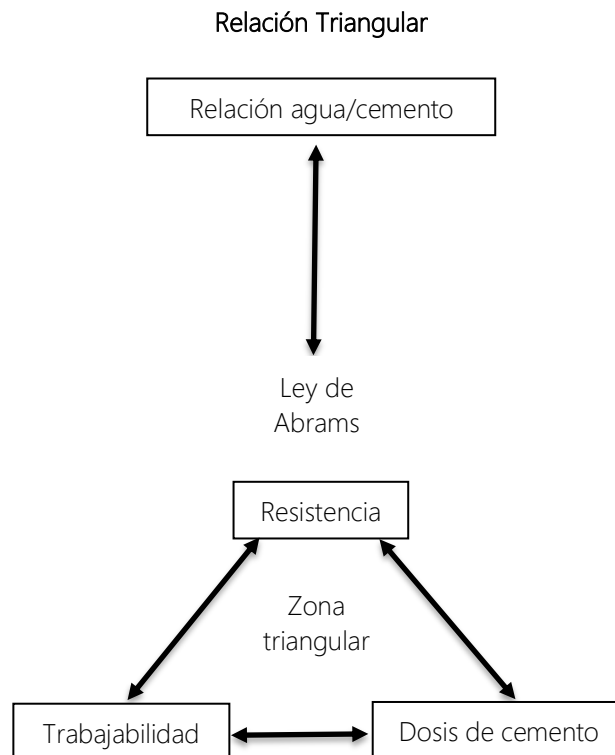
Una forma de representar la Ley de Abrams es:

$$R = M / N$$

Donde R es la resistencia media, M y N son constantes que dependen de las características de los materiales, edad del ensayo y la forma de llevarlo a cabo.

Es la unión que relaciona la trabajabilidad, medida con el Cono de Abrams, la relación agua/cemento y dosis de cemento.

Esta ley no se utiliza en otros métodos de diseño de mezcla conocido.



#### 7.42.4-Aire atrapado

A pesar de que el concreto tenga una compactación de primera por efecto de vibración, siempre queda una pequeña cantidad de aire, representado por la letra V.

$V = C/P$  en litros/m, C es la dosis de cemento y P el tamaño máximo. Volumen Absoluto de los granos de cemento

Se obtiene al dividir la dosis de cemento entre su peso específico.

Se representa con la letra a.

$a = C$ . en Kg/m

#### 7.42.5-Volumen absoluto de los agregados

Resulta al dividir la dosis de cada uno entre su peso específico en su estado de agregado saturado con superficie seca. Se simboliza como agregado grueso y para el fino.

Ecuación de volumen y cálculo de la dosis de agregados.

$$G + A + 0.3C + a + V = 1000$$

$g+a$  = Se refiere a los agregados finos y grueso con granulometría definida, para calcular los pesos de cada uno de los agregados, se despeja G + A y se combina con la expresión de la relación.

AG + A Por medio de esta fórmula es posible calcular los pesos de cada agregado, con este cálculo culmina el diseño.

#### 7.43-Diseños Inversos

Son los diseños que se desarrollan en forma contraria a los comunes, el más usual es el de averiguar qué resistencia se podrá obtener con materiales determinados con cierto asentamiento y una dosis de cemento donde solo es necesario usar la parte superior del esquema.

Las variables que intervienen en los diseños de mezcla no tienen gran precisión ni teórica ni práctica, por ello solo deben tomarse en cuenta tres o cuatro cifras significativas. Existen otras variables que influyen en el diseño de mezcla, calidad del cemento y aditivos reductores del agua.

##### 7.43.1-Corrección por humedad

El método de diseño expuesto ha considerado la humedad de los agregados como condición ideal de saturados con superficie seca, en la que el material ni sede ni toma agua de la mezcla. Los agregados pueden estar en cualquier condición de humedad lo que afecta la cantidad de agua que se debe usar, con el fin de mantener las proporciones reales del diseño.

A pesar de que el diseño de mezcla haya sido bien hecho las variables pueden desviar el resultado esperado, por lo que siempre se recurre a la mezcla de prueba, ya sea en laboratorio o en la obra.

Ejemplo de diseño de mezcla

Diseño: se requiere un concreto de alta resistencia para una pared, de sección pequeña, bastante reforzada, por todo esto, con dificultades de vibración.

Solución

•Este caso es típico para el empleo de aditivos súper plastificantes de alto poder.

•Se utiliza una elevada dosis de cemento, tal como 12 sacos de cemento por metro cúbico, con un aditivo que tenga una capacidad de reducción de agua del 35%, y yendo al máximo al asentamiento que es de 20 cm, y sin tomar en cuenta los factores de corrección, se tendría:

$$C = 12 (42.5) = 510 \text{ Kg/m.}$$

$$= 0.466.$$

$$f = 1.538.$$

$$= 0.303.$$

$$R28 = 46.0 \text{ Mpa.}$$

- Un concreto totalmente autonivelante exigiría una fluidez mayor que la propuesta con 20 cm de asentamiento, y por tanto tendría resistencias menores. Su consideración cae fuera del propósito de este método de diseño de mezcla.
- Con asentamientos nulos es evidente que se podría obtener resistencias más altas, pero su estudio queda fuera de propósito de este método de diseño de mezcla.
- Mediante de aditivos superplastificantes de alto rango también sería posible obtener resistencias más altas, pero dado que trabajan con alto nivel de asentamiento y grado de fluidez, no sería factible obtener suficientes rigideces a muy corto plazo, capaces de permitir un rápido de desencofrado para el re uso intensivo de los moldes.

#### 7.44-Fraguado y endurecimiento

La pasta del concreto se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del concreto.

Posteriormente, continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales (disgregado en un líquido, aparece como disuelto por la extremada pequeñez de sus partículas) que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los vacíos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas.

En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento. En la planta de concreto, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

##### 7.44.1-En condiciones normales

Un concreto portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.

En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de concreto tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras orientativas:

Evolución de la resistencia a compresión de un concreto Portland normal						
Edad del Concreto en días	3	7	28	90	360	
Resistencia a compresión	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35	

Fuente Cemex

## 7.45-Resistencia

Para comprobar que el Concreto colocado en obra tiene la resistencia requerida se rellenan con el mismo concreto unos moldes cilíndricos normalizados (testigos) y se calcula su resistencia en un laboratorio realizando ensayos de rotura a compresión. La resistencia característica (fck: valor que se adopta para la resistencia a compresión en los cálculos del proyecto) del concreto es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el concreto que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

### 7.45.1-Limite de resistencia

Característica de proyecto (fck) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada terciada de concreto colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los concretos que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a fck, considerándose que, con el nivel actual de la tecnología del concreto, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

La resistencia del concreto a compresión se obtiene en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra.

## 7.46-Consistencia del concreto fresco

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.

### 7.46.1-La consistencia

Se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el Concreto fresco. Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con Concreto fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura.

La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia.

### 7.46.2-Clasificación de los concretos por su consistencia

Secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica a continuación:

Consistencia de los concretos frescos

Consistencia Asiento en cono de Abrams (cm) Compactación

Seca 0-2 Vibrado

Plástica 3-5 Vibrado

Blanda 6-9 Picado con varilla

Fluida 10-15 Picado con varilla

Líquida 16-20 Picado con varilla

## 7.47-Tipos de concreto

Los concretos están tipificados según el siguiente formato refiriéndose de esta forma en los planos y demás documentos de proyecto, así como en la fabricación y puesta en obra:

Concreto T – R / C / TM / AT: se denominará CM cuando sea Concreto en masa, CA cuando sea Concreto armado y CP cuando sea Concretos pretensado.

R: resistencia característica del Concreto expresada en N/mm<sup>2</sup>.

C: letra inicial del tipo de consistencia: S Seca, P plástica, B Blanda, F Fluida y L Líquida.

TM: tamaño máximo del árido expresado en milímetros.

A: designación del ambiente a que estará expuesto el Concreto.



#### **7.47.1-Concreto ordinario**

También se suele referir a él denominándolo simplemente concreto. Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con piedrín y arena.

#### **7.47.2-Concreto en masa**

Es el concreto que no contiene en su interior armaduras de acero. Este concreto solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.

#### **7.47.3-Concreto armado**

Es el concreto que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este concreto es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el concreto más habitual.

#### **7.47.4-Concreto pretensado**

Es el concreto que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el concreto fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el concreto ha adquirido su resistencia.

#### **7.47.5-Mortero**

Es una mezcla de cemento, agua y arena (agregado fino), un concreto normal sin agregado grueso.

#### **7.47.6-Concreto ciclópeo**

Es el concreto que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.

#### **7.47.7-Concreto sin finos**

Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).

#### **7.47.8-Concreto aireado o celular**

Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un concreto baja densidad.

#### **7.47.9-Concreto de alta densidad**

Fabricados con agregados de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...) El Concreto pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

#### **7.48-Resistencia a congelación y deshielo**

Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo más destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo, particularmente cuando se encuentra con la presencia de agentes químicos des congelantes.

El deterioro provocado por el congelamiento del agua en la pasta, en las partículas del agregado o en ambos.

Con la inclusión de aire es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua se desplaza por la formación de hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

Cuando la congelación ocurre en un concreto que contenga agregado saturado, se pueden generar presiones hidráulicas nocivas dentro del agregado. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión.

Sin embargo, bajo casi todas las condiciones de exposición, una pasta de buena calidad (de baja relación Agua - Cemento) evitara que la mayor parte de las partículas de agregado se saturen. También, si la pasta tiene aire incluido, acomodara las pequeñas cantidades de agua en exceso que pudieran ser expulsadas por los agregados, protegiendo así al concreto contra daños por congelación y deshielo.

(1): El concreto con aire incluido es mucho más resistente a los ciclos de congelación y deshielo que el concreto sin aire incluido,  
(2): el concreto con una relación Agua - Cemento baja es más durable que el concreto con una relación Agua -Cemento alta,  
(3) un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y el deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y el deshielo del concreto con aire incluido, pero no beneficia de manera significativa al concreto sin aire incluido. El concreto con aire incluido con una relación Agua - Cemento baja y con un contenido de aire de 4% a 8% soportara un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas.

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de ensaye de laboratorio ASTM C 666, " Estándar Test Methodfor Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing".

A partir de la prueba se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo requeridos para producir una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascara miento provocado por compuestos des congelantes se puede determinar por medio del procedimiento ASTC 672 "Estándar Test Methodfor Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals".

#### 7.49-Permeabilidad y hermeticidad

El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles.

La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u atrás sustancias (liquido, gas, iones, etc.). Generalmente, las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético. La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la restauración, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

La permeabilidad también afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque la pasta recubre a todos los componentes del concreto. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua - Cemento y del agregado de hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación Agua - Cemento baja y un periodo de curado húmedo adecuado. Inclusión de aire ayuda a la hermeticidad, aunque tiene un efecto mínimo sobre la permeabilidad aumenta con el secado.

La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantuvo continuamente rangos de humedad de  $0.1 \times 10^{-12}$  cm por segundo. para relaciones Agua - Cemento que variaban de 0.3 a 0.7. La permeabilidad de rocas comúnmente utilizadas como agregado para concreto varía desde aproximadamente  $1.7 \times 10^{-9}$  hasta  $3.5 \times 10^{-13}$  cm por segundo. La permeabilidad de un concreto maduro de buena calidad es de aproximadamente  $1 \times 10^{-10}$  cm por segundo.

Una relación Agua - cemento baja y un periodo de curado reducen permeabilidad de manera significativa.

Las relaciones Agua - Cemento bajas también reducen la segregación y el sangrado, contribuyendo adicionalmente a la hermeticidad. Para ser hermético, el concreto también debe estar libre de agrietamientos y de vacíos.

Ocasionalmente el concreto poroso, concreto sin finos que permite fácilmente el flujo de agua a través de sí mismo se diseña para aplicaciones especiales. En estos concretos, el agregado fino se reduce grandemente o incluso se remueve totalmente produciendo un gran volumen de vacíos de aire. El concreto poroso ha sido utilizado en canchas de tenis, pavimentos, predios para estacionamientos, invernaderos estructuras de drenaje. El concreto excluido de finos también se ha empleado en edificios a sus propiedades de aislamiento térmico.

### 7.50-Resistencia al desgaste

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación Agua - Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste.

El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resistente más el desgaste que una que no lo ha sido. Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (ASTM 779). Se dispone también de otros tipos de ensayos de resistencia a la abrasión (ASTM C418 y C944).

### 7.51-Estabilidad volumétrica

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilata ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua.

La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg por metro cúbico.

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

### 7.52-Control de 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, cambios de temperatura en condiciones de restricción.

#### 7.52.1-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 predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas. La contracción por el secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie con lo que se pueden producir agrietamientos. Otras causas de restricción son el acero de refuerzo embebido en el concreto, las partes de una estructura interconectadas entre sí, y la fricción de la su rasante sobre la cual va colocado el concreto.

### 7.52.2-Las juntas

Son el método más efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietará de manera aleatoria.

Las juntas de control se ranuran, se forman o se cortan en banquetas, calzadas, pavimentos, pisos y muros de modo que las grietas ocurran en esas juntas y no aleatoriamente. Las juntas de control permiten movimientos en el plano de una losa o de un muro. Se desarrollan aproximadamente a un cuarto del espesor del concreto. Las juntas de separación aíslan a una losa de otros elementos de otra estructura y le permiten tanto movimientos horizontales como verticales. Se colocan en las uniones de pisos con muros, columnas, bases y otros puntos donde pudieran ocurrir restricciones. Se desarrollan en todo el espesor de la losa e incluyen un relleno pre moldeado para la junta.

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación, y funcionan también como estas últimas.

### 7.53-Consistencia del concreto premezclado

En estado fresco y sus tolerancias, según ASTM C94

Otro término para caracterizar el estado plástico es la consistencia, aunque está relacionada con el concepto de manejabilidad, no es un sinónimo. En términos generales, la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla.

El ensayo más común empleado para caracterizar la consistencia del concreto, es el ensayo de asentamiento (norma ASTM C 143). Este ensayo se debe realizar dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra y la prueba deberá completarse en 2.5 minutos, debido a que el concreto pierde asentamiento con el tiempo.

Debido a que el ensayo de asentamiento es ampliamente usado en todo el mundo, por su simplicidad y rapidez, el ensayo cuenta con las siguientes tolerancias de aceptación según la *Norma ASTM C 94*:

A menos que se incluyan otras tolerancias en las especificaciones del proyecto, deben aplicarse las siguientes:

- Cuando las especificaciones del proyecto para asentamiento se señalen como requerimiento "máximo" o "no exceder"
- Asentamiento Especificado  
3" (7.6 cm.) o menos más de 3" (7.6 cm.)
- Tolerancia mayor: 0
- Tolerancia menor: 1 ½" (3.8 cm.) 2 ½" (6.3 cm.)

Esta opción es para usarse solo si se permite una adición de agua en la obra, se es que dicha adición no incrementa la relación agua-cemento por encima del máximo permitido por las especificaciones.

- Cuando las especificaciones del proyecto para el asentamiento "no" son señaladas como requerimiento "máximo" o "no exceder"

Tolerancia para Asentamientos Nominales

Para un asentamiento especificado de:

Tolerancia

2" (5.1 cm.) y menos + ½" (1.3cm.)

Más de 2" y hasta 4" (5.1 a 10.2 cm.) + 1" (2.5 cm.)

Más de 4" (10.2 cm.) + 1 ½" (3.8 cm.)

- El concreto debe estar disponible dentro del rango de asentamiento permisible durante el periodo de 30 minutos a partir de su arribo a la obra o después del ajuste inicial de asentamiento permitido. El primer y último metro cúbico que se descarguen está exentos de este requisito.
- Si el usuario no está disponible para la descarga de concreto del vehículo, el fabricante no será responsable de la limitación de asentamiento mínimo después de que hayan transcurrido los 30 minutos a partir del arribo del vehículo a su destino previsto o partir de la hora de entrega deseada, lo que ocurra en el segundo término.

## 7.54-El cono de Abrams

*Norma Guatemalteca NTG – 41017 h4*

Método de ensayo.

Determinación del asentamiento del concreto hidráulico

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C 143-08.

Es un instrumento metálico que se utiliza en el ensayo que se le realiza al concreto en su estado fresco para medir su consistencia ("fluidez" o "plasticidad" del concreto fresco).

Este método de ensayo comprende la determinación del asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.

Los valores especificados en unidades SI ó en pulgada-libra, deben considerarse separadamente como los estándares. Dentro del texto, las unidades pulgada-libra, se presentan entre paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por esto, cada sistema debe utilizarse independiente del otro.

El ensayo consiste en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de concreto colocada en su interior. Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del cono de concreto mediante golpes laterales con la varilla.

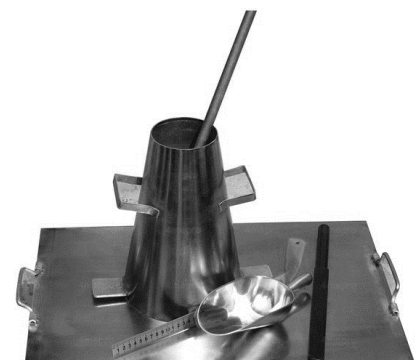
Este método de ensayo se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37.5 mm (1 ½ pulgadas) de tamaño. Si el tamaño de partícula del agregado grueso es mayor de 37.5 mm (1 ½ pulgadas), el método de ensayo es aplicable en la fracción del concreto que pasa la malla de 37.5 mm (1 ½ pulgadas), con la eliminación de los tamaños mayores, de acuerdo con la sección intitulada, "Procedimiento adicional para concreto con agregado de tamaño máximo grande de la Norma NTG – 41057, C 172".

Este método de ensayo no se considera aplicable a los concretos no plásticos y no cohesivos.

### 7.54.1-Molde

El espécimen de ensayo debe hacerse en un molde metálico que no reaccione fácilmente con la pasta de cemento. La lámina no debe tener un espesor menor de 1.5 mm (0.060 pulgada) y si se forma con el proceso de rolado, en ningún punto del molde el espesor será menor de 1.15 mm (0.045 de pulgada). El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con la base de 200 mm (8 pulgadas) de diámetro.

la parte superior de 100 mm (4 pulgadas) de diámetro, y la altura de 300 mm (12 pulgadas). Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia de  $\pm 3$  mm (1/8 de pulgada) de las dimensiones especificadas. La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre sí y formar ángulo recto con el eje longitudinal del cono.



Fuentes: Imagen 4 Pro España

El molde debe tener estribos para apoyar los pies y asas similares a las que se muestran en la figura 7. 1.

El molde debe construirse sin costuras. El interior del molde debe estar relativamente liso y libre de imperfecciones. También debe estar libre de abolladuras, deformaciones o mortero adherido.

Puede aceptarse un molde que esté sujeto a una placa de base no absorbente, en lugar del ilustrado, siempre y cuando el sistema de fijación sea tal que pueda liberarse y que la base sea lo bastante grande para contener todo el concreto asentado en un ensayo aceptable.

#### **7.54.2-Molde para ensayo del asentamiento**

Debe verificarse y registrarse la conformidad con las dimensiones especificadas del molde al comprarse o cuando se pone en servicio por primera vez, y al menos cada año a partir de entonces.

#### **7.54.3-Molde fabricado con materiales alternativos**

Pueden permitirse otros moldes diferentes al metálico si se satisfacen los requisitos siguientes: El molde debe cumplir con la forma, altura y requisitos de las dimensiones internas. Debe ser lo suficientemente rígido para mantener durante su uso las dimensiones y tolerancias especificadas, deber ser resistente para soportar impactos y, además, de material no absorbente.

El molde debe demostrar que proporciona resultados comparables a los que se obtengan al usar un molde metálico que reúna los requisitos. La comparación debe demostrarla a favor del fabricante, un laboratorio de ensayos independiente.

#### **7.55-Los ensayos comparativos**

Deben consistir de no menos de 10 pares consecutivos de comparaciones individuales realizadas en tres concretos con asentamientos diferentes, comprendidos en el intervalo de 50 mm (2 pulgadas) a 200 mm (8 pulgadas) (ver nota 1). Ningún resultado de ensayo individual debe variar en más de 13 mm (0.50 de pulgada) respecto a los que se obtuvieron usando el molde metálico. Los promedios resultantes de los ensayos de cada rango de asentamiento obtenidos utilizando el molde fabricado con una cada material alternativo, no deben variar por más de 6 mm (1/4 de pulgadas) respecto al promedio de los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas usando el molde de metal.

Los datos del ensayo de comparabilidad del fabricante deben estar disponibles para los usuarios y las autoridades de inspección de laboratorio (ver Nota 3). Cualquier cambio en el material o método de fabricación obligará a repetir los ensayos de comparación.

Nota 1. - La frase "pares consecutivos de comparaciones" no significa sin interrupción o todo en un día. En un programa seleccionado por la entidad de los ensayos, los pares de ensayos que llevan a los 10 pares consecutivos pueden llevarse a cabo en pequeños grupos. La palabra consecutivo evita que se ignoren los pares de resultados que no cumplan con los criterios establecidos.

Nota 2. – Debido a que el asentamiento del concreto disminuye con el tiempo y con las temperaturas más altas, será ventajoso para los ensayos de comparación que sean realizados alternando el uso de conos metálicos y conos de materiales alternativos, utilizar a varios técnicos, y minimizar el tiempo entre los procedimientos de ensaye.

Si se sospecha que la condición de cualquier molde individual esta fuera de tolerancia con relación a la condición de cuando se fabricó, debe realizarse un solo ensayo comparativo. Si los resultados del ensayo difieren por más de 13 mm (0.50 de pulgada) del obtenido con el molde de metal, el molde se retirará de servicio.

#### **7.56-Varilla Apisonadora**

Debe ser una varilla de acero recta, de sección circular de 16 mm (5/8 de pulgada)  $\pm$  2 mm (1/16 pulgada) de diámetro. La longitud de la varilla debe ser de por lo menos 100 mm (4 pulgadas) mayor que la profundidad del molde en el que se hará la compactación, pero no mayor que 600 mm (24 pulgadas) en total (ver nota 3).

La tolerancia en longitud para la varilla apisonadora debe ser de  $\pm$  4 mm (1/8 de pulgada). La varilla debe tener el extremo de apisonar o ambos extremos redondeados en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

NOTA 3 – Una varilla con una longitud de 400 mm (16 pulgadas) a 600 mm (24 pulgadas) cumple con los requisitos de las siguientes normas: Práctica C 31/C31M, método de ensayo: C 138/C138M, Método de ensayo C 143/C143M, Método de ensayo C 173/C173M y Método de ensayo C 231.

Dispositivo de medición. Una regla, una cinta metálica enrollable para medir, o un instrumento similar de medición rígido o semirrígido marcado en incrementos de 6 mm (¼ pulgada) o más pequeños. La longitud del instrumento debe ser de por lo menos 300 mm (12 pulgadas).

Cucharón. De un tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de la muestra, sea representativa y suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el molde.

### **7.57-Muestra**

La muestra de concreto para elaborar los especímenes de prueba debe ser representativa de toda la amasada preparada. Debe obtenerse de acuerdo con la práctica C 172.

#### **7.57.1-Procedimiento**

Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde debe ser mantenido firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro, por el operador parado, sobre los estribos, o por un dispositivo de sujeción a una placa de base como se describió anteriormente.

De la muestra de concreto obtenida, inmediatamente llene el molde en tres capas, cada una de aproximadamente 1/3 del volumen del molde (ver Nota 4). Colocar el concreto en el molde usando un cucharón descrito. Mueva el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación.

Nota 4 – Un tercio del volumen del molde de asentamiento se llena a la altura de 70 mm (2 5/8 de pulgada); dos tercios del volumen se llenan a una altura de 160 mm (6 1/8 de pulgada).

Varillar cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro.

Varillar la capa del fondo en todo su espesor. Consolidar la segunda capa y la capa superior (última capa) en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior en aproximadamente 25 mm (1 pulgada). Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que está varillando y en la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 pulgada).

Al llenar y varillar la capa superior (última capa), hacer que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillar. Si durante el varillado, la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, agregar más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre la superficie del molde. Después de haber varillado la última capa, emparejar la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento.

Continuar sosteniendo el molde firmemente hacia abajo y remueva el concreto del área que rodea la base del molde para evitar la interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando. De inmediato retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde una altura de 300 mm (12 pulgadas) en  $5 \pm 2$  segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión.

La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo de 2 ½ minutos.

De inmediato medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el desprendimiento de una parte de la masa de concreto (Nota 5), desechar la prueba y hacer una nueva prueba con otra porción de la muestra.

Nota 5 – Una varilla con una longitud de 400 mm (16 pulgadas) a 600 mm (24 pulgadas) cumple con los requisitos de las siguientes normas: Práctica C 31/C31M, método de ensayo: C 138/C138M, Método de ensayo C 143/C143M, Método de ensayo C 173/C173M y Método de ensayo C 231.

Si dos ensayos consecutivos en una misma muestra de concreto presentan un desplome, caída o desprendimiento de una porción de la masa de concreto del espécimen, probablemente a dicho concreto le falta plasticidad y cohesión necesaria para que la prueba de asentamiento sea aplicable.

### 7.58-Informe

Registrar el asentamiento del espécimen, en milímetros con aproximación de 5 mm ó en pulgadas, al ¼ pulgada más cercano.

#### Precisión y sesgo

Precisión. Las estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en resultados de las pruebas realizadas en Fayetteville, Arkansas, por 15 técnicos de 14 laboratorios que representaban a tres estados. Todos los ensayos a tres diferentes rangos de asentamiento, de 25 mm (1.0 pulgada) a 160 mm (6.5 pulgadas), se realizaron usando una carga de concreto mezclado en el camión.

El concreto fue entregado y aprobado a un bajo asentamiento, al que luego se le agregaba agua y se mezclaba con el concreto remanente, para producir independientemente concreto con asentamiento moderado, y finalmente concreto de alto asentamiento. La mezcla de concreto que usó un agregado de piedra caliza triturada número 67 y arena de río lavada, contenía 500 lb., de materiales cementantes por yarda cúbica (297 Kg.) de material cementante por metro cúbico). Los 227 kg (500 lb) se dividieron igualmente entre un cemento C 150, Tipo I/II y una ceniza volante Clase C.

Se usó una dosis doble de un retardante químico en un intento por minimizar las pérdidas de asentamiento y mantener la trabajabilidad del concreto. Las temperaturas del concreto variaban desde 30°C (86°F) a 34°C (93° F).

Las pérdidas de asentamiento promediaron 17 mm (0.68 pulgada) durante los 20 minutos requeridos para realizar una serie de 6 ensayos a un revenimiento de un rango.

Los ensayos se hicieron alternativamente usando moldes metálicos y plásticos, que fueron determinados para producir resultados comparables. Así pues, los datos de precisión se aplican tanto a moldes metálicos como de plástico. Se realizaron un total de 270 pruebas de asentamiento.

Pulgada-Libra (SI). Los datos usados para desarrollar la expresión de precisión se obtuvieron usando unidades métricas (milímetros). Los valores de precisión mostrados en unidades pulgada-libra son conversiones de las medidas de milímetros, que fueron registrados hasta el 1 mm más cercano.

Medición de la Variabilidad. Se determinó que la desviación estándar era la medida más consistente de la variabilidad y se descubrió que variaba con el valor del asentamiento.

Precisión de un solo operador. La desviación estándar de un solo operador representada por (1s) se muestra en la Tabla 1 por valores de asentamiento promedio.

Los resultados reportados para las lecturas de réplica se aplican a las pruebas realizadas por el mismo operador, llevando a cabo pruebas sucesivas, una inmediatamente después de la otra. Los resultados aceptables de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador sobre el mismo material (Nota 4) no diferirán uno del otro en más de los valores (d2s) de la última columna de la Tabla 1 para el valor del asentamiento apropiado y la precisión de un solo operador.

Tabla 1 Precisión



**Tabla 1 Precisión**

Asentamiento e índice del tipo	Desviación estándar (1s)		Rango aceptable de dos resultados (d2s)	
	Pulg.	mm	Pulg.	mm
<i>Precisión de un solo operador</i>				
Asentamiento 1.2 pulg. (30 mm)	0.23	6	0.65	17
Asentamiento 3.4 pulg. (85 mm)	0.38	9	1.07	25
Asentamiento 6.5 pulg. (160 mm)	0.40	10	1.13	28
<i>Precisión multilaboratorio</i>				
Asentamiento 1.2 pulg. (30 mm)	0.29	7	0.82	20
Asentamiento 3.4 pulg. (85 mm)	0.39	10	1.10	28
Asentamiento 6.5 pulg. (160 mm)	0.53	13	1.50	37

Fuente Cemex

### 7.59-Costos del exceso de agua en el concreto

El control adecuado de la cantidad de agua en la mezcla, es esencial para mantener la calidad del concreto y disminuir sus costos de producción, así como los costos adicionales por reparaciones que se presentan con el paso del tiempo, al utilizar concretos con un alto contenido de agua. Esto sucede siempre en las mezclas elaboradas a mano, en donde no cuentan con un control del agua de mezclado y de la humedad de los agregados.

La resistencia de un concreto con agregados y de cemento de calidad, está directamente relacionada a la cantidad de agua de la mezcla, esto se conoce como relación agua/cemento (A/C). Mientras esta se mantenga constante la resistencia del mismo no variara significativamente.

Existen muchos efectos perjudiciales cuando se trabaja con altos contenidos de agua, estos efectos acaban por aumentar el costo final del concreto, observemos algunos de ellos:

1. El exceso de agua provoca un aumento en la contracción del concreto y esto se debe a la pérdida de volumen que sufrirá el mismo al endurecerse. El concreto durante el proceso de fraguado y endurecimiento pierde agua y a mayor cantidad de agua, la pérdida de volumen aumenta, lo que da lugar a fisuras por contracción y posteriormente a las reparaciones que esto conlleva.
2. Causa pérdida de resistencia en la pasta de cemento provocando una superficie más débil y que a corto plazo dejara expuestos los agregados gruesos.
3. En aplicaciones como pavimentos la exudación del agua produce menor resistencia al desgaste y menor resistencia a la flexión.
4. El efecto más significativo en costos se presenta al momento de mantener la relación agua/cemento y por ende la resistencia. Esto significa que al aumentar la cantidad de agua es necesario utilizar mayor contenido de cemento, aumentando proporcionalmente el costo de producción del concreto para mantener la misma resistencia.

Veamos un ejemplo práctico de este problema:

- Si mezclamos agregados de calidad, 181 litros de agua y 361 Kg. de cemento para obtener asentamiento de 10 cm., se puede obtener un concreto con relación agua/cemento de 0.50.
- Ahora si quisiéramos obtener un asentamiento de 15 cm. y mantener la resistencia y relación agua/cemento de 0.5, tenemos que aumentar a 196 litros de agua y por lo mismo a 391 kg. de cemento.

Al analizar los costos nos damos cuenta que al aumentar la cantidad de cemento de la mezcla (391-361) = 30 Kg. o 0.7 sacos más por metro cúbico, que si impactara en el costo final.

- La detención del incremento de agua en el concreto es sencilla, si la mezcla de concreto presenta exceso de exudación (gran cantidad de agua que sube a la superficie) o si el asentamiento de diseño solo con agua es mayor del esperado, generalmente el problema será el aumento de agua.

- Como hemos observado los problemas asociados al aumento del agua en el concreto son variados y de la misma forma en el costo final.

Para evitar todos los efectos del exceso de agua, surge la necesidad de la producción de concreto premezclado. Este es un sistema en el cual se establecen especificaciones y normas de calidad para mantener una mezcla homogénea.

En el concreto premezclado se puedan garantizar, que la relación agua/cemento es la misma durante toda la producción de un mismo tipo de concreto, ya que previamente sea realizado un diseño de mezcla en un laboratorio en el cual se analizan todas las materias primas para realizar un concreto de calidad y con la menor cantidad de agua.

### 7.60-Defectos visibles en el concreto endurecido

Fisuras y grietas:

Pueden producirse fisuras en construcciones de concreto armado por efecto de las cargas resultantes de su utilización, de presiones internas y sobrecargas, con el efecto de las cargas a las que se encuentra sometida la obra, también están sujetas a alargamientos que superan el alargamiento de rotura del concreto.

En elementos de concreto armado que han sido determinados de modo correcto, la tracción o la flexión a los que están sometidas generan la formación de fisuras. Debido a la naturaleza misma del concreto armado, no se pueden evitar las fisuras de este origen.

No tienen consecuencias si las armaduras están colocadas de tal modo que impiden la formación de fisuras anchas y solo producen fisuras invisibles a simple vista. La contracción del concreto o su enfriamiento provocan reducción de volumen. Si se impide esta reducción se producen tensiones de tracción que se pueden conducir a la formación de fisuras. Estas tensiones también se producen en caso de incendio o asentamientos por hundimientos del terreno.

Este tipo de fisuras causadas por la contracción del concreto, los asentamientos o incendios se reducen normalmente cuando ha desaparecido la causa que los provoco. En cambio, las fisuras por variaciones de temperatura pueden estar siempre en movimiento. Estas consideraciones resultan importantes para la elección adecuada del sistema de reparación. En caso de duda, pueden colocarse en las fisuras testigos de yeso para poder determinar cualquier movimiento eventual. No siempre es fácil de emitir un juicio sobre la influencia de las fisuras en el valor de la utilización de las obras o elementos de obra, incluso para una especialista en la materia. Algunos casos a valorar son:

- El sistema estático
- La carga
- El modo en que se han formado las fisuras
- Comportamiento.

En primer lugar, se trata de determinar si está en riesgo la seguridad estructural de la obra, los cual ocurre pocas veces.

Se recomienda que en caso de duda debe pedir la opinión de un especialista. Cuando la anchura de las fisuras sea tal que el agua, aire y productos nocivos penetran con facilidad hasta el acero de refuerzo y provocan su corrosión. Actualmente se consideran fisuras de anchura inferior a 0.2 mm en condiciones normales no tienen mayor incidencia en cuanto a la corrosión del acero de refuerzo. Por lo general, se considera que todas las fisuras resultantes de una causa excepcional y que después se han estabilizado y obturado mediante inyecciones de resinas epóxicas restablece la seguridad estructural de la obra.

## 7.61-Causas de la fisuración

Tipos de fisuras:

La fisuración ocurre cuando los esfuerzos de tracción a los cuales está sujeto el concreto exceden a la capacidad resistente a los esfuerzos de tracción del concreto. La capacidad resistente de los esfuerzos de tracción del concreto varía con la edad y con la cantidad de aplicación de los mismos.

Hay varios mecanismos básicos por los que tales esfuerzos pueden ser generados:

### 7.61.1-Movimientos

Generados dentro del concreto. Algunos ejemplos son la retracción por secado, expansión o contracción debido a los cambios de temperatura, fraguado plástico o retracción plástica.

Estos efectos solo causan esfuerzos de tracción si los movimientos son restringidos. Esta restricción puede ser local, por ejemplo, donde la redacción del concreto está restringida por el refuerzo; o a una gran escala como, por ejemplo, donde un elemento está restringido de la contracción por el miembro al cual está conectado.

### 7.61.2-Expansión

Del material embebido dentro del concreto. Un ejemplo típico es la corrosión del esfuerzo.

### 7.61.3-Condiciones impuestas externamente

Ejemplos de estas son las cargas o deformaciones por los asentamientos diferenciales de las cimentaciones.

Tipos de fisura por la fuerza que origina

### 7.61.4-Por esfuerzo o por cargas externas

- Compresión
- Tracción
- Cortante
- Torsión
- Adherencia o anclaje
- Fenómenos físicos naturales

### 7.61.5-Por variaciones internas

- Retracciones (dilatación, contracción)
- Contracciones o expansiones del concreto y el acero

### 7.61.5-Tipos de fisura por causa y edad

Antes de endurecer:

- Resecamiento superficial prematuro
- Contracción plástica
- De exudación
- Heladas prematuras
- Segregación sobre barras superiores
- Asentamiento plástico
- Movimiento de formaleta, suelos, aceros.

### 7.61.6-Después de endurecer

- Contracción por secado
- Contracción de cementos agregados

- Térmicas
- Por acción de cargas externas de trabajo (compresión, cortante, tensión, adherencia)
- Por corrosión del acero
- Por expansiones del concreto
- De ejecución, por mala colocación o desplazamiento del acero en voladizos, ménsulas etc.

Cuando la fisura es causada por un error de cálculo, solo puede mejorar mediante refuerzos a la estructura, añadiendo acero de refuerzo o soportes adicionales al concreto.

Cuando la capacidad de carga es suficiente, la fisura puede recubrirse en toda su longitud con un producto elástico, o también ensancho la fisura se consiguen las condiciones necesarias para la colocación de masilla.

Estas diferentes medidas de reparación solo son válidas, cuando se tratan de fisuras que no han provocado corrosión en el acero de refuerzo.

## 7.62-La fisuración como síntoma

En general, el concreto como elemento estructural presenta una característica particular de trabajo que es su capacidad de figuración ante los esfuerzos que absorbe, la cual en medios agresivos permite un ataque más rápido en el tiempo.

### 7.62.1-Clasificación de las fisuras

Las fisuras pueden ser clasificadas en diferentes formas, citaremos dos de las más usuales:

1. Activas: Que varían de acuerdo a la temperatura.
2. Inactivas: La causa que las origina ya no le afecta por lo tanto no hay movimiento en ellas

### 7.62.2-Tipificación de fisuras

Siempre que aparezcan fisuras visibles que puedan afectar la estabilidad o durabilidad de un elemento o estructura se debe analizar sus causas buscando tipificarlas. Para que sirvan de apoyo junto con los otros daños a establecer el diagnóstico más exacto, así:

- Origen: Fuerza externa (mecánico-dinámico); variaciones internas (origen químico, físico, externo o interno).
- Geometría: Dirección, anchura, profundidad, movimiento.
- Trazado: Intergranular, trans granular, mixta, sucia, limpia.
- Ubicación: Tipo de elemento orientación solar.

El resumen de las manifestaciones de este comportamiento de la alteración de la idoneidad del concreto, su aparición puede ser, antes o después del fraguado, días, años; posterior a la puesta en servicio en la obra. A partir de su aparición su evolución puede ser activa con variaciones en longitud y ancho, o quedarse permanentemente pasiva sin alteraciones que se puedan percibir.

## 7.63-Agua de mezclado para el concreto

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada.

## 7.64-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 esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2,000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden 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 la resistencia y el tiempo de fraguado.

#### **7.64.1-Carbonatos y bicarbonatos alcalinos**

El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que lo bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días.

También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali - agregado graves.

#### **7.64.2-Cloruros**

Un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que lo iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los cables del pre esfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.

Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes separados - aditivos, agregados, cemento, y agua - o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas.

El agua que se utilice en concreto pre forzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ion cloruro. Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución.

El *Reglamento de Construcción del American Concrete Institute, ACI 318*, limita el contenido de ion cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento.

#### **7.64.3-Concreto pre forzado**

Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio.

Concreto reforzado que vaya a estar seco o protegido contra la humedad durante su servicio.

Otras construcciones de concreto reforzado.

#### **7.64.4-Sulfatos**

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque se ha empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfatos de sodio.

#### **7.64.5-Otras sales comunes**

Los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en el agua y rara vez se les encuentra en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. En algunas aguas municipales se pueden encontrar bicarbonatos de calcio y de magnesio.

No se consideran dañinas las concentraciones inferiores o iguales a 400 ppm de bicarbonato en estas formas. Se han obtenido buenas resistencias con concentraciones hasta de 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones de sulfato de magnesio deberán ser inferiores a 25,000 ppm.

#### **7.64.6-Sales de hierro**

Las aguas freáticas naturales rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro; sin embargo, las aguas de mina acidas pueden contener cantidades muy grandes. Las sales de hierro en concentraciones hasta 40,000 ppm normalmente no afectan de manera adversa al desarrollo de la resistencia.

#### **7.64.7-Diversas sales inorgánicas**

Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De estas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo. Las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen el yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio.

Generalmente se pueden tolerar en el agua de mezclado concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm. Otra sal que puede ser dañina al concreto es el sulfuro de sodio; aun la presencia de 100 ppm requiere de ensayos.

#### **7.64.8-Agua de mar**

Aun cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua - cemento. El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto pre forzados debido al riesgo de corrosión del esfuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

#### **7.64.9-Aguas acidas**

En general, el agua de mezclado que contiene ácido clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm no tienen un efecto adverso en la resistencia. Las aguas acidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible.

#### **7.64.10-Aguas alcalinas**

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% el peso del cemento, no afecta en gran medida a la resistencia del concreto toda vez que no ocasionen un fraguado rápido. Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto.

El hidróxido de potasio en concentraciones menores a 1.2% por peso de cemento tiene poco efecto en la resistencia del concreto desarrollada por ciertos cementos, pero la misma concentración al ser usada con otros cementos puede reducir sustancialmente la resistencia a los 28 días.

# Capítulo 8

## Periféricos del concreto

En este capítulo se citan los elementos que giran entrono al concreto, los cuales le permitirán a este alcanzar los resultados deseados, en términos de diseño y desempeño en operación.

### 8.1-Vibrado del concreto

El proceso de vibración del concreto en la construcción es muy importante, especialmente al hablar de durabilidad de la estructura. Este proceso consiste en someter al concreto fresco a vibraciones de alta frecuencia inmediatamente después de ser vertido, mediante vibradores que funcionan con presión de aire comprimido o electricidad. Con este procedimiento la mezcla de concreto adquiere una consistencia más fluida y licuada, permitiendo cubrir los espacios internos de manera homogénea; haciendo que se adhiera al acero más fácilmente.

### 8.2-Objetivo

El principal objetivo del proceso de vibrado es lograr que las burbujas de aire asciendan dentro de la masa del concreto fresco y de este modo salgan al exterior, eliminándose con el ambiente y homogenizándose. Debido al proceso de mezclado, transporte y colocación del concreto, se atrapa aire en forma de vacíos o poros, que varían tanto en tamaño como en distribución, y que es necesario remover para darle el carácter de sólido monolítico. Estos vacíos disminuyen la densidad del concreto haciendo que este sea más permeable, menos resistente y menos durable.

Para remover el aire se utilizan también procedimientos tales como el "picado con varilla o varillado" (recomendable en espacios pequeños; no es recomendable en obras de gran tamaño ya que no brindan la suficiente eficiencia y puede acarrear otros problemas en la mezcla), y la vibración (interna o externa). Estos buscan disminuir la fricción entre los diferentes componentes del concreto (entre el concreto y el acero de refuerzo, entre el concreto y la formaleta).

### 8.3-Vibración interna

Consiste en aplicar vibración directamente al concreto, insertando un vástago vibratorio en el interior de la masa. Los vibradores de aplicación interna, también conocidos como vibradores de inmersión o de aguja, son los más comunes para consolidar concreto en muros, columnas, vigas y losas, siendo este el sistema que haremos énfasis de interés en este trabajo.

En el mercado existen dos tipos de vibradores directos que son los más utilizados, en función de la dimensión y la infraestructura que cada proyecto requiera, estos son vibradores a gasolina y vibradores eléctricos.



Vibrador Eléctrico



Vibrador a Gasolina

La vibración con equipos de inmersión es la forma más común de trabajar. Se ejecuta introduciendo verticalmente en la masa un vibrador que consiste en un tubo con diámetro externo entre 2 y 10 cm, dentro del cual una masa excéntrica gira alrededor de un eje. La masa es movida por medio de un motor eléctrico o gasolina, su acción genera un movimiento oscilatorio de cierta amplitud y frecuencia que se transmite a la masa de concreto.

Se clasifican en dos tipos principales: de ejes flexibles y de alta frecuencia.

### 8.3-Los vibradores de eje flexible

Consisten en un motor conectado a una estructura flexible con un núcleo de alambre de acero y con una cabeza en la otra extremidad del eje. Esta clase de unidades tienen aplicaciones específicas, tales como pequeñas obras que requieren una cantidad mínima de vibración, como losas delgadas, paredes estrechas, bases y pequeñas zapatas.

### 8.4-Los vibradores de alta frecuencia

Son llamados así debido a los requisitos eléctricos de 180 Hz, lo que permite el uso de un motor de inducción que ofrece mayor potencia en un pequeño volumen. El rotor excéntrico puede ser acoplado directamente al motor que está dentro de una cabeza blindada, eliminando la necesidad de un eje flexible. Este equipo es usado en concretos con revenimiento de 1 a 3 pulgadas, especialmente en plantas producción de elementos de concreto.

Los motores de los vibradores de eje flexible pierden continuamente potencia a medida que la carga aumenta. Cuando más resistente es la carga (*slump*), mayor es la potencia perdida. De esta manera, los vibradores de alta frecuencia tienen la ventaja de perder solamente cerca del 5% de sus vibraciones por minuto.

Entre las aplicaciones de los vibradores de alta frecuencia se incluyen los servicios que requieran concreto de bajo y medio slump, como presas, grandes muros de contención, losas en edificios altos y paredes inclinadas.

### 8.5-Aplicaciones y tamaños de equipo recomendados

Según diversos fabricantes, los diámetros del cabezal del vibrador sugeridos para distintos tipos de trabajo son los siguientes:

- Diámetros de 25 a 35 mm. columnas, vigas finas, secciones de pared delgadas, trabajos de bajo volumen y zonas de alta concentración de refuerzos.
- Diámetros de 35 a 45 mm. Soleras, vigas, cimientos de bajo volumen, vibración de bordes de losas.
- Diámetros de 45 a 75 mm. Vertidos de concreto fresco, puentes, muros de contención, soportes estructurales, soleras y cimientos.
- Diámetros de 75 a 155 mm. Zapatas y cimientos, vertidos de gran volumen y morteros de relleno.

### 8.6-Implicancias de su dimensión

El tamaño del vibrador determina cuanto concreto es vibrado cada vez. El área vibrada en cada ocasión es llamada radio de acción, pudiendo ser observada según el radio que forman las burbujas de aire que se expulsa a la superficie.

Así, el radio de acción será más grande cuando se emplee un vibrador de concreto de mayor tamaño. Es recomendable seguir un patrón definido, de modo que dicho radio se traslape y cubra toda el área de concreto. El vibrador debe ser lo suficientemente largo para alcanzar y entrar hasta las capas de concreto por debajo de las que se está compactando.

### 8.7-Vibración externa de formaleta

Consiste en adosar masas excéntricas a la formaleta, que son movidas por un motor eléctrico o neumático, de manera que cuando giran le transmiten vibración al concreto, a través de la formaleta. La formaleta debe ser lo suficientemente rígida y hermética para evitar deformaciones del elemento, como también fugas de mezcla. Los vibradores de formaleta, también conocidos como vibradores de pared, son muy comunes en la industria de los prefabricados de concreto, en algunos trabajos de obra en los que el uso de los vibradores de aguja se ve restringido por secciones muy estrechas o muy congestionadas de refuerzo, en elementos donde se



requiera complementar la vibración interna, y especialmente en la consolidación de mezclas muy secas en las que no se puedan usar vibradores internos. Adicionalmente su uso se restringe a la construcción de elementos delgados cuyo espesor no supere los 300 mm.

### 8.8-Vibración externa superficial

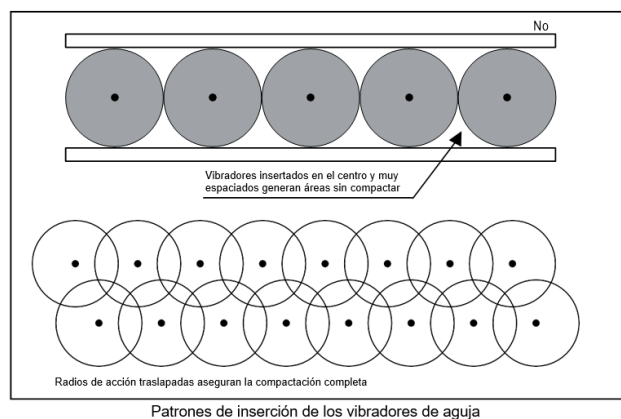
Los vibradores externos superficiales, también llamados reglas vibratorias, se usan para compactar el concreto desde la superficie de las losas. En estos casos, las mezclas se diseñan para que el asentamiento no supere los 75 mm, con el fin de limitar el contenido de mortero superficial, pues la vibración superficial de mezclas con asentamientos mayores tendrá como resultado la acumulación excesiva de mortero y de material fino en la superficie, y con ello, no sólo se reducirá la resistencia al desgaste sino también se incrementará la probabilidad de aparición de cuarteaduras superficiales, el eventual descascaramiento y, en casos extremos, se originarán grietas de contracción plástica.

### 8.9-Mesas vibratorias

Otro sistema de vibración externa lo constituyen las mesas vibratorias, las cuales se utilizan con frecuencia en la producción de elementos prefabricados. Se trata de equipos desarrollados específicamente para la producción industrializada de un elemento o conjunto de elementos en particular.

Las mesas vibratorias consisten en un tablero rígido apoyado elásticamente en soportes fijos. Al tablero se le adosa por debajo un equipo generador de vibraciones, que pueden ser unas masas excéntricas movidas por correas, o bien, motores resistentes a la vibración, dotados de mesas giratorias excéntricas, adheridas directamente al tablero. Necesariamente la mesa vibratoria debe ser sólida puesto que sobre ella se pone el molde de la pieza a producir más la masa del concreto que la conformará.

Patrón de uso del vibrador.



Patrones de inserción de los vibradores de aguja

### 8.10-Vibración por rodillos

En este tipo de vibración externa del concreto, están los rodillos lisos estáticos y los rodillos lisos vibratorios que se emplean en la construcción de pavimentos y presas construidos con concretos secos.

Dentro de los rodillos lisos estáticos, están los de ruedas neumáticas y los rodillos lisos metálicos.

### 8.11-Revibrado

La revibración del concreto se utiliza en algunos casos para mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, para liberar el agua atrapada debajo de las barras horizontales de refuerzo, y para remover vacíos adicionales de aire atrapado. Esta práctica no genera ningún daño, si el concreto es aún trabajable. Es importante no tocar el acero de refuerzo con la aguja del vibrador. La

revibración transmitida a través de las armaduras al concreto semiplástico produce pérdida de adherencia de la barra con el concreto y fisuras sobre las armaduras.

### 8.12-Los aparatos vibratorios convencionales

Que se encuentran en el mercado poseen una frecuencia de giro de eje entre 3,000 a 14,000 vpm, las cuales entre los 3,000 a 12,000 vpm (bajas y medias) movilizan los granos finos; por otro lado, las frecuencias (13,000 a 14,000 vpm) son capaces de movilizar los finos alrededor de los gruesos dando como resultado una buena distribución de los mismos y facilitando la expulsión de las burbujas de aire retenido dentro de la mezcla de concreto.

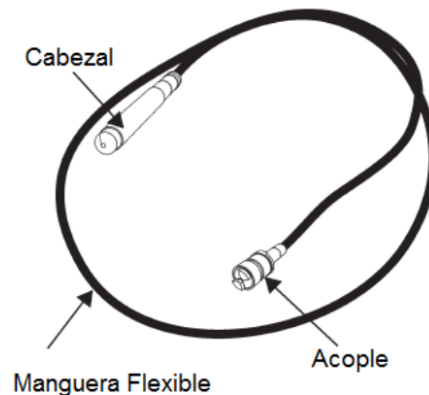
Las razones más importantes para efectuar la vibración de las mezclas de concreto y evitar posteriores daños en el material son:

- Aumentar la resistencia y durabilidad del concreto.
- Expeler el aire excedido y distribuir en forma más homogénea las partículas dentro del concreto.
- Disminuir la posibilidad de segregación del concreto fresco y los cambios de volumen por posterior retracción.
- Lograr que el concreto se comporte “como un líquido” dentro del diámetro de acción del vibrador, permitiendo un mejor llenado de los encofrados.
- Obtener mezclas con una compactación que permita mantener el nivel de aire ocluido dentro de los límites previstos.

El principal objetivo del proceso de vibrado es lograr que las burbujas de aire asciendan dentro de la masa del concreto fresco y de este modo salgan al exterior, eliminándose con el ambiente y homogenizándose.

Un vibrador interno consta de una aguja vibrante que se sumerge en el interior de la mezcla fresca de concreto. La herramienta mejora la resistencia del producto pues reduce el nivel de aire ocluido, optimizando la distribución de las partículas.

Componentes básicos de un vibrador.

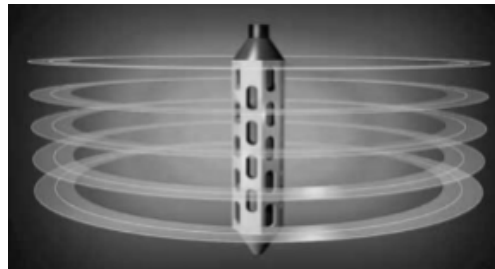


### 8.13-La compactación del concreto

Es la operación por medio de la cual se densifica la masa, todavía blanda, reduciendo a un mínimo la cantidad de vacíos, los cuales provienen de varias causas siendo las principales el aire atrapado y los vacíos producidos por la evaporación de parte del agua de amasado. El aire atrapado es consecuencia inevitable del manejo de la propia masa blanda del concreto que, al ser mezclada, transportada, colocada, incorpora estos volúmenes de aire en su interior. La evaporación de parte del agua de amasado se genera porque no toda ella toma parte en la reacción química con el cemento.

Ese exceso de líquido y el volumen de aire atrapado es lo que se trata de eliminar cuando se compacta el concreto recién colocado. El agua no reactiva que pueda quedar en el interior del volumen no participa de la función resistente del concreto, si esta se evapora, deja vacíos en forma de burbujas o de canales. Esos vacíos internos son, además, volúmenes sin resistencias mecánicas, convirtiéndose en puntos débiles desde la perspectiva de la durabilidad.

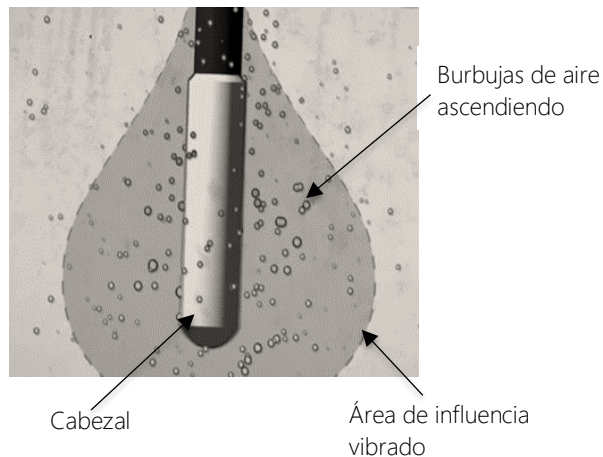
El vibrador, traslada una vibración uniforme a lo largo de su radio de acción.



En el vibrado se aprovecha la condición tixotrópica del concreto en estado fresco, mediante la cual se hace menos viscosa cuando está en movimiento y se atiesa al quedar en reposo. Al vibrar la masa, el material se fluidifica y permite su acomodado al molde, envolviendo las armaduras.

Se expulsa gran parte del aire atrapado, se hace subir a la superficie parte del agua con funciones de lubricación o curado y se unifica la masa eliminando vacíos y planos de contacto

El vibrador transmite una vibración uniforme en su radio de acción.



#### 8.14-Consideraciones de seguridad

Se debe tener siempre las manos y el rostro alejados de la cabeza de vibración durante el uso. La herramienta debe ser apagada de inmediato si se nota un ruido anormal o si se observa alguna ineficiencia durante la operación. Como prevención, debe inspeccionarse cuidadosamente para detectar averías, grietas o deformaciones al haberla dejado caer de forma accidental o si fue golpeada contra algo.

Así mismo, no se debe colocar el dispositivo sobre alguna superficie para encenderla, ya que la cabeza de vibración puede batirse fuera de control y causar un accidente. Tampoco hay que dejar que absorba agua, concreto acuoso (húmedo) o algo similar.

Cuando se trabaja con marcos de hierro/acero o barras de refuerzo en la mezcla se debe insertar la cabeza de vibración cuidadosamente, sin hacer contactos con estos elementos. Para despojar cualquier acumulación de concreto acuoso que haya quedado en la herramienta tras la operación se debe emplear un paño húmedo, mientras que con las ranuras de ventilación y demás elementos se debe tener cuidado adicional en su limpieza.

## 8.15. Principales componentes

Entre los principales componentes del vibrador se encuentra:

- La unidad motriz, que consta de un bastidor tubular especialmente diseñado para proteger y ayudar a transportar el motor que aloja, que puede ser de varios caballos de fuerza según se escoja.
- El conjunto flexible está conformado por el cabezal, la flecha flexible y el acoplamiento. El primero es la parte que entra en contacto directo con la mezcla de concreto y las vibraciones son producidas de acuerdo al principio del péndulo, gracias al cual se obtiene una adecuada frecuencia de vibración.
- La flecha flexible es la encargada de transmitir la potencia del acoplamiento al cabezal vibratorio. Consta de una manguera reforzada de hule con espiral de acero interno que permite el deslizamiento interior del chicote. Este último es de acero al alto carbón el cual se rosca en tres diferentes medidas (un alambre de acero es la parte central). En sus extremos se le ensamblan terminales para el cabezal y el acoplamiento.
- Finalmente, el acoplamiento consta de un cuerpo en donde se alojan el acople, rodamientos, reten, separador, niple y rondana de desgaste.

### 8.15.1-Principales componentes del motor

El equipamiento del motor que suele llevar un vibrador de concreto incluye un tapón de llenado del tanque de gasolina, el cual se mueve para agregar el combustible. La palanca de aceleración se usa para ajustar la velocidad del motor, mientras que el botón de on/off permite arrancar y detener la operación del motor.

Otros elementos de este último son la polea retráctil -la que brinda un método manual de arranque-, la palanca de válvula de gasolina, la palanca de ahogamiento, el filtro de aire, bujía, silenciador y tanque de gasolina.

### 8.16-Previsiones antes de su uso

Antes del colocado del concreto, con el equipo ya preparado, se debe revisar el nivel de aceite del motor y el nivel de gasolina del tanque de combustible para eliminar cualquier posible falla. También es necesario verificar el acoplamiento correcto del conjunto vibrador, comprobar el arranque del motor y la vibración del conjunto en seco.

Durante el proceso de fundición del concreto se recomienda colocar el concreto dentro del encofrado en capas de 30 a 50 cm antes de iniciar el vibrado. Se sugiere a que en casos de encofrado profundo se cuente con un tubo de bajada para colocar el concreto.

### 8.17-Operación del equipo

Se debe sujetar firmemente la herramienta cuando esté en uso o haciendo operaciones de inserción, empleándose dentro de un rango efectivo de vibraciones en intervalos equidistantes. El rango efectivo de eliminación de burbujas es aproximadamente diez veces el diámetro de la cabeza de vibración.

En la operación no se debe usar la herramienta para mover el concreto en alguna forma, ya que el mortero sólo se alejará y el agregado áspero permanecerá, lo que causará segregación.

La eliminación de burbujas de aire ocurre después de que haya usado la herramienta a través de cada rango efectivo, donde el concreto deja de encogerse y el mortero se ha elevado de forma uniforme sobre la superficie, dando una apariencia ligera. Con cuidado, se debe retirar la herramienta para evitar dejar hoyos.

Para un concreto de trabajabilidad promedio, con un vibrador de tamaño entre 2.5 cm a 7.5 cm, el concreto usualmente debe ser vibrado entre 5 y 15 segundos. Nunca se debe extender el concreto hacia los lados ni tocar con el equipo la cimbra ya que puede ocasionar daños. Si se saca el vibrador demasiado rápido se producirá un hoyo hueco en el concreto y, para cerrarlo, se debe vibrar cerca del mismo y luego retirar el equipo lentamente.

### 8.18-Almacenamiento

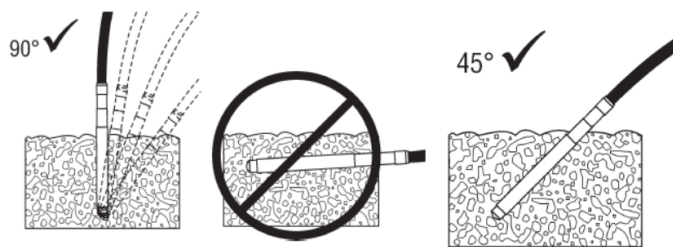
Se debe mantener el vibrador en posición horizontal en un rack especial; de otra forma se debe enrollar procurando proteger el acoplamiento. No se recomienda colgarlo porque la grasa puede entrar al cabezal en almacenamientos prolongados.

### 8.19-Mantenimiento

Se debe limpiar el vibrador diariamente. Para ello se remueve el conjunto vibrador de la unidad motriz. Con un trapo mojado se debe limpiar todo el conjunto vibrador removiendo todos los residuos de concreto, polvo y tierra que pueda tener. Cada cierta cantidad horas de operación se recomienda realizar el procedimiento de mantenimiento a todo el equipo, (según especificación de fabricante) procediendo a separar las sus partes principales.

Tomar en cuenta:

- En el cabezal se debe inspeccionar si el péndulo presenta desgaste para hacer el reemplazo si fuera necesario; así mismo, se debe cambiar el retén del cabezal cada vez que se desarme. También se debe inspeccionar el estado físico de la pista por desgaste y, si es necesario, reemplazarlo.
- Si el equipo cuenta con un motor a gasolina, el mantenimiento incluye limpiar el motor cada 8 horas; controlar tornillos y tuercas; chequear y rellenar de aceite el depósito y del elemento vibrante.
- Según la frecuencia de uso se debe hacer cambio del aceite del motor (según especificación de fabricante), limpiar las bujías y el filtro de aire, realizarse una limpieza del filtro de aceite o reemplazo según cantidad de horas de operación (según especificación de fabricante), así como desempolvar y ajustar las bujías.
- Ver limpieza y ajuste del carburador, limpiar la cabeza del cilindro y el recalibrado de válvulas del motor.
- Anualmente, y dependiendo del trabajo sometido al motor, este debe ser llevado a un taller autorizado para ser revisado.



Forma adecuada de utilización del vibrador.

### 8.20-Ventajas del vibrado

Gracias al vibrado de concreto, se pueden colocar mezclas con menor contenido de agua que las compactadas manualmente. Así, mediante el empleo de mezclas más consistentes y más ásperas, el vibrado permite una mejora substancial de la calidad del material, sin aumentar la proporción de cemento.

Otras ventajas cualitativas son la mayor impermeabilidad, mayor durabilidad y resistencia a los agentes agresivos, mejor adherencia entre el concreto y las armaduras, así como menores cambios volumétricos. El vibrador de concreto se usa para eliminar la acumulación de agregados y burbujas de aire, desplazando el adecuado material fino hacia la superficie y las áreas de contacto del encofrado para obtener una mejor terminación superficial de la estructura. La acción vibratoria consolida el concreto al hacer flotar los agregados y desplazar las burbujas de aire fuera de la mezcla.

Las ventajas de vibrar el concreto son:

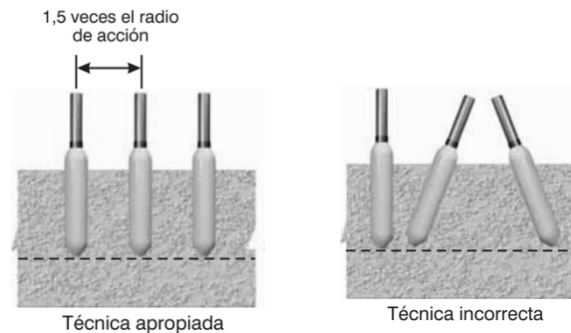
- Se consigue un concreto más fuerte y resistente.
- Se obtiene una mezcla homogénea sin superficies dañadas.
- Mayor adhesión a los armados.
- Mayor adhesión en juntas.
- Menor permeabilidad del concreto.
- Menor contracción del concreto.
- Acelera el proceso de secado del concreto, aumentando la posibilidad de retirar el encofrado más rápidamente.

El cabezal del vibrador no debe operar horizontalmente, asegúrese de no inclinar el cabezote más de 45 grados verticalmente. En la figura 1 se muestra el ángulo correcto como se debe operar el cabezote del vibrador.

### 8.21-El volumen del aire atrapado

Es introducido durante las operaciones de dosificación y mezcla del concreto y es variable en cantidad tamaño y forma de las burbujas, si el tamaño de las burbujas ocupa un volumen relativamente grande y permanece dentro de la masa del concreto, se obtiene una disminución importante en la resistencia potencial de la mezcla, de allí la necesidad de una buena compactación del concreto para extraer la mayor cantidad posible de aire atrapado.

Técnica de uso del vibrador.



### 8.22-Aire incluido

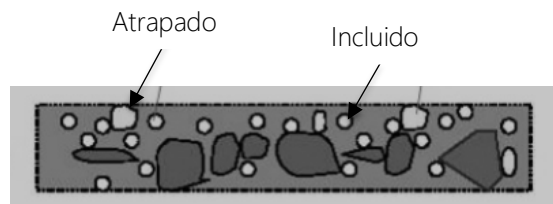
Cuando se hace de manera intencional en el concreto fresco se denomina incorporado, se considera que es uno de los grandes avances en la tecnología del concreto, hoy por hoy se recomienda para casi todos los concretos, especialmente para mejorar algunas características como la manejabilidad y la durabilidad.

Consiste en esferoides introducidos al utilizar un cemento con inductor de aire o por aditivos inductores de aire durante el mezclado, el tamaño promedio de estas burbujas usualmente va de 0.05mm a 1.27mm, estas se distribuyen uniformemente a través de la pasta.

Los materiales incorporadores de aire pueden estar compuestos por sales y resinas de madera, detergentes sintéticos, sales de lignia sulfona, sales de ácidos del petróleo, grasas y aceites de origen animal y vegetal y sus ácidos grasos, como también sales orgánicas de hidrocarburos sulfonatos.

Las burbujas se producen por disminución de la tensión superficial del agua mediante un agente que promueve su formación y permite su estabilidad durante el proceso de fabricación, fraguado y endurecimiento del concreto.

La inclusión de una cantidad apropiada de aire en el concreto produce efectos deseables a sus características. En estado fresco mejora la trabajabilidad Y disminuye el riesgo de segregación, en estado endurecido mejora notablemente la durabilidad en especial contrarresta la acción de congelamiento y deshielo, además reduce la permeabilidad, aumenta la resistencia a la acción de los sulfatos y sustancias químicas, permite la reducción del agua de mezclado para un determinado grado de trabajabilidad y la cantidad de la arena de la mezcla.



Aire atrapado: Falta de vibrado adecuado.  
Aire incorporado: Mejora la durabilidad y trabajabilidad.

El aire incluido hace posible una reducción en el contenido de la arena de la mezcla en una cantidad del contenido aproximadamente igual al volumen de aire incluido, en consecuencia se obtiene un concreto con más espacios vacíos y por tanto su resistencia disminuye, de otra parte, por cada 1% de aire incluido se permite la reducción de cerca de 3% de agua de mezclado para una determinada consistencia, de ahí que al hacer el diseño de la mezcla, para mantener el asentamiento constante, se obtenga una compensación parcial de resistencia por lo tanto dicha pérdida es muy poca y raras veces alcanza el 15%.

### 8.23-La segregación

De una mezcla ocurre cuando las partículas gruesas se separan de las más finas, o cuando se obtienen mezclas muy húmedas y se separa lasta de los agregados. De la misma manera, la exudación ocurre cuando parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colocado, cualquiera de los dos casos se presenta por una falta de cohesión por causa de mezclas muy secas o muy húmedas, o porque los agregados solidos no pueden retener el agua adecuadamente cuando se asienta.

El aire incluido intencional mente desarrolla tensiones hidrostáticas que aumentan la cohesividad de la mezcla haciendo que se disminuya el riesgo de segregación; por otra parte, la presencia de burbujas de aire parece conservar en suspensión las partículas solidadas, de modo que la sedimentación se reduce y no se expulsa agua.

El concreto con aire incluido se produce con el uso de un cemento con inclusor (incorporador) de aire o con la adición de aditivo inclusor de aire durante el mezclado. El aditivo inclusor de aire estabiliza las burbujas formadas durante el proceso del mezclado, realiza la incorporación de burbujas de varios tamaños con la disminución de la tensión superficial del agua de mezcla, impide la coalescencia de las burbujas y ancla las burbujas en el cemento y en las partículas de agregados.

Las burbujas de aire incluido no son como los vacíos de aire atrapado (aire ocluido), que ocurren en todos los concretos como resultado del mezclado, manejo y colocación (colado) y que dependen en gran parte de las características de los agregados.

Las burbujas de aire intencionalmente incorporado son extremadamente pequeñas, con diámetro entre 10 y 1000  $\mu\text{m}$ , mientras que los vacíos atrapados en el concreto convencional son normalmente mayores que 1000  $\mu\text{m}$  (1 mm). La mayoría de los vacíos de aire incluido tienen de 10 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.

#### **8.24-Formaletas**

Armazón que ha solido ser de madera con que se construye para dar forma a cualquier pieza de concreto. Siendo este el sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan con el concreto u otros materiales similares antes de fraguar.

Citaremos algunos de los sistemas más utilizados en el medio de la construcción alrededor del mundo.

#### **8.25-Sistema tradicional**

Cuando se elabora en obra utilizando piezas de madera aserrada y rolliza o contrachapado, es fácil de montar, pero de lenta ejecución cuando las estructuras son grandes. Se usa principalmente en obras de poca o mediana importancia, donde los costes de mano de obra son menores que los del alquiler de encofrados modulares. Dada su flexibilidad para producir casi cualquier forma, se usan bastante en combinación con otros sistemas de encofrado.

#### **8.26-Encofrado modular o sistema normalizado**

Cuando está conformado de módulos prefabricados, principalmente de metal o plástico. Su empleo permite rapidez, precisión y seguridad utilizando herrajes de ensamblaje y otras piezas auxiliares necesarias. Es muy útil en obras de gran volumen.

#### **8.27-Encofrado deslizante**

Es un sistema que se utiliza para construcciones de estructuras verticales u horizontales de sección constante o sensiblemente similares, permitiendo reutilizar el mismo encofrado a medida que el edificio crece en altura o extensión. Este encofrado también dispone espacio para andamios, maquinaria, etc.

#### **8.28-Encofrado perdido**

Se denomina al que no se recupera para posteriores usos, permaneciendo solidariamente unido al elemento estructural. Puede hacerse con piezas de material plástico, cartón o material cerámico, y queda por el exterior de la pieza a moldear, generalmente de concreto.

#### **8.29-Encofrado de aluminio**

Sistemas de moldes de aluminio de calidad para la construcción rápida de estructuras de concreto como muros, plataformas, vigas, columnas, etc.

#### **8.30-Tipos de encofrado**

Los encofrados se pueden elaborar con los siguientes materiales: madera laminada, acero, fibra de vidrio, aleaciones de aluminio, concreto prefabricado, paneles de yeso, caucho, cloruro de polivinilo y poliestireno.

Las formaletas deben garantizar unidades de concretos iguales en forma, líneas y dimensiones a los elementos mostrados en los planos. Estas deben ser sólidas, adecuadamente arriostradas y fijadas, para mantener su posición y forma, debiendo de resistir las cargas a las que puedan ser sometidas, tales como presiones por colocación y vibrado del concreto, carga muerta de diseño y cargas vivas.

En el momento de colocar el concreto, la superficie de la formaleta debe estar libre de incrustaciones de mortero, óxidos o de cualquier otro material, no debe tener perforaciones, imperfecciones, deformaciones o uniones defectuosas, que permitan filtraciones de la lechada a través de ellas o irregularidades en las caras del concreto.



### 8.31-Recomendación en su uso

Se debe cubrir la superficie de la formaleta que vaya a estar en contacto con el concreto con una capa de desencófrate, aceite mineral, parafina, para evitar la adherencia entre el concreto y la formaleta, teniendo especial cuidado en no ensuciar las varillas de refuerzo ni las juntas de construcción.

La utilización de aceite quemado para lubricación de las formaletas, no es recomendable, bajo ninguna circunstancia.

Los tensores para la fijación de las formaletas deben tener un diseño tal que los agujeros que queden sean tan pequeños como sea posible, que garanticen el alineamiento de la formaleta y constituidos por pernos provistos de rosca y tuerca. Los tensores de alambre para la fijación de formaletas sólo se permiten en superficies no expuestas de las estructuras terminadas y bajo aprobación de la supervisión.

Todo agujero dejado por los tensores debe ser resanado con mortero de consistencia seca inmediatamente después de que se retire la formaleta.

Las abrazaderas deben ser de tal forma que la porción que permanezca embebida en el concreto esté por lo menos a 5 cm por dentro de las superficies terminadas y permitan retirar los extremos exteriores de las mismas, sin producir daños en las caras del concreto.

Cuando se trate de superficies expuestas se debe poner biseles en las esquinas de las formaletas para garantizar el chaflán.

### 8.32-Desencofrado

El desencofrado debe realizarse sin movimientos bruscos, choques o destrucción de las esquinas o superficie del concreto. Se debe efectuar cuando el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente para soportar con seguridad su propia carga, más cualquier otra sobrepuesta que pudiera colocársele, previo a la evaluación de la magnitud de éstas.

El ACI en su documento *ACI 347R (Guide to formwork for concrete)*, recomienda que se utilice el criterio de ganancia de resistencia que haya definido el ingeniero estructural para determinar la edad del concreto para desencofrar. En ausencia de dicho criterio, el ACI 347R presenta la siguiente tabla como guía para la edad de desencofrado en estructuras de concreto:

El reapuntalamiento de la estructura debe estar previsto con anterioridad. Los tableros para las losas se deben soportar firmemente con vigas y tacos metálicos, (se usan los de madera solo bajo aceptación de la supervisión, espaciados y arriostrados suficientemente para asegurar la estabilidad de los elementos y la seguridad del personal.

Muros	12 horas	
Columnas	12 horas	
Formaleta lateral columnas	12 horas	
Losas con viguetas		
Paneles de 900mm o menos	3 días	
Paneles de más de 900mm de ancho.	4 días	
Losas post tensadas	Cuando están totalmente tensionadas	
Fondo de vigas y viguetas	Donde la carga viva del diseño es	
	<Carga muerta	>Carga muerta
Menos de 3 m de luz	7 días	4 días
De 3 a 6 m de luz	14 días	7 días
De 6 m o más de luz	21 días	14 días
Losas en dos direcciones	Dependiendo si el reapuntalamiento (cuando sea requerido) se coloca inmediatamente después del desencofrado, cuando el re apuntalamiento se requiere para minimizar deflexiones, o flujo plástico. La capacidad y distanciamiento de los puntales debe de ser definido por una persona calificada.	

Tabla. Guía para edad de desencofrado (en ausencia de recomendaciones dadas por el ingeniero estructural).

Fuente: *ACI 347R Guide to formwork for concret.*

La formaleta inferior y el apuntalamiento para elementos horizontales se debe retirar partiendo del centro del elemento hacia los extremos, de tal forma que se pueda observar el comportamiento de la estructura y en caso algún comportamiento anormal poder re apuntalar de inmediato.

El retiro de formaletas para tiempos menores de los especificados requiere la aprobación de la supervisión, previo a un estudio que demuestre y justifique que las cargas actuantes no deformarán la estructura.

La formaleta de la cúpula, en tanques circulares, sólo podrá retirarse a los 21 días a partir del último vaciado, siempre y cuando el concreto haya adquirido la resistencia especificada en el diseño.

En casos especiales y donde se puedan presentar esfuerzos altos en las estructuras antes de terminar el fraguado de la mismas, la supervisión puede exigir que las formaletas permanezcan colocadas por un mayor tiempo. Inmediatamente se retiren las formaletas se harán las reparaciones necesarias en las superficies del concreto y se iniciará el proceso de curado que corresponda.

### **8.33-Embebidos en el concreto**

Para efectos técnicos de los elementos que deban quedar embebidos en el concreto, tales como tuberías eléctricas e hidráulicas u otros elementos, se debe cumplir con la norma establecida, debiendo de supervisar el cumplimiento de esta previo a realizar la fundición.

### **8.34-Aditivos**

Los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que, además del agua, agregados, cemento hidráulico y, en algunos casos, fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Mediante el uso de cualquier aditivo se puede llegar a obtener más durabilidad, resistencia, reducir fisura miento por esfuerzos mecánicos, entre otros resultados. Para la utilización de aditivos debemos tener en cuenta que la efectividad del mismo y la solución dada a un caso específico depende de la escogencia del mismo, la cantidad de cemento, la cantidad de agua, la forma del elemento, la granulometría y dosificación de los agregados, el tiempo de mezclado, el asentamiento y las temperaturas del concreto, entre otros aspectos que son los que determinarán la funcionalidad de este.

Es común que, en lugar de usar un cemento especial para atender un caso en particular, a este se le pueden cambiar algunas propiedades agregándole un aditivo. Este es un material diferente a los normales en la composición del concreto, ya que este se agrega inmediatamente antes, después o durante la realización de la mezcla, con el propósito de mejorar las propiedades del concreto, tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad, etc.

En la actualidad, muchos de estos productos existen en el mercado, y los hay en estado líquido y sólido, en polvo y pasta. Aunque sus efectos están descritos por los fabricantes, cada uno de ellos debe de verificarse cuidadosamente antes de ser usado.

Los aditivos más comunes empleados se clasifican de la siguiente manera:

### **8.35-Inclusores de aire**

Es un tipo de aditivo que, al agregarse a la mezcla de concreto, produce un incremento en su contenido de aire, provocando, por una parte, el aumento en la trabajabilidad y en la resistencia al congelamiento, y por otra, la reducción en el sangrado y en la segregación.

### **8.36-Fluidizantes**

Estos aditivos producen un aumento en la fluidez de la mezcla, o bien, permiten reducir el agua requerida para obtener una mezcla de consistencia determinada, lo que resulta en un aumento de trabajabilidad mientras se mantiene el mismo revenimiento. Además, puede provocar aumentos en la resistencia, tanto al congelamiento como a los sulfatos y mejoran la adherencia.

### 8.37-Retardantes del Fraguado

Son aditivos que retardan el tiempo de fraguado inicial en las mezclas y, por lo tanto, afectan su resistencia en edades tempranas. Estos pueden disminuir la resistencia inicial. Se recomienda para climas cálidos, grandes volúmenes, o tiempos largos de transportación.

### 8.38-Acelerantes de la resistencia

Producen, como su nombre lo indica, un adelanto en el tiempo del fraguado inicial mediante la aceleración de la resistencia a edades tempranas. Su uso se recomienda en bajas temperaturas para adelantar el retiro de la formaleta. Además, puede disminuir la resistencia final.

### 8.39-Estabilizadores de volumen

Producen una expansión controlada que compensa la contracción de la mezcla durante el fraguado y después de este. Su empleo se recomienda en base de apoyo de maquinaria, rellenos y resanes.

### 8.40-Endurecedores

Son aditivos que aumenta la resistencia al desgaste originado por efectos de impacto y vibraciones. Reducen la formación de polvo.

También se encuentran otro tipo de aditivos como son los impermeabilizantes, las membranas de curado y los adhesivos.

Dentro de las aplicaciones comunes en donde se utilizan aditivos se encuentran las siguientes:

- Construcción de cisternas y tanques en las que se emplean impermeabilizantes.
- Para llevar el concreto a alturas elevadas por medio de bombeo se puede aplicar aditivos fluidizantes o retardantes del fraguado.
- En la reparación de estructuras dañadas donde se debe de unir concreto viejo con concreto nuevo se utilizan aditivos adhesivos.
- En fundiciones donde las temperaturas son bajas, los aditivos inclusores de aire se usan para obtener concretos resistentes al efecto del congelamiento.
- Para el correcto y eficiente anclaje de equipo y maquinaria se usan aditivos expansores, los cuales proporcionan estabilidad dimensional a las piezas por anclaje.

Para hacer uso de los aditivos deberá de conocerse inicialmente el propósito de su uso, para luego ponderar los beneficios que este pueda traer al proyecto, para así definir adecuadamente el producto a emplear. A esto se suma la importancia conocer adecuadamente las características del aditivo que se debe de utilizar para obtener los resultados esperados.

### 8.41-Fabricación

De acuerdo con los avances en la química de los aditivos con base en polímeros en la fabricación, a continuación, se listan algunas de las bases que los componen:

- Lignosulfatos
- Gluconatos
- Naftalenos sulfonados
- Melaminas sulfonada
- Copolímeros vinílicos (tecnología Sika)
- Policarboxilatos modificados (generación más reciente)

Los plastificantes y superplastificantes son los productos más numerosos y ampliamente utilizados. Estos pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Lignosulfonatos
- Naftalénsulfonatos
- Melamina-sulfonado policondensados
- Copolímeros Vinílicos
- Policarboxilatos

La adición de superplastificantes y/o plastificantes aumenta la manejabilidad del concreto sin variar su contenido de agua. Por otra parte, cuando se mantiene la fluidez constante, el contenido de agua puede reducirse significativamente. Estos productos pueden usarse para aumentar la trabajabilidad y, al mismo tiempo reducir el contenido de agua, es un efecto combinado.

De forma general, se enumeran a continuación las características principales de los distintos tipos de aditivos plastificantes:

#### **8.42-Lignosulfonatos**

Pertencen a la primera generación de aditivos plastificantes para el concreto. Probablemente, son aún los más utilizados dentro de la tecnología simple de aditivos. Se extraen del proceso de producción de celulosa y de la industria del papel. Se consigue una reducción de agua de aproximadamente el 10%. Debido a la presencia de sustancias reductoras, tienden a producir retrasos en el fraguado del concreto cuando se usan a altas dosificaciones y esto puede tener un efecto negativo en el desarrollo de resistencias

#### **8.43-Naftalén sulfonatos**

Son parte de la segunda generación de plastificantes para concreto. La materia prima se extrae del proceso de refinado del carbón. Proporcionan una reducción de agua de hasta 25%. Debido a su estructura molecular hidrofóbica, tienden a generar espumas que pueden traducirse en la incorporación de algo de aire en el concreto. Ofrecen una eficiente reducción de agua comparados con los lignosulfonatos.

#### **8.44-Melamina sulfonatos**

Se clasifican también dentro de la segunda generación de aditivos y están basados en polímeros sintéticos. La reducción de agua es similar al naftaleno, pero las resistencias a edades tempranas son aquí más altas. Puede ocurrir que a bajas relaciones agua/cemento, se produzca un flujo viscoso.

#### **8.45-Copolímeros vinílicos**

Son aditivos superplastificantes de tercera generación y se trata de una tecnología única de Sika. Estos polímeros sintéticos poseen moléculas de mayor tamaño que los anteriores citados, proporcionando un efecto plastificante mayor, la dispersión de las partículas de cemento es mucho más efectiva y así proporciona una mayor reducción de agua (alrededor del 30%) dando al concreto mayores resistencias mecánicas. En este tipo de superplastificantes se alcanza una relación óptima coste/comportamiento, cuando se compara con los aditivos de tipo carboxilato, de mayor coste. Este tipo de aditivos es ya válido para la elaboración de concretos autos compactables, ya que se logra una alta manejabilidad del concreto.

#### **8.46-Policarboxilatos**

Pertencen a la última generación de superplastificantes. Químicamente se basan en copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico y poseen cadenas laterales a diferencia de los plastificantes tradicionales (macromolécula tipo peine). Se alcanza una reducción de agua de hasta el 40% combinado con una manejabilidad controlada y desarrollo de resistencias mecánicas tempranas. Estas características ofrecen nuevas aplicaciones.

Estas tecnologías se utilizan muchas veces en combinación. Los aditivos tradicionales se basan en un efecto de dispersión, la molécula de aditivo tiene una estructura de dipolo con grupos cargados negativamente. Estas moléculas se adsorben en las partículas de cemento y les dotan así de carga negativa, haciendo que las partículas de cemento se repelan entre sí. Al pasar el tiempo, progresa la hidratación del cemento y las moléculas de aditivo llegan a cubrirse por los productos de hidratación, deja de haber un efecto de dispersión. En el caso de la nueva generación de aditivos el tipo vinílico, pero especialmente con los carboxilatos, no sólo se produce un efecto de dispersión sino también un efecto estérico.

Ya que estos aditivos se basan en moléculas complejas con un alto grado de flexibilidad, y comprenden diferentes grupos funcionales, con diferentes longitudes de cadena.

Las largas cadenas laterales crecen más allá de los productos de hidratación del cemento formados, proporcionando un mayor efecto de dispersión.

Estas cadenas laterales son responsables del efecto estérico e interaccionan con el agua. Al transcurrir el tiempo, una segunda molécula se hace activa mediante el mismo efecto estérico, y así se logra una actividad más duradera en el tiempo. Por este motivo, estas nuevas generaciones de aditivos son especialmente adecuadas para la elaboración de concreto auto compactable. Como aditivos complementarios para la elaboración de concreto autocompactable, suelen utilizarse los llamados agentes de viscosidad.

#### **8.47-Agentes de viscosidad**

Estos productos se hacen necesarios cuando no se cuenta con los materiales más adecuados para obtener un concreto de características adecuadas de fluidez y cohesión o cuando la mezcla de este ha variado desde su diseño hasta su ejecución por diversos motivos y se producen segregaciones por exceso de agua. En estos casos la adición de pequeñas cantidades de estos aditivos, dotan al concreto de cohesión debido a sus propiedades como regulador del volumen de agua en el sistema. Estos productos no responden a una nueva tecnología, sino que productos ya existentes para otros usos han encontrado aquí una nueva aplicación, han surgido nuevos desarrollos de sustancias específicas para esta función.

De forma general, pueden dividirse en los siguientes grupos:

Éteres de celulosa, micro/nano sílices y sílices coloidales

Los llamados biopolímeros basados en gomas naturales, óxidos de polietileno, siendo estas formulaciones algo más innovadoras, en el mecanismo de funcionamiento en el sistema de concreto. Algunos de ellos presentan un coste elevado y otras características desfavorables como alta viscosidad, altas dosificaciones, corta vida útil, etc.

Se están realizando nuevos desarrollos actuales en el sentido de buscar otras alternativas.

#### **8.48-Tipos:**

Por su función, se les puede clasificar a los aditivos como:

- Reductores de agua.
- Retardantes
- Acelerante
- Reductores de agua – Retardantes
- Reductores de agua – Acelerantes
- Reductores de agua de alto poder
- Retardantes
- Aditivos minerales finamente divididos
- Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión y ayudas para bombeo.

#### **8.49-Ensayos:**

- Muestreo de concreto fresco
- Determinación del revenimiento en el concreto fresco
- Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco
- Elaboración y curado especímenes.
- Cabeceo de especímenes cilíndricos
- Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto

- Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, mediante la resistencia a la penetración.
  - Mortero sin contracción Grout.
  - Mortero de reparación.
  - Ensaye en mortero de compuestos que forman membrana de curado para retener la humedad.
  - Ensaye en mortero de aditivos acelerantes de fraguado para concreto lanzado.
  - Determinación de la resistencia del sistema látex empleado en concreto, por cortante en planos inclinados.
- 
- Determinación de la resistencia de la adherencia del sistema a base de resina epóxica empleada en concreto por cortante en planos inclinados.

### 8.50-Impacto

Las principales razones para el uso de los aditivos son:

- Reducir el costo de la construcción de concreto.
- Obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva.
- Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones ambientales adversas.
- Superar ciertas eventualidades durante las operaciones de fundición.

### 8.51-Evolución

La historia del uso de aditivos químicos en los concreto se remonta al siglo pasado, tiempo después de que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland».

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los concretos fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad.

En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el concreto. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener concretos más resistentes, económicos y durables. Obras como la central hidroeléctrica Rapel y el aeropuerto Pudahuel son ejemplos de esa época.

También se inició el uso masivo de los plastificantes en la edificación, donde como ejemplo está el edificio de la CEPAL construido en el año 1960 (sede de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe Cepal, Vitacura, ciudad de Santiago, Chile.). En la década del 70 se introdujeron en América Latina los primeros aditivos súper plastificantes, revolucionando la tecnología del concreto en esa época, por cuanto se logró realizar concretos fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del concreto proyectado que a su vez requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura. En la década de los 80 se introdujo el uso de micro sílice, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos súper plastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del concreto.

Con este material se confeccionan de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa. Estos extraordinarios concretos se han utilizado en sur América en pavimentos sometidos a fuerte abrasión en minería y obras hidráulicas.

### 8.52-Situación normativa de los aditivos

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950 y se relacionó al primer tipo de aditivo, incorporadores del aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.

En Europa los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y 1963 en Inglaterra. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos.

(Aditivo " Adición.)

Características y propiedades principales Su influencia se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la ductilidad y compactación necesaria.

### 8.53-Norma guatemalteca

*COGUANOR NTG 41070*

### 8.54-Tipos o clases

Existen tres tipos o clases de aditivos: Plastificantes, Fluidificantes y Súper fluidificantes.

### 8.55-Plastificantes

Estos son los sólidos disueltos en H<sub>2</sub>O, sus propiedades permiten más trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento y disminuye la segregación cuando el transporte es muy largo o cuando hay grandes masas de concreto. Estos pueden ser usados: Inyectados, proyectados, o pretensados.

### 8.56-Fluidificantes

Estos son formulaciones orgánicas líquidas, al igual que la anterior sus propiedades permiten más trabajabilidad, disminuye la relación entre el agua y el cemento.

Estos pueden ser utilizados en concretos bombeados, largos transportes., concretos proyectados con armaduras.

Se Clasifican en:

1ª Generación - 70% Rendimiento cementicio.

2ª Generación - 75% Rendimiento cementicio.

3ª Generación - 100% Rendimiento cementicio.

### 8.57-Súper fluidificantes

Estos son formulaciones orgánicas líquidas, estos pertenecen a la tercera generación.

#### 8.57.1-Usos

Modificadores de fraguado: Retardador o acelerador de fraguado - modificar solubilidad.

### 8.58-Tipos

#### 8.59-Aceleradores de fraguado

Cloruros [Cl<sub>2</sub>Ca (más eficaz), ClNa, ClAl, ClFe], Hidróxidos, Carbonatos., Silicatos.

## 8.60-Retardadores de fraguado

Existen dos tipos: Inorgánicos (ZnO, PbO, PO<sub>4</sub>H<sub>3</sub>, BO<sub>4</sub>H<sub>3</sub>), Orgánicos (ácido orgánico, glicerina). Estos dependen del tipo, cantidad de cemento, dosificación y la relación entre el agua y el cemento. Consiste en reacciones químicas en las que aparece una película alrededor del cemento, impidiendo que se hidrate.

## 8.61-Aceleradores de endurecimiento

Son los que Modifican la resistencia mecánica, este a su vez puede producir efectos secundarios: Bajan la resistencia final y puede originar retracciones.

- ACELERADOR < 2,5% ACELERA.
- ACELERADOR > 2,5% RETARDA.

Modificadores contenido gases: Son los que facilitan la correcta distribución del aire ocluido.

## 8.62-Otros aditivos

### 8.62.1-Colorantes

Pigmento que se le añade al cemento para modificar el color y está formado por óxidos metálicos.

Deben cumplir con: tener un alto poder de coloración, gran facilidad para mezclarse con el cemento, que sea insoluble en el agua, que sean estables a la luz y al ambiente, además de a los ambientes agresivos, que no alteren el proceso de fraguado del concreto.

### 8.62.2-Anticongelantes

Cuando el concreto está a bajas temperaturas y se utilizará hasta una temperatura de -14°C.

Impermeabilizantes

Son repelentes al agua y actúan cerrando el sistema poroso del concreto mediante sustancias químicas durante el fraguado. Este no es totalmente efectivo.

### 8.62.3-Impermeabilizantes

En determinadas construcciones como pueden ser tuberías, depósitos, canales, etc., además de requerir concretos de buenas resistencias mecánicas, es necesario que estos sean impermeables a fin de impedir que el agua pase a través de ellos. Por otra parte, en obras o estructuras que han de estar en contacto con agua o con terrenos húmedos es conveniente que el hormigón se oponga a que el agua ascienda por él valiéndose de sus conductos capilares.

La permeabilidad de los concretos depende de varios factores relacionados entre sí y que pueden resumirse en los siguientes:

- Compacidad, que, es función de la forma y granulometría de los áridos, de la dosificación de cemento, de los medios de puesta en obra empleados y del curado.
- Estructura de la pasta de cemento hidratada en la cual se encuentran microcristales desilicatos y aluminato de calcio que presentan una red de conductos capilares formados al evaporarse parte del agua durante el proceso de hidratación.

El volumen capilar formado suele ser del 28 por 100 del volumen total de la pasta hidratada, aunque depende de la relación agua/cemento y de las condiciones de curado. Este volumen es tanto menor, cuanto más baja es la relación agua/cemento, dentro de un límite, y cuanto más eficaz haya sido el curado del concreto, a ser posible realizado en ambiente saturado de vapor de agua.

Si el concreto se ha fisurado, por cualquier razón de origen químico, térmico, hidráulico o mecánico, la junta mecánica (estanqueidad) del mismo quedará afectada. Las juntas del concreto originadas por discontinuidades en la colocación del concreto tienen una gran importancia desde el punto de vista de la permeabilidad.

De todo lo anterior se concluye que, si el concreto está bien estudiado, puesto en obra, compactado y curado, se podrá asegurar que es impermeable. No obstante, se pueden emplear diferentes aditivos que mejoren la impermeabilidad del concreto, si los poros y conductos son de diámetros demasiado grandes, será imposible con estos productos conseguir un concreto de características impermeables. Se pueden considerar dos tipos de aditivos para este fin: los reductores de penetración de agua y los hidrófugos.



Los primeros, aumentan la resistencia al paso del agua a presión sobre un concreto endurecido; los segundos, disminuyen la absorción capilar o el paso de agua a través de un concreto saturado.

### 8.63-Normas generales sobre aditivos

Es importante conocer el comportamiento, así como las características de los aditivos que serán empleados en obra, si estos vienen dentro del concreto premezclado en planta el proveedor deberá de facilitar la hoja técnica si así lo requiriera el cliente, si el concreto es mezclado en situ la supervisión deberá de estar debidamente asesorada por el asesor técnico de ventas del producto adquirido. Se deberá de prestar debida atención a lo siguiente:

- Los aditivos que se utilicen en el concreto estarán sujetos a la aprobación previa de la supervisión.
- Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento en todo proceso que el producto usado, para establecer las proporciones del concreto.
- Los aditivos utilizados en el concreto que contenga cementos expansivos deberán ser compatibles con el cemento y no producir efectos nocivos.
- El cloruro de calcio a los aditivos que contengan cloruro que no sea de impurezas de los componentes del aditivo, no deben emplearse en el concreto re esforzado.

### 8.64-Resumen sobre los aditivos

En el comienzo de la arquitectura moderna, el acero impulsó a los constructores a buscar nuevos modelos, los cuales pudieron materializarse en sus formas más extremas gracias a otra innovación, una que envolvía al metal: el concreto armado.

Los aditivos para concreto fueron descubiertos a principios de la década de los 30 en el siglo pasado como resultado de la aplicación del principio de la dispersión, que ya se había utilizado en la cerámica, en los pigmentos y otros campos. El uso de la dispersión en el concreto y de los morteros debió esperar antes de encontrar un agente dispersante efectivo para el cemento, que no interfiriera con la reacción entre éste y el agua.

La industria de los aditivos constituye un apoyo tecnológico importante para el sector de la construcción pues sus productos proporcionan al concreto las características idóneas para su utilización.

Hoy la construcción formal, cada vez en mayor proporción, reconoce las ventajas en tiempos y en calidad de los aditivos, que pueden complementarse con las membranas de curado, los endurecedores para pisos metálicos o no metálicos, los endurecedores químicos, los estabilizadores de volumen o grouts metálicos o no metálicos, etc., debido al desarrollo de esta tecnología.

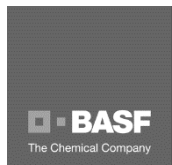
Entre los aditivos a recomendar para la aplicación en el concreto hay distintas marcas y calidades, y para conocer de una manera práctica las cualidades de cada uno de estos debemos de considerar:

Los aditivos para concreto, según la norma internacional de la ASTM, se les cataloga como productos ajenos a los componentes de la mezcla, es decir, que no modifican las propiedades normales del concreto".

NORMA ASTM C494/C494M-08<sup>a</sup> para aditivos para concreto.

A continuación, se menciona a dos de los más grandes productores, inventores y desarrolladores de aditivos para concreto:

1. BASF2 (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, en español: Fábrica badense de bicarbonato de sodio y anilina) es una empresa química, fundada a mediados de 1865 en la ciudad de Ludwigshafen, Renania-Palatinado, por Friedrich Engelhorn con el propósito de producir tintes. Es la empresa química más grande del mundo.



2. Sika AG es una empresa global de productos químicos para los sectores de construcción y automoción, con sede en Baar, Suiza., cuenta con más de 25.000 empleados en más de 101 países.



En el mercado local existe una amplia diversidad en oferta de marcas, a disposición de los diseñadores y constructores, estas dos marcas citadas son únicamente referenciales.

#### 8.65-Los retardantes

Diseñados para la fabricación y colocación del concreto deben cubrir la función prevista, con la ventaja adicional de ser dispersantes, es decir, que evitan la segregación de los agregados dentro de la masa del concreto. Entre los principales usos de los retardantes pueden mencionarse: controlar la velocidad del fraguado en climas donde la temperatura es alta, condiciones en las cuales el concreto tiende a fraguar con mayor rapidez, dificultando la colocación, sobre todo aquellos de alta resistencia con un bajo contenido de agua. El retardante permite una fácil transportación, ya sea en las concretas o en la misma obra, evitando las juntas frías en una misma colocación. Con esto se logra una pieza completa que trabaja estructuralmente de manera uniforme a pesar de tener varias colocaciones.

De igual manera los retardantes fluidificantes tienen funciones semejantes a los anteriores, con la diferencia de que están diseñados, como su nombre lo indica, para dar fluidez a los concretos con bajo contenido de agua.

#### 8.66-Los acelerantes y los acelerantes

Libres de cloruro permiten controlar el tiempo de fraguado en climas fríos, donde este proceso del concreto normal se ralentiza. Este producto permite lograr su resistencia a edades más tempranas y con ello ahorros considerables en la renta de la formaleta. "Que un acelerante esté libre de cloruros garantiza la utilización en aquellos elementos estructurales donde el acero es muy importante y donde aspectos como la corrosión deben resolverse totalmente, y se emplea tanto en elementos prefabricados, como en los hechos en obra, principalmente donde el acero adquiere relevancia.

#### 8.67-Tipos de acelerantes de acuerdo a su composición química

Las bases químicas de los acelerantes son muy variadas, se trata en general de sales orgánicas o inorgánicas y entre los principales compuestos se encuentran:

- Hidróxidos.
- Cloruros, bromuros, fluoruros.
- Nitritos y nitratos.
- Carbonatos.
- Tiocianatos.
- Sulfatos.
- Tiosulfatos.
- Percloratos.
- Silicatos.
- Aluminatos.
- Ácidos carboxílicos.
- Alcanoláminas.

Los aditivos acelerantes se pueden igualmente dividir en dos grandes grupos, el primero corresponde a aquellas sustancias en las que está incluido un ion cloro y el segundo grupo que no incluye este compuesto.

### 8.68-El ion cloro o cloruro

Como se le conoce en la construcción, cobra importancia en la medida que los acelerantes más eficientes son justamente los que lo contienen. Sin embargo, los concretos con cloruros en su interior a partir de cierto límite son proclives a generar corrosión en la armadura de refuerzo. Por ello el comité del ACI 318 impuso ciertos límites para controlar la cantidad de cloruro en los componentes iniciales del concreto.

Es importante recordar que cloruro propicia la corrosión del acero, aun cuando una pequeña dosificación está permitida por las normas internacionales.

### 8.69-Acelerantes sin cloruro

Estos acelerantes ligeramente menos eficientes que los acelerantes con cloruro están basados en nitratos, nitritos o ticianatos. Es un acelerante más enfocado a fraguados, aunque también tiene un efecto sobre las resistencias tempranas. Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) son acelerantes que no promueven la corrosión del acero, al contrario, son usados como inhibidores en Japón y EEUU. Así mismo los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) son igualmente usados como inhibidores y acelerantes.

Se trata así de aditivos multifuncionales, Estos son los acelerantes más populares en EE. UU. para grandes obras, aunque como se mencionó antes, tienen su efecto más notable sobre los tiempos de fraguado, aunque de acuerdo a la dosis y al sistema acelerante/cemento resultante, también logran incrementos importantes en las resistencias tempranas.

El mecanismo de aceleración del fraguado funciona sobre dos frentes: Incrementando la concentración de calcio que permite una más rápida super saturación del agua con respecto al hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Decreciendo la concentración de sulfato (yeso) lo que permite una formación más lenta de la etringita que acorta el inicio de la hidratación del C3A.

Hay otros fluidizantes y plastificantes normales pensados para dar una mejor trabajabilidad y plasticidad al concreto, los cuales se utilizan en concretos de bajo contenido de agua, en aquellos diseños de mezcla en los que prácticamente el revenimiento es muy bajo y cuesta trabajo mezclar el concreto, así como colocarlo. Estos productos lo hacen un concreto plástico y fluido, sin bajar la resistencia del mismo se obtienen resultados con mucha fluidez.

Un aditivo de características muy especiales es el inclusor de aire en masa del concreto, el cual debe dosificarse para no afectar la resistencia. Este producto originalmente se empleó para evitar el congelamiento y el deshielo en climas muy severos.

En Estados Unidos también se le utiliza para dar una mayor resistencia a uno de los enemigos más comunes del concreto: las sales esparcidas en las carreteras durante las nevadas para evitar el congelamiento, como también los accidentes viales.

### 8.70-Inclusores

Se utilizan para darle más fluidez al concreto en el proceso de colocación, pues las microburbujas que se forman en el concreto funcionan como un lubricante interno que permite situar el concreto en moldes de difícil acceso, gracias a este aditivo se consigue un concreto muy terso, y de muy buena calidad.

#### 8.70.1-Recomendaciones de uso

Todos los aditivos mencionados se presentan en forma líquida. Sin embargo, también los hay en polvo y sirven para cerrar los poros del concreto.

Para lograr una óptima utilización y una mezcla uniforme es necesario seguir las instrucciones del fabricante y algunas mínimas recomendaciones, como las siguientes:

- Mezclar los aditivos líquidos en el agua que se va a utilizar.
- Respecto a la proporción, para no desbalancear la mezcla, el aditivo líquido se debe sustituir en el agua por la misma cantidad de aditivo. Por ejemplo, si se utilizan 30 litros de agua por cada saco de cemento, deben agregarse 29 litros de agua, más el litro de aditivo.
- Mezclar el aditivo en polvo con el cemento antes de agregar el agua.

- Para conservar el balance de la mezcla, en caso que el producto tenga una presentación en polvo, a un saco de cemento de 42 kg se le quitan dos kg y se sustituyen por el aditivo integral.
- Se debe evaluar su procedencia.
- Estar acorde con las normas nacionales e internacionales.
- Deben estar fabricados por marcas reconocidas.

### 8.71-Reductores de retracción

Fueron desarrollados en Japón a finales de la década de los noventa. Estas sustancias están diseñadas para actuar sobre el material disminuyendo la tendencia del concreto a retraerse durante su hidratación. Estas sustancias tienen una acción doble tanto sobre las características físicas del líquido intersticial al interior del concreto (disminuyendo entre otros su tensión superficial) como sobre la tendencia general del sistema a disminuir su volumen original.

La retracción por secado del concreto que puede variar en estado endurecido entre 0.2 mm/m a 1.5 mm/m es una de las causas principales relacionadas con la fisuración del material. Cuando se quiere prevenir la generación interna de esfuerzos que terminan traduciéndose en fisuraciones indeseadas se emplean controladores de retracción. Los aditivos reductores o controladores de retracción son especialmente útiles para concretos ricos en cemento y pasta de cemento en general.

Las ventajas más relevantes del uso de aditivos reductores de retracción son:

- Disminución del agrietamiento.
- Disminución de las pérdidas por retracción en elementos pre tensados.
- Disminución de flechas.
- No afectación de la adherencia de concretos con diferentes edades.
- Aumento en el desempeño de materiales de reparación o parcheo.

Los concretos en que más comúnmente se emplean estas sustancias son: auto compactantes, concretos de alto desempeño, concretos o morteros de reparación, en elementos con relaciones superficie/volumen altas, en concretos de segunda etapa de reforzamiento y en estructuras de concreto visto o donde no son admisibles las fisuraciones.

### 8.72-Inhibidores de corrosión

sustancias que retardan la corrosión. Los inhibidores disponibles en la actualidad retardan la iniciación de la corrosión en tasas que permiten duplicar o triplicar la vida útil de una estructura de concreto reforzado. La corrosión del acero en las estructuras de concreto reforzado corresponde a la principal causa de deterioro de estas estructuras, especialmente las expuestas a ambientes contaminados con CO<sub>2</sub> a la acción del agua o sales minerales.

Debido a la necesidad de proteger las inversiones hechas en infraestructura y a disminuir los elevados costos de reparaciones y de mantenimiento, las normas establecieron algunos parámetros relacionados con las propiedades del concreto para atenuar el efecto de la corrosión. Los inhibidores de corrosión corresponden a un nivel aún más elevado de protección que ha demostrado su eficiencia en múltiples ensayos acelerados de laboratorio o en tiempo real en campo.

Un inhibidor de corrosión puede aumentar el nivel de cloruros necesario para iniciar la corrosión (en el caso de corrosión por cloruros), o disminuir la tasa de corrosión una vez ésta se ha iniciado (o ambas). Así un inhibidor puede retardar la iniciación de la corrosión o disminuir la propagación de la misma.

El hidróxido férrico en diferentes formas puede tener un volumen molar entre 2 a 4 veces el volumen original del metal corroído. El proceso de corrosión de esta forma genera esfuerzos internos en el material, que terminan fisurando el concreto de recubrimiento y dando lugar eventualmente a un descascamiento de la superficie que expone aún más al acero, haciendo que el ataque se acelere.

Los inhibidores de corrosión pueden afectar la media reacción catódica (Ec.1) o la anódica (Ec.2) y de esta forma son llamados inhibidores catódicos o anódicos respectivamente.

### 8.73-Inhibidores de corrosión catódicos

Estos inhibidores están basados en aminoalcoholes y se encontró que desplazan los iones de cloruro de las superficies de óxido de hierro debido a que se absorben en una delgada monocapa en las soluciones cargadas de álcalis.

Los aminoalcoholes interrumpen la reacción catódica y en muchas ocasiones vienen acompañados de compuestos impermeabilizantes que tienen un efecto pasivo sobre la penetración de cloruros puesto que impiden su entrada. Es decir, existe un efecto doble en este tipo de sustancias.

Estos inhibidores pueden ser incluidos a la mezcla de concreto directamente para estructuras nuevas, o pueden aplicarse sobre la superficie de estructuras ya construidas de modo que por impregnación alcancen el nivel del acero de refuerzo.

Estos inhibidores que penetran por impregnación son absorbidos finalmente sobre la superficie del acero desarrollando un efecto activo de protección.

### 8.74-Inhibidores de corrosión anódicos

Entre los principales inhibidores anódicos estas los nitritos inorgánicos ( $\text{NO}_2^-$ ) cuya eficiencia es bien conocida. El nitrito de calcio siempre es preferible al nitrito de sodio debido justamente al riesgo de incluir aún más álcalis al concreto.

El nitrito de calcio ha sido usado por más de 30 años como un inhibidor de la corrosión en concreto reforzado. Fue propuesto por primera vez en Japón en la década de 1970 y ha sido extensamente estudiado hasta la actualidad. Por otro lado, los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) tienen un efecto similar de inhibición o retardo de corrosión sin embargo su efecto no es apreciable cuando se efectúan ensayos acelerados de corrosión. Ensayos en tiempo real han demostrado la eficiencia de los nitratos que hoy en día usamos como acelerantes sin cloruros exclusivamente, subestimando así su capacidad de proteger el acero de refuerzo.

### 8.75-Activadores

La necesidad de contar con materiales más sostenibles en vista de que la fabricación del cemento es responsable de cerca del 7% de la generación de  $\text{CO}_2$  en el mundo. Cuando se quema una roca caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) el 40% de su peso se pierde y esa pérdida de peso corresponde a que se ha ido a la atmósfera un compuesto que había presente en esa roca,  $\text{CO}_2$ .

Quemar caliza no sólo produce  $\text{CO}_2$  por la combustión, sino que la roca misma que se calcina produce  $\text{CO}_2$ . Una tonelada de Clinker genera una tonelada de  $\text{CO}_2$  por estos dos procesos combinados.

Por otro lado, existen en la industria minerales generados en la producción de acero, de energía eléctrica que tienen características similares a las del cemento Portland. Conocidas como adiciones minerales, estas sustancias cada día le han venido ganando terreno al uso del clinker como ligante principal en la construcción.

Las adiciones minerales naturales (puzolanas naturales) o artificiales (ceniza volante, meta caolín, escoria de alto horno, humo de sílice), pueden sustituir el cemento con múltiples ventajas que trascienden largamente los argumentos económicos las adiciones en el concreto permiten:

- Disminuir la generación de calor, durante la hidratación.
- Disminuir la retracción del concreto.
- Previenen en el concreto la reacción álcali-agregado.
- Permiten proteger el concreto frente a expansiones por sulfatos.
- Permiten reducir la permeabilidad al ión cloruro y por lo tanto en estructuras marinas aumentan la vida útil.
- Aumentar la impermeabilidad del concreto.

Es por ello que un concreto sostenible debe reducir al máximo su contenido de pasta y sustituir en la propia pasta la mayor cantidad de clinker, por ejemplo, usando adiciones minerales.

### 8.76- Adiciones minerales

Son en su gran mayoría sólidos de óxido de sílice y óxido aluminio mal cristalizados. Esta pobre cristalización hace que las fuerzas de unión entre las moléculas sean débiles, por lo tanto, son proclives a reaccionar con otros compuestos. Esperar a que el concreto con adiciones fragüe o permita ser desencofrado puede ser un ejercicio de paciencia. Este ha sido justamente una de las limitaciones más relevantes a la hora de incluir adiciones en el concreto. El perfil de hidratación de un concreto, mortero o lechada que incluye una adición es mucho más lento que si se le compara con cemento Portland.

Las adiciones se demoran en hidratarse, pero luego de un mes de germinación todavía cuentan con muchos hidratos para nacer y continúan ganando resistencia como no puede hacerlo el cemento portland cuya hidratación luego de las cuatro semanas es más bien escasa.

La resistencia "adicional" luego de los 28 días que pueda lograr una ceniza volante, una escoria o una puzolana, a la construcción en general no le interesa (a menos que se trate de obras con tiempos de construcción muy extendidos como las presas cuyas resistencias se especifican al año). Este dilema obliga a componer el perfil de desarrollo de las resistencias de adiciones aumentando la tasa de reacción durante los primeros días.

Es importante conocer la necesidad o característica que se pretende alcanzar con los distintos tipos de aditivos para concreto, ya que este permitirá escoger y aplicar el aditivo adecuado, con los resultados deseados.

### 8.77-Fibras

Las fibras naturales vegetales o simplemente fibras naturales eran usadas empíricamente para reforzar varios materiales de construcción, o bien para la producción de material textil. Sin embargo, es hasta años recientes que los científicos se han dedicado a estudiar el uso de este tipo de fibras como retuerzo en el concreto.

En los últimos años, el uso de fibras como refuerzo del concreto ha tenido un auge importante en los diseños y la producción de la mezcla. Sin embargo, no se trata de una técnica nueva en el mundo de la construcción; de hecho, se remonta muchos años antes de la aparición del cemento Portland y del concreto, cuando se utilizaban materiales como pasto, hilo, vara, e inclusive, pelo animal, los cuales eran considerados agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión.

Los avances en la tecnología para la Industria de la construcción han permitido desarrollar fibras de diversos materiales, las cuales son especialmente resistentes a los álcalis, tales como: polipropileno, polietilenos, acero, carbono, entre otros.

El rol principal de las fibras está asociado a:

1. Reducir la fisuración por asentamiento (revenimiento)
2. Reducir la fisuración por contracción plástica
3. Disminuir la permeabilidad
4. Incrementar en la resistencia a la abrasión y al impacto.

El aspecto más importante del desempeño mecánico para el concreto reforzado con fibras es el comportamiento a la tensión. Sin embargo, resulta complicado realizar ensayos uniaxiales de resistencia a la tensión, sobre todo si se busca conocer la respuesta del material después de aplicar la carga máxima.

Con respecto a la trabajabilidad del concreto reforzado con fibras, ésta dependerá de la dosificación en volumen y la forma de las fibras, el estado superficial, el enlace entre ellas, las dimensiones de los agregados y su cantidad relativa. Para ensayar la fluidez del concreto, es necesario aplicar la técnica del cono invertido, en el cual se utiliza una vibración interna. No se recomienda el tradicional ensayo de revenimiento, con el cono de Abrams al concreto reforzados con fibras, pues puede llegar a presentar ciertas dificultades, puesto que la matriz del concreto en la mayoría de casos es muy cohesiva y no fluye libremente.

Las fibras como refuerzo secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, (ASTMC 1116, EN 14889. En 14889-2 consultar normas actuales si las hubiera. que rigen el empleo de las fibras pág.26) al día de hoy se emplean principalmente esta clasificación:

### 8.79-Fibras metálicas

Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).

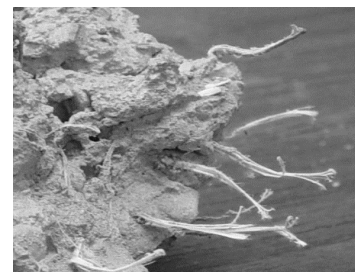
El concreto con fibras de acero en estructuras sometidas al agua en alta velocidad han mostrado que pueden durar hasta tres veces más que las alternativas en concreto convencionales. El concreto reforzado con fibras de acero se emplea además en prefabricados de concreto donde sea necesario el aumento de la resistencia al impacto o a la tenacidad. Las fibras de acero también se usan ampliamente en el concreto lanzado en aplicaciones de capas delgadas, especialmente en la estabilización de la inclinación de taludes y revestimiento de túneles.



Fibra metálica, Fuente: Sika Int.

### 8.80-Fibras sintéticas

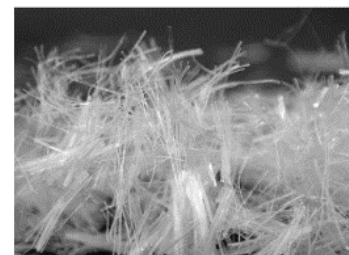
Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliéstileno, Nylon, Poliéster etc. Las fibras sintéticas pueden reducir la contracción plástica y, consecuentemente, la fisuración; además pueden ayudar al concreto después que se fisura. Se producen como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular. Las fibras sintéticas son generalmente utilizadas en: tablonces de cemento, la producción de tejas, mortero, concreto pretensado, entre otros.



Fibra Sintética, fuente Sika Int.

### 8.81-Fibras de vidrio

Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali. Este tipo de fibras aumenta la durabilidad abarcando a su vez revestimientos químicos, formulados para ayudar en el combate de la reagudización inducida por la hidratación y en el uso de una lechada con humo de sílice para rellenar los vacíos entre las fibras, reduciendo la capacidad de infiltración del hidróxido de calcio. La mayor aplicación del concreto reforzado con fibras de vidrio es la producción de paneles de fachada.



Fibra de vidrio. Fuente: Sika Int.

### 8.82-Fibras naturales

Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

Las fibras naturales se han usado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos de cómo las fibras naturales se usaron como una forma de refuerzo. Muchos materiales de refuerzo natural se pueden obtener con bajos niveles de costos de energía, usando la mano de obra y la pericia disponibles en la región. Estas fibras se usan en la producción de concretos con bajo contenido de fibras. Por funcionalidad, geometría y dosificación



Fibra Metálica. Fuente Wikipedia.

### 8.83-Microfibras

Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m<sup>3</sup> de concreto.



Micro fibra. Fuente Sika Int.

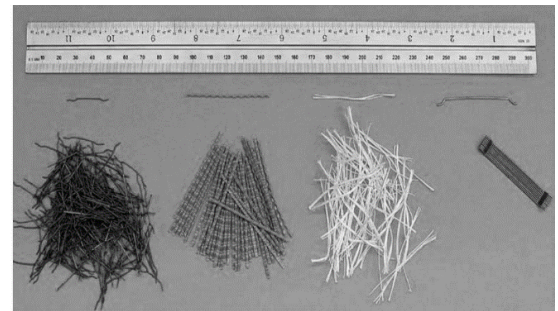
Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier.

Denier es el peso en gramos de 9.000 metros de una sola fibra. Las microfibras son una excelente y muy económica forma de prevenir la fisuración antes de las 24 horas. Es por ello que su uso resulta muy extendido sobre todo en pisos, pavimentos, prefabricados y en general a todos los materiales cementicios, con una relación superficie expuesta/volumen alto.

Las microfibras en general reducen dramáticamente la tendencia a la fisuración o simplemente la eliminan antes de las 24 horas (retracción plástica), en la mayoría de las ocasiones hacen que el concreto en estado fresco, en apariencia, pierda manejabilidad o asentamiento. Es decir que el concreto reforzado con fibras puede generar problemas frente a supervisiones a la hora de aceptar el concreto.

### 8.83-Macrofibras

Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) varía entre 20 a 100.



Fibra Metálica. Fuente: Wikipedia.

Las macrofibras pueden ser metálicas sintéticas o naturales. Las dosificaciones en términos de peso varían así de acuerdo con la densidad del material, las fibras de acero requieren entre 20 a 50 kg/m<sup>3</sup> de concreto y las fibras sintéticas (polipropileno) entre 2 a 9 kg/m<sup>3</sup>.

Actúan en estado endurecido, es decir antes de las 24 horas no tienen mayor efecto. Estas se incluyen y mezclan en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión. Para las dosificaciones y volúmenes antes mencionados, las macrofibras metálicas o sintéticas no alteran la resistencia a la compresión y lo hacen de una manera muy leve (o despreciable) sobre las resistencias a la tensión y flexión.

En realidad, las macrofibras se incluyen en el concreto para aumentar la tenacidad del material, es decir para hacer que las estructuras, incluso después del agrietamiento de la matriz, puedan seguir siendo cargadas.

La tenacidad es una propiedad que describe de una manera más completa la capacidad de un material para soportar cargas antes de colapsar.



#### **8.84-Prefabricados**

Para elementos prefabricados cuyas dimensiones y espesores están optimizadas, las fibras han sido desde la década de los setenta un elemento común. El transporte, la colocación de estos elementos hacen que sean susceptibles a despostillamientos, agrietamientos y descascaramientos. Las fibras (micro y macro) en estos casos resultan muy útiles debido a que el agrietamiento de los elementos se reduce y si tiene lugar, le permiten a la unidad continuar funcionando sin desecharla.

En el caso particular de elementos aligerados de bajas densidades, las microfibras se han usado históricamente para disminuir su fisuración en estado fresco, pero también para mejorar el monolitismo del material y hacerlo menos "frágil", es decir, para aumentar su capacidad de deformación, hacerlo más "dúctil" antes de que se produzca la falla. Las aplicaciones de fibras en tuberías, vigas, prelosas, micro como macro son un hecho cotidiano puesto que les permiten a dichos elementos eliminar o convivir con la fisuración.

Las fibras de asbesto empleadas en la fabricación de elementos tan esbeltos como tejas o láminas, se usaron durante muchos años hasta que surgieron inquietudes acerca de consideraciones de salud por la presencia de este material.

Hoy en día las fibras de polipropileno, nylon, polietileno, metal etc., que son inocuas frente a la salud humana, se emplean con fines similares en la producción de prefabricados. Tanto en la prefabricación pesada (pilotes, postes, dovelas, vigas) como en la prefabricación liviana (ladrillos, láminas, etc).

#### **8.85-Concreto lanzado**

Al igual que en pisos y pavimentos en concreto lanzado las macrofibras sustituyen la malla electrosoldada, que en este caso se constituye en parte de la ruta crítica de un ciclo de excavación. Los tiempos de ahorro que representan eliminar la colocación y fijación de la malla justifican ampliamente la diferencia en costo por metro cuadro del material colocado.

Más allá del aumento en el rendimiento de excavación, el uso de las fibras como refuerzo permite un ahorro muy importante en la cantidad de concreto lanzado debido a que pueden seguirse estrictamente los espesores del concreto. La condición de seguir estrictamente el perfil de la excavación sin preocuparse por el cubrir (sepultar) la malla, no solo se convierte en un ahorro evidente de material sino al mismo tiempo en un ahorro de tiempo.

El interés de cualquier constructor de túneles es disminuir la excavación al máximo y sin duda el control de espesores es un tema de vital interés en la concepción y construcción de estas obras subterráneas. Las macrofibras metálicas o sintéticas han sido profusamente usadas en el mundo como refuerzo en el concreto lanzado para todas las aplicaciones (taludes, túneles, reparación, reforzamiento etc.).

#### **8.86-El hierro**

El hierro (Fe) se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, y raramente se encuentra libre. Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Es un metal maleable, de color gris plateado y presenta propiedades magnéticas.

La obtención del hierro como materia prima para la fabricación de lingotes de acero como materia prima se puede realizar de dos formas: usando material de mina o reciclando chatarra que posteriormente será fundida.

En Guatemala dos empresas tienen la producción y distribución del acero: Aceros Suárez y la Corporación Aceros de Guatemala (que incluye a SIDEGUA, Indeta y Distum).

#### **8.87-Acero corrugado**

Varilla corrugada o tetracero es una clase de acero laminado diseñado especialmente para construir elementos estructurales de concreto armado. Es una aleación del acero con 0.22% Carbono, 0.05% Fósforo, 0.05% Azufre y 0.012% de Nitrogeno<sup>1</sup>. Se trata de barras de acero que presentan resaltes o corrugas que mejoran la adherencia con el concreto, y poseen una gran ductilidad, la cual permite que las barras se puedan cortar y doblar con mayor facilidad.

Se llama armadura a un conjunto de varillas de acero corrugado que forman un conjunto funcionalmente homogéneo, es decir, que trabajan conjuntamente para resistir cierto tipo de esfuerzo en combinación con el concreto. Las armaduras también pueden cumplir una función de montaje o constructiva, y también se utilizan para evitar la fisuración del concreto.

Además de tener un papel fundamental en absorber los esfuerzos de tracción y torsión de la construcción. Las varillas se pueden utilizar en la construcción de losas aligeradas de luces cortas, vigas, estribos, eslabones, mochetas, losas tradicionales, elementos prefabricados, postes de concreto, acero adicional para viguetas, estribos, refuerzo horizontal en muros de mampostería y tubería de concreto.

Las varillas son barras de acero, generalmente de sección circular, con diámetros específicos a partir de un cuarto de pulgada y comercialmente disponibles hasta con diámetro de una pulgada. Normalmente, la superficie de estas varillas es corrugada (rebordes) que mejoran la adherencia a los materiales aglomerantes e inhiben el movimiento relativo longitudinal entre la varilla y el concreto que la rodea.

Las corrugaciones deben estar espaciadas a lo largo de la varilla a distancias sustancialmente uniformes. Las corrugaciones sobre los lados opuestos de las varillas deben ser similares en tamaño y forma. También existen varillas de sección cuadrada empleadas con más frecuencia en la herrería.

Guatemala por ser una zona de alto riesgo sísmico requiere que el acero cumpla con los requisitos de ductilidad, haciendo énfasis en la plataforma plástica que presenta la gráfica de esfuerzo-deformación, que requiere la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y la ASTM), en función de verificación cuantitativa de la utilización de aceros que cumplan con especificaciones de calidad.

En las construcciones, la ductilidad del acero (generada por medio de la formación de articulaciones plásticas) es necesaria para disipar la energía que produce durante un sismo, por ello se requiere que dicho acero cumpla con los estándares de manufactura dados por los códigos de manufactura industrial de los mismos.

De acuerdo con Nawy (1988:62), el acero para refuerzo es el componente que en construcción trabaja a tensión en el concreto reforzado, esto se debe a que el concreto es fuerte en compresión, pero débil en tensión.

Algunas veces se utiliza refuerzo adicional de acero para fortalecer la zona de compresión de las secciones de las vigas de concreto. Este acero es indispensable para construcciones que soportarán cargas grandes, a fin de reducir las deformaciones a largo tiempo.

### 8.88- El acero para refuerzo

Empleado con el concreto consiste en barras, alambres y mallas de alambres soldados, los cuales se fabrican de acuerdo con las normas de la ASTM. Las propiedades físicas y mecánicas más importantes del acero para refuerzo, consideradas por la COGUANOR, son:

(Tabla I):

**Tabla I. Propiedades físicas y químicas del acero para refuerzo**

Características físicas	Propiedades mecánicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masa unitaria</li> <li>▪ Diámetro</li> <li>▪ Área de la sección transversal</li> <li>▪ Perímetro</li> <li>▪ Espaciamiento promedio</li> <li>▪ Ancho máximo de separación entre extremos de corrugaciones</li> <li>▪ Altura de corruga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Punto de fluencia</li> <li>▪ Carga de fluencia</li> <li>▪ Carga máxima</li> <li>▪ Máxima resistencia a la tensión</li> <li>▪ Elongación</li> <li>▪ Módulo de Young, Es</li> <li>▪ Resistencia de fluencia, fy</li> <li>▪ Resistencia última, fu</li> <li>▪ Designación del grado de acero</li> <li>▪ Tamaño y diámetro de la varilla o alambre</li> </ul>

Fuente: COGUANOR, 2005 y Nawy, 1988

### 8.89-Tipos de aceros

Las características de resistencia y demás propiedades del acero y de los elementos para aleación dan como resultado diferentes tipos de acero que son usados en la industria y en la construcción. En general, se puede decir que los aceros se pueden clasificar en aceros forjados, aceros estructurales que incluye tres grados, según el límite de fluencia mínimo (Tabla IV), aceros a los carbones ordinarios y otros productos ferrosos, así como semi productos, hierros elaborados, perfiles laminados y cables (Tabla 2) (Hornbostel, 2002:68).

Tabla. Clasificación del acero por grado según sistemas de medida.

Sistema Internacional de Medidas (SI) dado en kg/cm	Sistema Inglés dado en miles de lb/pulgadas <sup>2</sup>
Grado 280	Grado 40
Grado 414	Grado 60
Grado 517	Grado 75

Fuente: COGUANOR, 2005

### 8.90-Grados del acero para refuerzo en Guatemala

En Guatemala, las barras de acero para refuerzo se fabrican de las palanquillas que se obtienen del metal reciclado en plantas o acerías como SIDEQUA; las mismas deben cumplir con las normas que para su efecto han sido creadas. Hay varios tipos de barras de acero para refuerzo con designaciones de la ASTM y de la COGUANOR. En estas designaciones, el grado de las barras está dado en los sistemas de medida Sistema Internacional (SI) y el Sistema Inglés. El grado del acero para refuerzo está determinado de acuerdo al límite de fluencia mínimo que tienen dichas barras, de tal forma que el punto de fluencia específico de 40,000 lb/pulgadas<sup>2</sup> corresponde al grado 40 en el Sistema Inglés y su equivalente en el SI de 280 kg/cm<sup>2</sup> o grado 280 (Tabla IV).

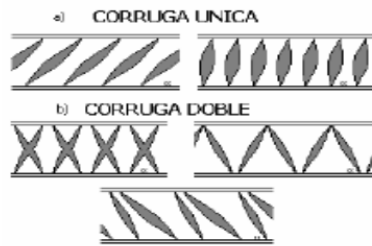
Es de hacer notar que el acero de grado 75 o grado 517 es un acero considerablemente más caro y las barras No. 14 y 18 suelen ser de poca demanda, por lo que tienen que ser solicitadas especialmente a los fabricantes y no son usadas para el tipo de construcciones que se analizan en este estudio. En relación al acabado, la COGUANOR estipula que las barras se clasifican como Clase 1 para barras de acero lisas y Clase 2 para barras de acero corrugadas.

Dentro de las dimensiones que las barras de acero para refuerzo deben tener, según las normas de la COGUANOR están las medidas nominales del diámetro, de la masa por metro lineal y del área de la sección transversal.

En cuanto a sus tolerancias de fabricación, están expresadas en función de la tolerancia por la masa de una barra considerada. De esta cuenta, la norma indica que para las barras de diámetro nominal de 9.53 mm (3/8") o mayores, se aceptará una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria de la barra. Se indica también en dicha norma que, en ningún caso, una masa unitaria mayor que la especificada en la misma podrá ser causa de rechazo (COGUANOR, 2005:19/21).

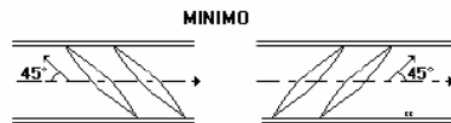
La longitud de las barras de acero para refuerzo se suministra según la norma de la COGUANOR en longitudes de 6, 9 y 12 metros y se permiten tolerancias para las mismas no menores de -25 mm o no mayores de +50 mm, en la longitud en que se suministran las barras. Sobre las corrugaciones, la norma COGUANOR denominada Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO) 36011 indica que se tomará como corruga única aquella que presenta sólo un tipo de nevadura respecto al eje longitudinal de la barra y como corruga doble aquella que tenga más de un tipo de nevadura respecto al eje de la barra (Figura 1).

Diagrama de tipo de  
corrugas según norma COGUANOR  
NGO 36011



(a) Corruga única y (b) Corruga doble.  
Fuente: COGUANOR, 2005

Figura 2. Ángulos mínimos de  
corrugaciones según norma  
COGUANOR NGO 36011



Fuente: COGUANOR, 2005

La norma señala también que toda aquella corruga que presente características especiales o diferentes a las descritas deben de ser aceptadas de manera contractual entre comprador y vendedor (COGUANOR, 2005:8/21).

Según esta norma, las corrugaciones de las barras deberán espaciarse a distancias uniformes y las de igual geometría serán similares en tamaño y forma, así también el espaciamiento promedio entre corrugaciones en cada lado de la barra no deberá exceder siete décimos del diámetro nominal de la barra.

En cuanto al ángulo de las corrugaciones, dicha norma indica que las corrugaciones deberán localizarse con respecto al eje longitudinal de la barra, de tal forma que el ángulo no sea menor de 45.

### 8.91-Varilla corrugada

Es el hierro con carbón utilizado en la construcción de estructuras de concreto reforzado, el cual se puede presentar en grados: 40, 60 y 80.

Varilla ASTM A-615/Coguanor NTG 36011. Barras de acero al carbón corrugadas, con un límite de fluencia mínimo de 280MPa (40,000PSI) donde su principal uso es la construcción de concreto reforzado. Cuenta con presentaciones de 6 y 9 metros. Es importante a observar es que las corrugaciones tengan el mismo espacio a lo largo de la varilla y sean similares en tamaño y forma.

Varilla ASTM A-706/Coguanor NTG 36016

Ventajas:

La ductilidad post elástica absorbe la energía de sismos intensos y evita colapsos en sismos extremos por lo que esta propiedad es sumamente útil para el desempeño estructural en el concreto armado. Ofrece una alta resistencia (límite de fluencia de 60,000 psi

para el Grado 60) con una mayor ductilidad que la ofrecida por la norma ASTM A615 Cumplimiento de la relación de resistencia a la tensión y límite de fluencia de 1.25 solicitado por el código ACI 318-14.

Aumento de los porcentajes de elongación a lo requerido por el código ACI 318-14. Mayor capacidad de disipación de energía y mejoramiento en el comportamiento global de la estructura ante eventos sísmicos.

Elongación mínima (en 8 pulgadas)	
Designación de la barra	%
8M, 8.5M, 11M	14%
3,4,5,6	14%
7,8,9,10,11	12%

Varilla Grado 60	
Propiedades Mecánicas	Norma AST A-706/COGUANOR NTG 36016
Límite de Fluencia Mínimo	60,000 psi
Límite de Fluencia Máximo	78,000psi
Resistencia a la tensión mínima	80,000 psi
Relación mínima entre la resistencia máxima real y el límite de fluencia real	1.25

VARILLA GRADO 40	
Diámetro nominal	Diámetro de doblado acorde ASTM A615/A615 (mm)
3/8"	33.25
1/2"	44.45
5/8"	55.65
3/4"	95.50
7/8"	111.00
1"	127.00



Varilla corrugada Grado 40. Fuente: Aceros de Guatemala

db=diámetro nominal de la varilla AG recomienda que para un doblado correcto de varilla corrugada se sigan las siguientes indicaciones:

Diferencias entre varilla ASTM A615 y ASTM A706		
No	Diámetro acorde a ASTM A615/A615 (mm)	Diámetro acorde a ASTM A706/A706M (mm)
3/8"	33.25	28.50
1/2"	44.45	38.10
5/8"	55.65	47.70
3/4"	95.50	76.40
7/8"	111.00	88.80
1"	127.00	101.60
1 1/8"	200.90	172.20
1 1/4"	226.10	198.80
1 3/8"	250.60	214.80

Fabricar e instalar un pin de acuerdo con las dimensiones indicadas en la tabla. Doblar la varilla alrededor de un pin con un diámetro de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, Doblar la varilla con la fuerza uniforme Asegurar que la varilla este en contacto con el pin durante el doblado.

Las características esenciales del código de calidad que se deben de tomar en cuenta al diseñar bajo las normas establecidas de cálculo son que la varilla de refuerzo muestre entre otras propiedades su capacidad de:

- Ruptura
- Elongación
- Tenacidad
- Límite de fluencia
- Ductilidad
- Separación y el tamaño de las corrugas.

En los países de la región, los reglamentos técnicos establecen que las varillas deformadas se clasifiquen por su esfuerzo de fluencia, es decir su resistencia, en Grado 40 y 60 principalmente. Se especifica la composición química, para permitir que el acero se pueda soldar bajo condiciones controladas. Igualmente se regula la masa nominal en kg/m, a partir de la cual se puede calcular las dimensiones de radio, área de la sección transversal y perímetro de las varillas corrugadas comercializadas en la industria de la construcción.

Diámetro de pin doblado	
No. De designación de barra	Diámetro de mandril para el ensayo de doblado
8M, 8.5M, 11M	3db
3,4,5 (13,16)	3db
6,7,8(19,22,25)	4db
9,10,11(29,32,36)	6db

Importante tener en cuenta que esta información podemos encontrarla en la superficie de la varilla, en medio de las corrugaciones, donde se encontrará:

- El fabricante (su nombre, logo o iniciales)
- Diámetro (en octavos de pulgada o milímetros)
- Grado (Límite de fluencia o resistencia)
- Norma técnica (ASTM o local)
- País de origen (información opcional).

Adicionalmente en los bultos de varillas deformadas, se coloca una etiqueta con informaciones adicionales, tales como: fecha y lote de producción, cantidad de piezas por paquete, peso del paquete, largo de las varillas, etc. Teniendo claras estas importantes características en las varillas corrugadas, podrán ser sugeridas y/o exigidas en los sitios de proyecto.

Elongación Mínima (en 8 pulgadas)	
Designación de la barra	%
7M, 8M, 11M	12%
3,4,5,6	12%
7,8,9,10,11	12%

#### Varillas de Acero por Quintal

Numero	Diámetro	Cantidad por qq
#2	1/4"	30
#3	3/8"	14
#4	1/2"	8
#5	5/8"	4.5
#6	3/4"	3.33
#7	7/8"	2.5
#8	1"	2

### 8.92-Varilla Lisa

También conocido como hierro liso, es fabricado partiendo del alambroón 5.5 mm y de 6.00 mm y mediante un proceso de enderezado, se corta obteniendo 6 metros de longitud.

Se fabrican a partir de acero al carbón laminado en caliente cumpliendo con la norma ASTM A-36. Se utiliza como refuerzo en estructuras de concreto armado, también se utiliza como materia prima para la fabricación de pernos, tensores, tuercas e infinidad de uso en la construcción, industrial y estructura metálica en general.

Diámetro nominal (pulgada)	Diámetro nominal (mm)	Peso por unidad
1/4	6.00	2.91
7/32	5.50	2.5

Propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo.

Entre las propiedades mecánicas de las barras corrugadas de acero para refuerzo están la resistencia (máxima resistencia a la tensión, límite de fluencia y porcentajes mínimos de elongación) y la cedencia (Park y Paulay, 1997:41):

- Resistencia de las barras de acero para refuerzo: la resistencia a la tensión se determina dividiendo la máxima carga que soporta una barra durante una prueba a tensión, entre el área nominal de la sección transversal de la misma.

De esta cuenta, las normas de la ASTM y la COGUANOR indican que las barras de acero reforzado deben cumplir con los requisitos mínimos de la máxima resistencia a la tensión, el límite de fluencia y los porcentajes mínimos de elongación.

Cedencia: corresponde al esfuerzo en el punto de cedencia, también conocido como resistencia de cedencia. Ocasionalmente a la cedencia le acompaña una disminución abrupta en el esfuerzo.

### 8.93-Malla electrosoldada

La malla electrosoldada es una grilla cuyos elementos metálicos han sido ligados a través de una soldadura eléctrica, formando un solo cuerpo enrejado, con estructura de malla, resultado de la unión de todas sus partes.

Es una pieza metálica compuesta por varias tiras iguales de acero, colocadas en paralelo y de canto, separadas entre sí, las cuales llevan soldaduras perpendiculares, en todos sus cruces o intersecciones, unas varillas de diámetro mayor al grueso de las mismas, El procedimiento de fabricación de las mallas "electrosoldadas" destaca por el particular sistema que realiza la unión de las pletinas portantes con la varillas transversales, mediante soldadura a fusión, sin aporte de material, formando con dicha unión un solo cuerpo.

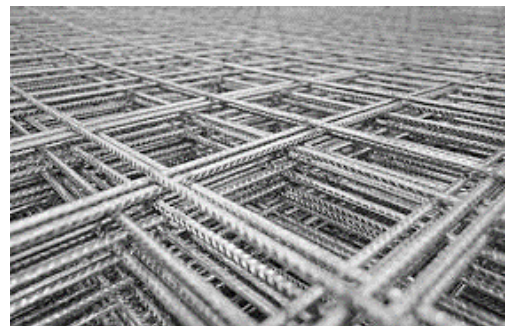


Imagen 1- Malla Electro soldada . Fuente: Monolit.

El calor necesario para efectuar la soldadura a la temperatura de fusión, se obtiene mediante energía eléctrica, y por presión, se consigue la penetración de las varillas transversales con las pletinas portantes. Por su particular sistema de fabricación, admite recortes y formas sin peligro a que pueda desarmarse.



Se emplean para el armado de elementos estructurales de concreto, tanto en vivienda como en proyectos de todo tipo y elementos prefabricados. El uso de mallas electrosoldadas está generalizado en la construcción por la sencillez y rapidez de colocación por personal no especializado. Además, por tratarse de un producto fabricado industrialmente, aporta ventajas técnicas, económicas y de garantía de calidad.

El marco de cierre en los recortes y formas, se realiza con una pletina de igual característica que la pletina portante mediante soldadura MIG (La soldadura MIG/MAG también denominada GMAW es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte o por un gas activo).

El acabado final de la rejilla electrosoldada, fabricada en fleje laminado en caliente, suele ser galvanizada por inmersión en zinc fundido. Dicho acabado le confiere a la rejilla una protección superficial contra agentes corrosivos externos

La malla electrosoldada está diseñada para trabajar en plano, con cargas uniformemente repartidas o con cargas puntuales (cargas concentradas en pequeñas aéreas de contacto), siempre y cuando cuente con un apoyo metálico corrido donde descansen todas las pletinas portantes.

La malla electrosoldada es un producto de gran resistencia y ligereza que es usual encontrarlo en suelos y pasillos de obra industrial (plataformas petrolíferas, centrales de energía, almacenes de vehículos, salidas de emergencia, etc.) como en obra civil (escaleras, vallas, alcorques, canaletas, fachadas, rejas, rejas de protección, vallados, cerramientos, etc.

Se fábrica de conformidad con los estándares internacionales *ASTM A1064 / A497* y las normas guatemaltecas *COGUANOR NGO 36021* y *NGO 36020*.

Conformada en una armadura tipo parrilla pre armada de refuerzo estructural para concreto, fabricada con acero de alta resistencia grado 70, trefilado y grafilado en frío.

Cumple a cabalidad con los requerimientos mecánicos y físicos, así como las pruebas para el aseguramiento de calidad normados.

Está disponible en diferentes calibres en planchas de 2.35 metros de ancho por 6 metros de largo y rollos de 1.22 y 2.35 metros de ancho por 20 metros de longitud en diferentes calibres. Resistencia a la tensión de 5,700 kg/cm<sup>2</sup> (80,000 PSI, 550 MPa) y resistencia a la fluencia de 5,000 kg/cm<sup>2</sup> (70,000 PSI, 485 MPa). Se fabrica en calibres ASWG (American Steel Wire Gauge), con muescas en patrón V y acabados definidos que garantizan la adherencia al concreto.

#### Ventajas

- Espaciamiento exacto
- Calidad y resistencia en la soldadura
- Sustituye el proceso de armar en obra
- Optimiza los recursos de tiempo y dinero, dando como resultado eficiencia y economía
- Posibilidad de fabricar mallas especiales, combinando diferentes calibres, medidas y espaciamientos
- Fabricados conforme normas *ASTM-487*, *ASTM-185* y *COGUANOR*.

#### Aplicaciones

- Cisternas
- Piscinas
- Pavimentos
- Cercos
- Muros
- Aceras
- Losas
- Tubos de concreto
- Muros de contención
- Sistemas prefabricados
- Viviendas

Características

- 6.00 m de largo X 2.35 m de ancho
- 14.10 m<sup>2</sup> de área bruta
- Cuadros de 6" x 6" (15 x 15cm)
- Fabricada con varilla de acero grado 70.

DATOS TÉCNICOS						TABLA DE CONVERSIÓN				
NOMENCLATURA	DIÁMETRO DE VARILLA	ÁREA DE VARILLA	PESO		ÁREA DE REFUERZO	TIPO DE VARILLA	Grado 60 F <sub>y</sub> = 4.218 kg/cm <sup>2</sup>		Grado 40 F <sub>y</sub> = 2.812 kg/cm <sup>2</sup>	
			kg/m <sup>2</sup>	kg/pl			Refuero que sustituye	(cm <sup>2</sup> /m)	Refuero que sustituye	(cm <sup>2</sup> /m)
Cuadro Colibre	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/pl	cm <sup>2</sup> /m					
6" x 6" 10/10	3.43	0.092	0.98	13.87	0.616	Corrugada	No. 2 @ 43	0.733	No. 2 @ 29	1.100
6" x 6" 9/9	3.80	0.113	1.20	16.91	0.756	Corrugada	No. 2 @ 35	0.900	No. 2 @ 23	1.350
6" x 6" 8/8	4.11	0.133	1.40	19.76	0.884	Corrugada	No. 2 @ 30	1.052	No. 2 @ 20.6 No. 3 @ 0.45	1.579
6" x 6" 7/7	4.50	0.159	1.68	23.75	1.060	Corrugada	No. 2 @ 25	1.262	No. 2 @ 17.6 No. 3 @ 0.38	1.893
6" x 6" 6/6	4.88	0.187	1.98	27.93	1.247	Corrugada	No. 2 @ 21.6 No. 3 @ 0.48	1.485	No. 2 @ 14.6 No. 3 @ 0.32	2.227
6" x 6" 4.5/4.5	5.50	0.238	2.52	35.53	1.584	Corrugada	No. 2 @ 17.6 No. 3 @ 0.38	1.886	No. 3 @ 25.6 No. 4 @ 0.45	2.829
6" x 6" 4/4	5.72	0.257	2.72	38.38	1.713	Corrugada	No. 2 @ 16.6 No. 3 @ 0.35	2.039	No. 3 @ 23.6 No. 4 @ 0.41	3.059
6" x 6" 3/3	6.20	0.302	3.19	45.03	2.013	Corrugada	No. 2 @ 13.6 No. 3 @ 0.30	2.396	No. 3 @ 20.6 No. 4 @ 0.35	3.595
6" x 6" 2/2	6.65	0.347	3.68	51.87	2.315	Corrugada	No. 2 @ 12.6 No. 3 @ 0.26	2.756	No. 3 @ 17.6 No. 4 @ 0.31	4.134

Se fabrican mallas especiales a pedido (aplican restricciones).

Cuadro 1, especificación técnica de electro malla. Fuente: Monolit.



Imagen 2 - Preparación de área, malla electro soldada.



Imagen 3 – Colocación de concreto sobre malla electro soldada.

# Capítulo 9

## Concreto premezclado

### 9.1-Concreto premezclado

Concreto preparado en planta, en instalaciones fijas y transportado hasta el lugar de utilización por camiones especiales, denominados camiones mezcladores o agitadores, según el caso. La industria del concreto premezclado tiene amplio auge en los países desarrollados, en los cuales la casi totalidad o mayor producción de concreto se produce en plantas con esta finalidad. En nuestro medio, su campo de acción es importante y ha logrado alta tecnología y calidad.

El concreto premezclado es el resultado de un proceso de mezcla controlado de cemento, agregado grueso, agregado fino, y agua; en algunos casos incluye uso de aditivos. Su densidad es de 2,300 - 2,500 kg/m<sup>3</sup> y está especialmente diseñado para su aplicación en todo tipo de estructuras de concreto, como son: columnas, vigas, cimentaciones, muros, pisos.

Es muy importante disponer de personal y equipos necesarios cuando el concreto llegue a la obra, para realizar el vertido y colocado con rapidez.

Controlar todas las variables que intervienen en la colocación, vibrado, acabado y curado; para garantizar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Este se deberá de curar por un tiempo mínimo de 7 días.

### 9.2-Historia

En 1872 el ingeniero Deacon expresó que el concreto premezclado, preparado especialmente para ser empleado directamente en la obra sería una gran ventaja para la industria de la construcción. Y así nació la idea del concreto premezclado. Ese mismo año se estableció en Inglaterra la primera planta de concreto premezclado en el mundo. Se continuó en Alemania en 1903, Estados Unidos en 1913, Dinamarca en 1926, Noruega y Suecia en 1937, Australia en 1939, Islandia en 1943, Holanda en 1948, México 1950, Bélgica en 1956, Finlandia y Sudáfrica en 1958, Austria en 1961, Italia en 1962, Israel en 1963 y en Argentina en 1964".

### 9.3-Definición

El concreto premezclado es un material que se entrega o se fabrica en un sitio determinado por medio de plantas con sistemas dosificadores de alta precisión que realizan un mezclado altamente homogéneo por medio de un mezclador central que puede ser de tipo vertical u horizontal con diferentes configuraciones de hélices o paletas según el concreto deseado y su aplicación final.

La elaboración, curado y ensayo a la compresión de cilindros de concreto deben realizarse de acuerdo a las normas ASTM C-31 y C-39.

Una de las principales ventajas en la utilización de concreto premezclado, no es solo el exhaustivo control de calidad que se realiza en el producto final, sino el control de calidad realizado a cada uno de sus componentes (cemento, agregados, agua, aditivos), los cuales cumplen con los estándares y parámetros de las normas mencionadas anteriormente.

La adquisición de materia prima deberá de requerir a cada uno de sus proveedores, que los materiales a suministrar cumplan con los estándares de calidad correspondientes, que posteriormente son verificados nuevamente.

### 9.4-Reducción de costos de mano de obra

Para la producción y colocación de concreto preparado in situ, es necesario una elevada cantidad de horas hombre en obra, a fin de garantizar la continua colocación del concreto. En cambio, con la utilización de concreto premezclado se reduce significativamente las horas hombre en obra para la colocación de concreto.

### 9.5-Reducción de costos de herramientas y equipos

Los equipos para realizar la mezcla in situ son sustituidos por el mixer y bomba de concreto premezclado, y las herramientas como carretillas, bateas, baldes, entre otros, se reducen significativamente.

### 9.6-Almacenamiento de materia prima

Para la producción de concreto el mantener almacenada la materia prima para la producción de concreto en obra, requiere un área extensa y bajo condiciones controladas, que no alteren la calidad de la materia prima, por lo tanto, el ahorro de espacio de almacenamiento es un argumento valioso cuando no se cuenta con área destinada a este propósito.

### 9.7-Mezclas homogéneas

Los diseños de mezcla son elaborados, verificados y validados antes de su producción; así mismo todas las plantas de concreto son calibradas y verificadas, asegurando una correcta dosificación de las materias primas, evitando variaciones durante la producción.

### 9.8-Control de calidad

Como se mencionó anteriormente, se realiza el control de calidad a los insumos que forman parte de cada diseño de mezcla, y de la misma manera se realiza el control de calidad al producto final en estado fresco y endurecido, que, junto con las plantas debidamente calibradas, aseguran un producto homogéneo.

### 9.9-Tomar en cuenta

Cuando el concreto es premezclado, requiere tomar ciertas recomendaciones; por ejemplo, el equipo de transporte y la organización del personal debe ser compatible con el volumen y rapidez del suministro del concreto con que abastecen los camiones.

Es preciso determinar anticipadamente el volumen requerido para efectuar el pedido y en mitad de la fundición o faltando algunos viajes, establecer con mayor aproximación el volumen necesario para evitar que falte o que sobre el concreto.

Debe especificarse al proveedor de concreto que contenga aire incorporado, se deberá especificar al contenido de aire promedio y su tolerancia. Además, se debe dar información relacionada con la organización en obra, se debe especificar el día, hora de remisión, intervalo de llegada de los camiones a la obra, etc., acondicionar adecuadamente el acceso, tener los encofrados listos en número y capacidad suficiente de acuerdo al volumen solicitado.

No debe permitirse la adición de agua en obra para soltar la mezcla sin la autorización de la supervisión.

Previo al suministro y colocación del concreto se recomienda llevar a cabo la inspección de los elementos a fundir para asegurar que la estructura o elemento se encuentra lista para recibirlo:

- Alineación y pendiente del elemento
- Revisión de las dimensiones
- Hermeticidad, estabilidad y limpieza del sistema de formaletas
- Tamaño, grado, ubicación, empalmes, limpieza y recubrimientos del acero de refuerzo de la estructura
- La perfecta colocación de elementos o instalaciones embebidas
- Revisar las condiciones ambientales con el fin de prever la necesidad de algún sistema de protección especial
- Se recomienda una vez terminada la colocación del concreto, implementar un procedimiento de protección y curado, con el fin de garantizar la obtención de resistencia a 28 días.

Durante el mezclado y colocación del concreto:

Verificación:

Se deben verificar los datos de las Notas de remisión contra los del Pedido; anotar la hora de llegada del camión a la obra y cotejarla contra la hora de salida de la planta o contra la hora en que se inició el primer mezclado. Verificar los datos de la revolvedora: la capacidad del tambor y las velocidades de mezclado y de agitación en la placa visible del camión.

Tiempo de mezclado y de tránsito

El tiempo de mezclado será de siete mínimos, a capacidad llena y máximo de 30 minutos; si en este tiempo el camión no ha llegado a la obra se continuará la rotación del tambor a velocidad de agitado: 2 a 6 rpm.

Si el tiempo de tránsito es mayor o igual que una hora se reanudará la revoltura durante tres minutos a velocidad de mezclado, 10 a 12 rpm, para eliminar la segregación.

### 9.10-Concreto premezclado en Guatemala

En el mercado guatemalteco al día de hoy existe una considerable oferta de concreto premezclado, entre los cuales podemos citar:

- Macromix



- Hormigón express



- Forcogua



- Cemex



- Rapimix



- Mixto Listo



Por razones exclusivas de referencia en este proyecto se utilizó a la empresa Mixto Listo como fuente de consulta y de información acerca de productos.

### 9.11-Mixto Listo

Empresa de capital privado, perteneciente al Grupo Progreso, el cual es un conglomerado de empresas dedicadas a ofrecer soluciones integrales a la industria de la construcción en Guatemala, desde la fase de obra gris, hasta la fase de acabados de la misma.

Como parte de la propuesta de valor de Grupo Progreso, la Empresa Mixto Listo opera como la unidad de negocio dedicada a la fabricación, distribución y colocación de concreto premezclado para la industria de la construcción a nivel nacional.

Un dato importante que permite dimensionar la posición de Mixto Listo en el mercado del concreto premezclado en Guatemala, es el hecho que más del 95% de los proyectos de más de tres niveles en la región metropolitana, fueron o son realizados con concreto suministrado por Mixto Listo, con lo que se demuestra el dominio casi total del mercado

### 9.12-Reseña histórica

Mixto Listo inició sus operaciones en noviembre de 1954, con una primera planta de producción de concreto, ubicada en finca La Pedrera, zona 6 de la capital. En 1958, la fuerte demanda obliga su expansión, lo que lleva a la empresa a instalar una segunda planta de dosificación de concreto, la cual se ubica en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

En 1963 la flota de transporte del concreto se duplicó y su presencia empezó a notarse. Se compró equipo de bombeo adecuado para fundir a mayor altura. La compra de dicho equipo fue importante para el desarrollo de nuevos negocios para la empresa, pero más aún, fue importante para el desarrollo de la ciudad de Guatemala, ya que marcó un paso firme hacia la modernidad y urbanidad de la capital guatemalteca.

En 1965 se instala la tercera planta de producción de concreto premezclado en Escuintla, con lo cual la empresa incursiona en un mercado distinto al metropolitano, atendiendo al creciente mercado industrial de la región, dando así, un nuevo aporte para impulsar proyectos de desarrollo e interés nacional.

En 1994 se construyeron dos silos de cemento, para almacenar entre 7 000 y 10 000 sacos para las plantas Norte y Sur, hecho que aumentó notablemente la capacidad instalada para producción de concreto, permitiendo atender al mercado de manera flexible y rápida.

Debido a una demanda creciente en sector de la construcción, se ha ubicado estratégicamente, 16 plantas, su mayoría en el área metropolitana de Guatemala. Suministrando las mejores soluciones en fundición, cumpliendo las especificaciones.

En 1954, con la apertura de la primera empresa de producción de concreto premezclado, se estableció una industria del concreto y debido a la necesidad de construcción principalmente de vivienda en 1957 surge la fabricación de elementos prefabricados como los blocks, y también el inicio de fabricación de otros tipos de cementos Portland como el cemento para fabricación y pegado de blocks, estructural de mayor capacidad a la compresión etc., en 1970 se empezó la utilización de elementos prefabricados pretensados.

Uno de los más grandes retos que enfrentó esta industria fue el terremoto ocurrido en 1976 por el cual hubo necesidad de mejorar, producir y utilizar diferentes tipos de cementos portland y al llegar la década de 1980, se empezó con la producción de nuevos tipos de cementos también se amplió la producción de concreto premezclado y la mayor utilización de prefabricados.

El Palacio Municipal de la Ciudad de Guatemala fue el primer edificio que se construyó con Mixto Listo. En 1954, la empresa en ese entonces llamada Mezcladora S.A. comenzó operaciones con tal solo tres camiones. A finales de la década de los 50's, se apoya la construcción del hospital Roosevelt, el Banco de Guatemala y el Crédito Hipotecario Nacional.

En 2002, se instituye el nombre Mixto Listo para la empresa. A partir de la década del 90, empieza una gran expansión de la industria con la producción de cemento para diferentes tipos de clima, la producción de concretos premezclados dependiendo del tipo estructuras, al igual de la implementación de programas ambientales. Teniendo en cuenta todos los acontecimientos anteriores, la industria al producir cada tipo de cemento y forma de utilizarlo se rigió en normas internacionales como las ASTM para tener una producción y utilización correcta de los mismos.

La utilización de normas es de nivel obligatorio por lo que en el 2006 se fundó el Instituto del Cemento y del Concreto en Guatemala (ICCG), que ha implementado y complementado con la aprobación de las normas nacionales COGUANOR y crear un capítulo ACI guatemalteco.

### **9.13-Tipos de concretos fabricados por Mixto Listo**

#### **9.13.1-Resistencia acelerada**

Concreto especialmente diseñado y controlado que permite el desarrollo de las resistencias específicas a temprana edad (3 y 7 días).

#### **9.13.2-Concreto superfluido**

Concreto con Mayor grado de fluidez para aplicaciones en donde se requiera un mayor grado de consistencia y trabajabilidad, en estructuras con alto confinamiento de acero y largas distancias de bombeo.

#### **9.13.3-Concreto de bajo asentamiento**

Concreto convencional de bajo asentamiento, de uso general en la construcción, para elementos con bajas o moderados, requerimientos estructurales y resistencias mecánicas.

#### **9.13.4-Concreto de alta permeabilidad**

Concreto especialmente diseñado para estructuras sometidas a condiciones normales de carga con exposición a medio ambiente humedad o extremo frio, donde sea importante el control de humedad o el ingreso de sustancias nocivas.

#### **9.13.5-Concreto de vivienda en sSerie**

Concreto especialmente formulado para la utilización en muro y losas en la construcción de vivienda en serie.

#### **9.13.6-Concreto convencional**

De uso general en la construcción para elementos con bajo o moderado requerimiento estructural y resistencia mecánica.

#### **9.13.6-Concreto lanzado**

Mezcla de concreto para lanzar o proyectar mediante sistemas neumáticos por vía húmeda, ideal para recubrimientos o soporte de taludes.

#### **9.13.7-Concreto para cimentaciones profundas**

Concreto especialmente diseñado para cimentación profunda, colocados mediante sistemas tipo tubo o tornillo continuo, con alta fluidez y cohesividad evita segregación de la mezcla.

Una alianza comercial desarrollada con los constructores y desarrolladores del país por ya más de medio siglo, se calcula que alrededor de 9 de cada 10 edificios construidos en estos últimos 50 años en Guatemala, han sido construidos con el concreto premezclado de Mixto Listo.

Mixto Listo cuenta con un sistema de información de alta tecnología como el Command Alkon; el cual es un software diseñado exclusivamente para el despacho de concreto. Dicho sistema genera una eficiencia mucho mayor en el sistema de entrega, además permite tener a los clientes en una base de datos sobre sus obras y el comportamiento de las mismas a lo largo del tiempo.



### 9.14-Proceso de fabricación del concreto

Los componentes del concreto deben tener un adecuado manejo para garantizar un buen desempeño, ya que los abusos en su manipulación y almacenamiento afectan las propiedades de estos. De preferencia, el cemento que se emplea para la producción de concreto premezclado debe ser a granel.

Cuando se tenga que emplear cemento en sacos, deben protegerse de las condiciones atmosféricas preferiblemente en un almacén cubierto y sobre plataformas, de modo que se permita la circulación del aire. Normalmente el agua de mezclado en zonas urbanas se toma del abastecimiento local.

La demanda del agua depende del tipo de planta, capacidad de producción, sistema de mezclado y las condiciones ambientales. El almacenamiento de agregados debe hacerse en patios suficientemente amplios para permitir la circulación y operación de equipos destinados a su transporte y manejo.

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tanques herméticos protegidos de los rigores del clima.

### 9.15-Dosificación

Es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto. Para producir concretos uniformes, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla. La dosificación se debe efectuar por peso en vez de hacerlo por volumen, pues la medida con base en su volumen puede conducir a errores al no tenerse en cuenta el grado de compactación o expansión de las partículas, el grado de saturación o humedad de los agregados, ni el volumen absoluto de cada ingrediente en el momento de la dosificación. Solo el agua y los aditivos líquidos pueden ser medidos correctamente con base en el volumen.

### 9.16-Mezclado

Consiste en cubrir la superficie de todas las partículas de los agregados con pasta de cemento y obtener una masa uniforme. Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente. En general, el cemento debe ser cargado junto con los agregados, pero luego de que haya entrado el 10% del agregado al tambor. Los aditivos deben cargarse en el tambor en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. El concreto premezclado se puede elaborar por cualquiera de los métodos siguientes:

- concreto mezclado en planta
- concreto mezclado en camión
- concreto mezclado en dos fases

### 9.17-Transporte y manejo del concreto

La planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más apropiado de manejo para una aplicación. Tener en cuenta las siguientes circunstancias que pudieran ocurrir, si suceden durante el manejo y la colocación, pueden afectar seriamente la calidad del trabajo acabado:

- Retrasos: el objetivo de la planeación de cualquier programa de trabajo es producir el trabajo con la mayor rapidez, con la menor fuerza laboral y con el equipo adecuado. Las máquinas para transporte y manejo de concreto están mejorando continuamente. La mayor productividad será lograda si se planea el trabajo para que se aprovechen, al máximo, el personal y los equipos y si estos se seleccionan para que se reduzcan los retrasos durante la colocación del concreto.
- Endurecimiento prematuro y secado: el concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema.

El concreto que se mantiene en agitación generalmente se lo puede colocar y compactar en un periodo de 1½ hora después del mezclado, a no ser que la temperatura elevada del concreto o el contenido alto de cemento aceleren excesivamente la hidratación. El planeamiento debe eliminar o minimizar las variables que permitirían el endurecimiento del concreto en un grado tal que no se logre la consolidación completa y que torne el acabado difícil.

### 9.18-Segregación

La segregación es la tendencia del agregado grueso de separarse del mortero de cemento y arena. Esto resulta en que parte de la mezcla tiene poca cantidad de agregado grueso y el resto tiene cantidad excesiva. La parte que tiene poca cantidad de agregado grueso tiende a retraerse y a fisurarse más, presentando poca resistencia a abrasión. La parte con cantidad excesiva de agregado puede ser muy áspera, dificultando la consolidación y acabado completos, siendo una causa frecuente de apareamiento de agujeros.

### 9.19-Colocación del concreto

El vertido del concreto fresco en el interior del encofrado debe efectuarse evitando que se produzca la segregación de la mezcla. Para ello se debe evitar verterlo desde gran altura, hasta un máximo de dos metros de caída libre y no se debe desplazar horizontalmente la masa.

Se coloca por capas o tongadas horizontales de espesor reducido para permitir una buena compactación (hasta 40 cm en concreto en masa y 60 cm en concreto armado). Las distintas capas o tongadas se consolidan sucesivamente, trabando cada capa con la anterior con el medio de compactación que se emplee y sin que haya comenzado a fraguar la capa anterior.

Para conseguir un concreto compacto, eliminando sus vacíos y para que se obtenga un completo cerrado de la masa, hay varios sistemas de consolidación. El picado con varilla, que se realiza introduciéndola sucesivamente, precisa concretos de consistencias blandas y fluidas y se realiza en obras de poca importancia resistente. La compactación por golpeo repetido de un pisón se emplea en capas de 15 o 20 cm de espesor y mucha superficie horizontal. La compactación por vibrado es la habitual en concretos resistentes y es apropiada en consistencias secas.

El vibrador más utilizado es el de aguja, un cilindro metálico de 35 a 125 mm de diámetro cuya frecuencia varía entre 3 000 y 12 000 ciclos por minuto. La aguja se dispone verticalmente en la masa de concreto fresco, introduciéndose en cada tongada hasta que la punta penetre en la capa anterior y cuidando de no tocar las armaduras pues la vibración podría separar la masa de concreto de la armadura. Mediante el vibrado se reduce el aire contenido en el concreto sin compactar que se estima del orden del 15 al 20% hasta un 2-3% después del vibrado.

### 9.20-El curado

Es una de las operaciones más importantes en el proceso de puesta en obra por la influencia decisiva que tiene en la resistencia del elemento final. Durante el fraguado y primer endurecimiento se producen pérdidas de agua por evaporación, formándose vacíos capilares en el concreto

que disminuyen su resistencia. En particular el calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua incluso una vez compactado. Es preciso compensar estas pérdidas curando el concreto añadiendo abundante agua que permita que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de la resistencia.

Hay varios procedimientos habituales para curar el concreto. Desde los que protegen del sol y del viento mediante tejadillos móviles, plásticos; mediante riegos de agua en la superficie; la inmersión en agua empleada en prefabricación; los productos de curado aplicados por pulverización; los pulverizados a base de resinas forman una película que impide la evaporación del agua, se trata de uno de los sistemas más eficaces y más costosos.

### 9.21-Ensayo de muestras

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco para los ensayos de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con ASTM C 173. A excepción de las pruebas de rutina, tales como revenimiento (asentamiento) y contenido de aire, realizadas para el control del proceso, la ASTM C 172 requiere que el tamaño de la muestra para el propósito de aceptación debe ser, por lo menos, 28 litros (1 pie cúbico) y se la debe obtener durante los 15 minutos entre la primera y la última porción de la amasada (bachada, revoltura).

La muestra compuesta, producida con dos o más porciones, no se debe tomar enseguida a la porción inicial de la descarga, ni tampoco a la porción final. La muestra se debe proteger del sol, viento y otras fuentes de evaporación rápida durante el muestreo y el ensayo.

### 9.22-Inspección en planta

En Mixto Listo se utiliza una doble inspección del concreto en estado fresco, la primera se realiza en las plantas dosificadoras de concreto. Para realizar este procedimiento se cuenta con un laboratorio en cada planta que realiza pruebas según el plan de muestreos determinado por el Departamento Técnico de la empresa. Regularmente los resultados de desempeño de los concretos de las muestras hechas en planta, tienen mejores resultados respecto a las realizadas en obra, esto debido a que las condiciones controladas en el laboratorio, la reducción de variabilidad que genera el traslado de especímenes de las obras al laboratorio y toda la variabilidad que generan los procesos de transporte y colocación del concreto.

En función a lo anterior, es posible asegurar que los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas en planta generan información correcta del proceso de producción, pero, están muy distantes de reflejar el desempeño real del concreto que los clientes obtienen en las obras.

### 9.23-Ensayo de muestras hechas en planta

Los ensayos de especímenes, tienen como objetivo determinar la resistencia del concreto en función de las muestras tomadas en el proceso de fabricación de los mismos. Para ello se requiere de elaborar 3 parejas de cilindros, dos para ensayarlos a los 28 días, que es la edad a la cual se especifica el 100% de desarrollo de resistencia de un concreto, y las otras dos parejas, se ensayan a edades más tempranas, generalmente a 3 y 7 días, para poder tener hacer una correlación en base a estos resultados que genere una alerta en caso se proyecte resultados muy bajos. El ACI 318 declara que la resistencia del concreto se puede considerar satisfactoria si se logran las siguientes condiciones:

El promedio del conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia igual o superior al especificado para la resistencia a los 28 días y ningún ensayo individual de resistencia (promedio de dos cilindros) con resistencia de 35 kg/cm<sup>2</sup> o 3,5 MPa (500 lb/pulgada<sup>2</sup>) menor que la especificada. Si los resultados de los cilindros no cumplen con estos criterios, se debe evaluar la resistencia del concreto en situ a través de corazones (testigos, núcleos) aserrados.

Además de dos cilindros con 28 días de edad, las especificaciones de obra frecuentemente requieren uno o dos cilindros con 7 días o más cilindros de espera. Los cilindros con 7 días controlan el desarrollo de la resistencia en edades tempranas. Los cilindros de espera se usan comúnmente para ofrecer información adicional, en el caso de que los cilindros con 28 días se dañen o no logren la resistencia a compresión requerida.

Cuando ocurren resultados bajos de resistencia a compresión a los 28 días, los cilindros de espera se prueban a los 56 días de edad. La eficiencia de los procedimientos de protección y curado también se deben evaluar cuando los cilindros curados en obra presenten menos de 85% de la resistencia de los cilindros hermanos curados en laboratorio.

Se puede renunciar a este requisito de 85% cuando la resistencia de los cilindros curados en obra supere más de 35 kg/cm<sup>2</sup> o 3,5 MPa (500 lb/pulgada<sup>2</sup>). Cuando es necesaria, la resistencia del concreto en la estructura se debe determinar a través de la prueba de 3 corazones, extraídos de la porción de la estructura cuyos cilindros curados en laboratorio no cumplan los criterios de aceptación.

### 9.24-Inspección en obra

La inspección de concreto en obra, como lo describimos anteriormente, es un proceso que se efectúa en condiciones no ideales, debido al poco control de los procesos y de las condiciones físicas para el almacenamiento temporal en las obras. Otro factor importante que genera variabilidad en los resultados, es el traslado de los especímenes al laboratorio, debido a que en Guatemala el estado de las carreteras es deficientes, genera un exceso de vibración que generan en micro fisuras a los especímenes los cuales pierden cierto nivel de resistencia al ser ensayados en el laboratorio.

### 9.25-Ensayo de muestras en obra

Los ensayos de las muestras hechas en obra, no difieren respecto a las hechas en planta, debido a que el proceso de los ensayos se realiza en el mismo laboratorio con el mismo equipo y con los mismos procedimientos. Los resultados de las mismas son los que difieren, esto en función de lo expuesto en los puntos anteriores, referentes a la variación de condiciones que genera el proceso de muestro de concreto fresco y el manejo posterior de especímenes.

### 9.26-Impacto del uso del cemento

La fabricación de cemento tiene impactos negativos y positivos en las comunidades cercanas a las plantas que lo producen, en el nivel de vida de las personas que hacen uso de éste y por su puesto en los costos operativos de la industria concretera, ya que el cemento es su principal componente para la fabricación de concreto premezclado.

A continuación, se explicarán los principales impactos enumerados anteriormente.

Impacto económico del cemento en la industria Concretera El cemento es el componente activo para la producción de concreto, sin este no sería posible poder producirlo, ya que no existe ningún otro material sustituto que haga posible obtener las características necesarias para el desempeño deseado en los concretos.

Cualquier variación de precios que el cemento pueda tener, impactará directamente en la industria del concreto, es por ello que a continuación se presenta una serie de datos que permitirán dimensionar de manera clara cómo impacta el cemento en los costos de fabricación del concreto premezclado.

### 9.27-Costos de fabricación del concreto

Para determinar el costo unitario de fabricación del concreto premezclado, las concreteras dividen sus costos en cuatro grandes rubros:

- Costos materia prima
- Costos de dosificación
- Costos de distribución
- Costos de bombeo y colocación

En promedio, el costo de la materia prima, representa un 75% del total del costo del concreto, y del rubro de materia prima, el cemento constituye un 63% del costo, es decir un 47% del costo total.

En base a lo anterior, se puede evidenciar fácilmente que cualquier esfuerzo enfocado a reducir el uso del cemento en la dosificación de los concretos premezclados constituye una fuerte importante en la reducción de costos.

Concretos específicos Mixto Listo:

### 9.28-Alto desempeño

#### 9.28.1-Concreto ambientes marinos

Concreto especialmente diseñado para obras expuestas a la acción combinada de cloruros y los sulfatos presentes en ambientes marinos, aguas residuales, donde se requiera aumentarla durabilidad de las estructuras. Su proporcionamiento y materiales utilizados cumplen los requisitos de durabilidad estipulados en ACI-318 para concretos.

Usos

- Elementos en contacto con ambientes marinos o aguas que contengan sulfatos como:
- Pilotes, presas, cimentaciones en contacto con nivel freático marino.
- Tanques o canales para el almacenamiento o transporte de aguas residuales o industriales.

#### Ventajas

- Elaborado con cemento especial para ambientes marinos.
- Relaciones agua cemento bajas que garantizan mayor durabilidad, según su exposición.
- Inhibir la acción de la carbonatación del concreto.
- Reduce y retrasa la penetración al concreto de otros agentes químicos.
- Incrementar la durabilidad de las estructuras.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

Para exposición a sulfatos:

Severa y muy severa: Use mínimo 4500 PSI.

Para exposición a cloruros:

Severa: expuesta a humedad y a fuentes de cloruros, use mínimo 5000 PSI.

En ambientes marinos y en presencia de agua constante, es recomendable un recubrimiento del acero de refuerzo mínimo de 50mm para concreto reforzado.

Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.

Seguir las recomendaciones del *ACI 318 Requisitos de reglamento para concreto estructural* y *ACI 308R Guía para el curado del concreto*.

El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados. Para condiciones especiales de exposición diferentes, colocación u otro tema relacionado al concreto, debe consultarse al asesor técnico de Mixto Listo.

#### 9.28.2-Concreto baja permeabilidad

Concreto especialmente diseñado para estructuras sometidas a condiciones normales de carga, con exposición a medio ambiente húmedo, donde sea importante el control de la permeabilidad.

#### Usos

Elementos que tendrán una exposición constante a ambientes húmedos, y se requiera minimizar su permeabilidad como:

Tanques, piscinas, viga-canales, losas de cubierta, muros de contención.

Todas aquellas estructuras que puedan estar expuestas a la humedad por tiempo considerable.

#### Ventajas

Relaciones agua/cemento, menores que un concreto convencional.

- Especialmente diseñado para un grado mayor de impermeabilidad
- Mayor durabilidad que un concreto convencional.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Un mayor grado de impermeabilidad es posible lograrlo con la adición de aditivos especiales, para esto referirse a la familia de "concreto impermeable", que, en conjunto con buenas prácticas de construcción, pueden garantizar un mejor desempeño de la estructura.

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Seguir las recomendaciones del *ACI 318 Requisitos de reglamento para concreto estructural* y *ACI 308R Guía para el curado del concreto*. No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.

El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados. Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

### 9.28.3-Concreto cimentaciones profundas

Concreto especialmente diseñado para su colocación en cimentaciones profundas, mediante sistemas tipo tubo Tremie o tornillo continuo, proporcionando alta fluidez y cohesividad.

#### Usos

En cimentaciones profundas tipo pilote donde se requiera garantizar la homogeneidad del concreto, controlando la contaminación por presencia de aguas freáticas. Con tubería tipo "tremie". Con tornillo continuo e inyección.

#### Ventajas

- Permiten adaptarse a los sistemas tipo "tremie", tornillo continuo e inyección.
- Especialmente formulado con relaciones agua cemento bajas que las de un concreto convencional, asegurando un mejor desempeño en su durabilidad.
- Alta fluidez, haciendo que la mezcla fluya por gravedad, sin mayor ayuda mecánica.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Concreto con alta trabajabilidad, muchas veces puede ser necesario el control de temperatura para concretos especializados como este. Para sistemas de cimentaciones profundas también se ha utilizado con éxito el concreto autocompactable. Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Seguir las recomendaciones del *ACI 318 Requisitos de reglamento para concreto estructural* y *ACI 308R Guía para el curado del concreto*.

No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.

El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.

Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, debe consultarse al asesor técnico de Mixto Listo.

### 9.28.4-Concreto de baja contracción

Concreto con bajos o moderados requerimientos estructurales donde es necesaria una baja contracción por secado para el control en la ubicación de juntas y dilataciones, por sus características en su diseño de mezcla es un material con mayor estabilidad volumétrica. Es un concreto cuya mezcla asegura una contracción menor o igual a 0.06% a 56 días, medida con el método contenido en la norma ASTM C-157.

#### Usos

Adecuado para pisos donde se requiera gran estabilidad volumétrica. Estructuras con alta relación área/volumen Por su alta estabilidad es ideal para reparaciones, recubrimientos o ampliaciones de distintos elementos de concreto.

#### Ventajas

- Aumenta la productividad de la mano de obra
- Mínimo rebote, lo cual minimiza los desperdicios en una colocación adecuada
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado
- Cumplimiento de normas establecidas por el ACI 506

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Los tiempos de manejabilidad son más cortos, lo que exige mayor coordinación entre planta y obra, en lo que respecta a rendimientos y habilidad de colocación.

Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.

Seguir las recomendaciones del *ACI 318 Requisitos de reglamento para concreto estructural* y *ACI 308R Guía para el curado del concreto*.

No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.

Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, debe consultarse al asesor técnico de Mixto Listo.

#### 9.28.5- Concreto lanzado

Mezcla de concreto para lanzar o proyectar mediante sistemas neumáticos por vía húmeda, ideal para recubrimientos o soporte de taludes.

#### Usos

Especialmente diseñado para la construcción de: Concreto lanzado (gunita) para estabilización de taludes. Recubrimiento de secciones delgadas. Recubrimiento de túneles, canales y pantallas de cimentación. Elementos de geometría complicada donde se dificulta el uso de formaleta. Reparación de estructuras de concreto dañadas.

#### Ventajas

- Aumenta la productividad de la mano de obra
- Mínimo rebote, lo cual minimiza los desperdicios en una colocación adecuada
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado
- Cumplimiento de normas establecidas por el ACI 506.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Se recomienda seguir las recomendaciones del ACI506.2 y ACI506 "recommended practice for shotcreting" Dependiendo el tipo de elemento puede ser necesario el uso de aditivos acelerantes de fraguado.

El uso de cualquier aditivo debe ser previamente solicitado y adicionado por Mixto Listo.

Dependiendo de la superficie sobre la que se lance y de la pericia del colocador, se pueden esperar rebotes y desperdicios entre el 5% y 10%.

Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.

Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

#### **9.28.6-Concreto permeable**

Concreto con alta porosidad que permite el paso del agua a través de él, brindando una solución integral en la recolección y manejo de los recursos hidráulicos pluviales. Este tipo de concreto presenta poca o ninguna presencia de finos, asegurando la interconexión de los vacíos.

Usos

Especialmente diseñado para la construcción de:

Áreas de estacionamientos. Pasos peatonales como banquetas o pasillos. Plazas, parques, canchas deportivas.

Invernaderos, viveros.

Ventajas

- Reduce (a casi cero) descargas máximas del agua de lluvia en las áreas pavimentadas.
- Reduce la escorrentía superficial general.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Concreto para pavimentos con tráfico liviano, se debe diseñar el sistema de drenaje para conducir el agua que se filtra. Se debe contar con un plan de mantenimiento adecuado. Este concreto también se ha utilizado con éxito en la fundición de gaviones.

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, la colocación adecuada se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Se recomienda seguir las recomendaciones del ACI 522R.

El diseño de la estructura de soporte debe contemplar el drenado del agua de infiltración, que permita un flujo adecuado para evitar la saturación del pavimento permeable.

Para suelos arenosos o con arcilla debe diseñarse el sistema de capas de drenado.

Al igual que los pavimentos convencionales es muy importante la preparación de la base, la cual debe estar correctamente compactada, para lograr una superficie estable.

El concreto permeable puede colocarse con formaletas fijas y debe compactarse manualmente con dorillo, generando una superficie de rodadura suave y transitable.

Evitar una presión excesiva al utilizar el dorillo, para que los vacíos no colapsen.

Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.

El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.



Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, se debe consultar a Mixto Listo.

### 9.28.7-Concreto relación agua cemento

Concreto especialmente diseñado para obras donde se requiere una relación Agua/Cemento puntual, por requerimientos de adiciones, exposición o desempeño.

Usos

Estructuras con requerimientos estructurales tales como:

Losas, muros, vigas, pisos, columnas, bordillos, etc. Tanques, cisternas y otros donde se requiera una relación A/C máxima.

Ventajas

- Relación agua cemento (A/C) definida.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Este concreto especifica el límite superior de relación a/c en la mezcla, requerido para concretos por desempeño específico o algún tipo de aditivos que así lo indique.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.

Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.

Darle el acabado requerido a la superficie con equipo y mano de obra calificada.

Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.

Si se utilizarán adiciones al concreto por un proveedor ajeno a Mixto Listo, seguir las recomendaciones del proveedor para un desempeño óptimo del sistema. Mixto Listo no garantiza el desempeño adecuado de estas adiciones al concreto fresco ni endurecido.

Seguir las recomendaciones del *ACI 318 Requisitos de reglamento para concreto estructural* y *ACI 308R Guía para el curado del concreto*.

El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.

Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consultar a Mixto Listo.

### 9.28.8-Concreto resistencia acelerada

Concretos especialmente diseñados y controlados que permiten el desarrollo de las resistencias específicas a temprana edad (3 o 7 días).

Usos

Se recomiendan para los siguientes casos:

Donde se requiera que el concreto alcance su resistencia mucho antes del periodo de 28 días, para que la estructura entre en servicio.

Cualquier elemento estructural puede ser construido con estos concretos a excepción de elementos masivos (que requieran altos volúmenes confinados de concreto).

#### Ventajas

- Se puede dar función estructural al elemento fundido en corto tiempo.
- Se puede tener menor tiempo para remover formaletas u obra falsa.
- Se reduce el tiempo general de obra.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

La resistencia a edades tempranas (acelerada) del concreto no se deben confundir con el "fraguado acelerado" pues son dos comportamientos distintos en el concreto. Muchas veces puede ser necesario el control de temperatura para concretos especializados como este.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- Los tiempos de manejabilidad son más cortos, lo que exige mayor coordinación entre planta y obra, en lo que respecta a rendimientos y habilidad de colocación.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- No se deben usar los concretos con resistencia acelerada para elementos masivos.
- Los concretos con resistencia acelerada requieren un proceso de curado más estricto, no descuidando las primeras horas después de colocado.
- No se debe confundir el termino resistencia acelerada con fraguado acelerado.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 *Requisitos de reglamento para concreto estructural* y ACI 308R *Guía para el curado del concreto*.
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

## 9.29-Concreto Convencional

### 9.29.1-Concreto alta durabilidad

Concreto especialmente diseñado para condiciones de exposición severas. Dependiendo de las condiciones particulares de exposición puede ser elaborado con cementos especiales y/o adiciones, siguiendo las recomendaciones del ACI-318.

#### Usos

Elementos que tendrán una exposición especial tales como:

Ataque químico moderado, en estructuras en zonas industriales donde se hacen procesos químicos. Cuartos Fríos Elementos Verticales (Muros-Columnas). Abrasión Moderada.

#### Ventajas

- Especialmente diseñados para una durabilidad requerida.
- Inhibir la oxidación del acero de refuerzo.
- Reducir la permeabilidad del concreto.
- Inhibir la acción de la carbonatación del concreto.
- Reducir la penetración al concreto de agentes químicos.
- Evitar costosas reparaciones prematuras.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Alta durabilidad va relacionado a bajas relaciones A/C, y esto se traduce a resistencias superiores a los 4500PSI.

### 8.39-Concreto convencional fluido

Concreto convencional con fluidez para aplicaciones en donde se requiere un mayor grado de consistencia y trabajabilidad, en estructuras con alto confinamiento de acero y largas distancias de bombeo.

#### Usos

Estructuras con bajos o moderados requerimientos estructurales tales como: Losas, muros, vigas, pisos, columnas, bordillos, banquetas, escaleras, etc. Recomendado para el colado de elementos estrechos, con mayor distancia de bombeo, accesos difíciles y/o elementos densamente armados.

#### Ventajas

- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra. Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Con este concreto se logra una mayor trabajabilidad de colocación con el uso de aditivos que no alteran la relación a/c de la mezcla. Si se desea un concreto con resistencia acelerada a temprana edad, favor referirse a la familia "Concreto resistencia acelerada".

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- Darle el acabado requerido a la superficie con equipo y mano de obra calificada.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consultar a Mixto Listo.

### 9.29.2-Concreto convencional

Concreto convencional de uso general en la construcción para elementos con bajos o moderados requerimientos estructurales y resistencia mecánica.

#### Usos

Estructuras con bajos o moderados requerimientos estructurales tales como: Losas, muros, zapatas, vigas, pisos, columnas, bordillos, banquetas, escaleras, etc.

#### Ventajas

- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Si se desea mayor fluidez al colocar un concreto convencional, favor referirse a la familia "Concreto convencional fluido". Si se desea un concreto con resistencia acelerada a temprana edad, favor referirse a la familia "Concreto resistencia acelerada".

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- Darle el acabado requerido a la superficie con equipo y mano de obra calificada.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a de Mixto Listo.

### 9.29.3-Concreto convencional de bajo asentamiento

Concreto convencional de bajo asentamiento de uso general en la construcción para elementos con bajos o moderados requerimientos estructurales y resistencia mecánica.

#### Usos

Estructuras con bajos o moderados requerimientos estructurales tales como: Losas, muros, zapatas, vigas, pisos, columnas, bordillos, banquetas, escaleras, etc.

#### Ventajas

- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Para obras de pavimentación recomendamos referirse a las familias de "concretos para pisos/pavimentos". Es muy difícil relacionar exactamente la resistencia a compresión con la resistencia por módulo de rotura, es decir ( $f'c$  vs MR) por lo que, si la especificación requerida es módulo de rotura, la familia de concreto para pavimentos es la indicada.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- Darle el acabado requerido a la superficie con equipo y mano de obra calificada.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

#### 9.29.4-Concreto resistencia a 56 días

Concreto convencional para uso general en la construcción para elementos con bajos o moderados requerimientos estructurales donde la resistencia requerida de diseño se alcanza a la edad de 56 días.

Usos

Estructuras con bajos o moderados requerimientos estructurales tales como: Losas, muros, zapatas, vigas, pisos, columnas, bordillos, banquetas, escaleras, etc. Concretos diseñados para utilizarse en elementos estructurales que no se pondrán en servicio rápidamente y no exista alta demanda de rotación de formaletas.

Ventajas

- Menor calor de hidratación, favoreciendo la disminución de fisuras.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Para esta familia se tienen 3 rangos de slump en obra, correspondientes a concretos ya sea; de bajo asentamiento, convencionales o fluidos. Se debe elegir bien el slump requerido en obra. Para fundiciones masivas se recomienda el control de temperatura.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- Para el correcto uso de este producto verificar; especificaciones de resistencia y edad de ésta, según diseño estructural, definida por el profesional responsable.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".

- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consultar a Mixto Listo.

## 9.30-Concreto Tech

### 9.30.1-Concreto alta resistencia (tech)

Concreto especialmente diseñado para la construcción de elementos de concreto con altos requerimientos estructurales y niveles de resistencia superior a los de un concreto convencional.

#### Usos

Se recomiendan para los siguientes casos:

Edificios de gran altura, puentes, viaductos. Elementos pretensados y/o post tensados, que requieran altos niveles de resistencia. En estructura donde sea necesario alcanzar valores elevados de módulos elásticos.

#### Ventajas

- Alta resistencia a todas las edades.
- Ideal para reducir la geometría de elementos verticales y horizontales, lo que se traducen más área de servicio y menor peso de los edificios y estructuras.
- Economía en la estructura al sopesar todas sus ventajas.
- Calidad y uniformidad garantizada.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Por los altos contenidos de material cementicio, se debe tener alta eficiencia en la colocación de estos concretos y evitar que pierda su manejabilidad en estado fresco, esta se puede mejorar con el uso de aditivo para manejabilidad extra. Muchas veces puede ser necesario el control de temperatura para concretos especializados como este.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- Los tiempos de manejabilidad son más cortos, lo que exige mayor coordinación entre planta y obra, en lo que respecta a rendimientos y habilidad de colocación.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- No se recomienda el uso de este concreto para fundiciones masivas.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para concretos de alta resistencia se recomienda utilizar el menor tamaño máximo del agregado posible.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consultar a Mixto Listo.

### 9.30.2-Concreto autocompactable (tech)

Concreto diseñado para la utilización en estructuras en donde se requiere alta fluidez con poca o nula vibración por medios mecánicos.

#### Usos

Zonas de difícil acceso para compactar de forma convencional. Estructuras altamente confiadas de acero.  
Muros y losas estructurales. Elementos en donde se requiere mínimo vibrado y un mejor acabado final.

#### Ventajas

- Poca o nula Compactación por medio de medios manuales o mecánicos (vibradores).
- Reduce la mano de obra en colocación, permitiendo ahorros significativos por la velocidad del proceso constructivo.
- Minimiza las imperfecciones en los elementos construidos, reduciendo el costo por resanes posteriores.
- Fluye mejor que un concreto convencional.

Concreto con alta fluidez y características auto compactables y autonivelantes para todo tipo de estructuras donde se requiera un alto desempeño en colocación. En ocasiones se necesita un tiempo extendido de manejabilidad para esta mezcla, lo cual se puede lograr con el uso de aditivos especiales.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Utilizar formaletas apuntaladas adecuadamente y en buenas condiciones para evitar fugas de "lechada".
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones.
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

### 9.30.3-Concreto con color (tech)

Producto arquitectónico para la construcción, el concreto pigmentado es una solución estética para la obra con acabados de concreto visto. Con la distinta variedad de colores de pigmentos disponibles, estos le permiten al usuario final una cantidad de posibilidades cromáticas para su construcción.

#### Usos

Puede ser aplicado en todo tipo de obras sin limitaciones de resistencia tales como: Losas, muros, vigas, pisos, columnas, bordillos, banquetas, escaleras, ciclo vías, etc.

#### Ventajas

- Presenta una alternativa al uso de pinturas o revestimientos adicionales.
- Al ser integral, presenta una larga durabilidad en la coloración.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Una vez decidido el tipo de concreto a utilizar en su proyecto, se pueden trabajar muestras de color, las cuales reflejarán una tonalidad muy aproximada del concreto final ya colocado. La adición de pigmentos reduce naturalmente la trabajabilidad del concreto, este efecto se debe tomar en cuenta en el asentamiento que se programe. Se recomienda programar un concreto con un rango mayor de asentamiento al requerido.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- Compactar adecuadamente el concreto con vibrador durante la colocación.
- Darle el acabado requerido a la superficie con equipo y mano de obra calificada.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Se recomienda un curado con agua, o con productos que no alteren la tonalidad final del concreto con color.
- Normalmente se recomienda aplicar un sellador superficial neutro para proteger y mejorar la apariencia de los pisos de concreto con color.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- No se recomienda realizar adiciones extra al concreto fuera de sus especificaciones. El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consulte a Mixto Listo.

#### 9.30.4-Concreto fiberpavtech

Concreto especialmente diseñado para su utilización en pavimentos, para proyectos que por sus características y solicitaciones requiere el aporte estructural que brinda el uso de mácrofibras sintéticas.

Usos

Pavimentos con solicitaciones y características especiales: Pavimentos para bajo volumen de tránsito de bajo espesor (caminos rurales, parqueos, residenciales y accesos). Sobrecapas de concreto adheridas a pavimentos asfálticos existentes (UltraThinWhiteTopping).

Ventajas

- Aumento de la capacidad para redistribuir esfuerzos y absorber energía del concreto (tenacidad).
- Aumento en la resistencia a la fatiga.
- Aumento en la resistencia a flexión de las losas de concreto.
- Incremento en la capacidad de la transferencia de carga en juntas transversales.
- Las juntas longitudinales se mantienen unidas.
- Reducción de espesores.
- Menor costo de construcción inicial.
- Aprovechamiento de estructuras de pavimento existentes.
- Poco impacto en niveles de rasantes existentes. Cumplimiento de normas ASTM y recomendaciones ACI, PCA, AASHTO.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- Tener disponible al personal y equipo necesario cuando el concreto llegue a la obra, para colocarlo con rapidez.
- Compactar bien el concreto con vibrador durante la colocación y darle el acabado requerido a la superficie.
- Realizar un curado cuidadoso de 7 días por lo menos para alcanzar un desarrollo óptimo de las propiedades del concreto. Iniciar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Building Code Requirements for Structural Concrete" y "Standard Practice for Curing Concrete".
- No se recomienda realizar adiciones al concreto para no alterar sus características.
- Para condiciones especiales de exposición o elementos sometidos a presión hidrostática severa consulte a Mixto Listo.

#### 9.30.5-Concreto impermeable (tech)

Concreto especialmente diseñado para estructuras sometidas a condiciones normales de carga con exposición a medio ambientes húmedos o en contacto constante con el agua, donde se requieran condiciones de impermeabilidad.



## Usos

Elementos que tendrán una constante exposición al agua, tales como: Losas de cubierta, muros, tanques, piscinas, vigas-canal, etc. Por su menor relación agua/cemento, y uso de aditivos impermeabilizantes integrales brinda una mayor impermeabilidad de la que ofrece un concreto convencional.

## Ventajas

- Relaciones agua cemento menor que un concreto convencional.
- Especialmente diseñado para brindar impermeabilidad.
- Mayor durabilidad que un concreto convencional.
- Calidad y uniformidad garantizada que supera ampliamente al concreto hecho en obra.
- Medición y dosificación de materiales controlados con sistemas automatizados.
- Entrega de grandes volúmenes en tiempo programado.
- Cumplimiento de normas ASTM y especificaciones ACI.

Concreto impermeable, que en conjunto con un adecuado sistema estructural y buenas prácticas de construcción pueden garantizar una estructura impermeable. Los aditivos impermeabilizantes podrían retardar el fraguado final del concreto.

Recomendaciones del producto para obtener la calidad deseada:

- En obra se debe estar preparado para la descarga del concreto inmediatamente a su arribo, el asentamiento especificado se garantiza durante los primeros 30 minutos contados desde la llegada del camión al destino.
- El mayor o menor grado de permeabilidad está directamente relacionado también con la compactación adecuada, y calidad de curado realizado en el elemento de concreto. Se debe dar un estricto control a estos temas en obra.
- Realizar un curado cuidadoso durante un mínimo de 7 días, para alcanzar el desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.
- Verificar el comportamiento adecuado del elemento según diseño estructural, definida por el profesional responsable. Mixto Listo no es responsable de deficiencias en el desempeño estructural del elemento fundido.
- Seguir las recomendaciones del ACI 318 "Requisitos de reglamento para concreto estructural" y ACI 308R "Guía para el curado del concreto".
- El tiempo de manejabilidad del concreto es un factor que está relacionado con la temperatura, clima, dosis y tipo de aditivos aplicados.
- Para condiciones especiales de exposición, durabilidad especial, colocación u otro tema relacionado al concreto, consultar a Mixto Listo

## 9.31-Eficiencia del concreto premezclado

- No es necesario generar la instalación en obra de la planta productora de concreto.
- Habilidad de eliminar picos de vaciado sin alterar el ritmo de suministro.
- Disponibilidad en horario especificado.
- Posibilidad de terminar la obra en tiempos cortos. Utilizando un buen plan de logística es factible que un menor número de personal vacíen una mayor cantidad de concreto.
- No es necesario contar con personal en la obra para el desarrollo y transporte de concreto.
- Se puede llegar a cualquier lugar siempre y cuando sea factible el acceso a un camión.
- Es innecesario el espacio para el almacenaje de materia prima.
- Ahorro en mano de obra por mayor productividad y mínimo desperdicio.
- Mayor limpieza en obra.
- El vaciado se puede llevar a cabo por medio de equipos de bombeo de concreto lo cual nos permite no tener la necesidad que el camión mezclador llega hasta el punto del vaciado y elevarlo a la altura requerida.
- Posibilidad de suministro de concreto 24 horas.
- Provisión de materiales con pesadas controladas y precisas.
- No se requiere espacio de almacenamiento para agregados y el cemento en la obra.
- Eliminación de desperdicios en los materiales y combustibles.
- Menor control administrativo por volumen y dispersión de compras de agregados y cemento.
- Mayor limpieza en la obra, evitando multas por invadir frecuentemente la vía pública con los materiales.

- Asesoría técnica con personal especializado sobre cualquier aspecto relacionado con el uso, características y aplicación.
- La máxima experiencia trasladada al producto y puesta al alcance al usuario final.
- Conocimiento real del costo del concreto.
- Mayores velocidades de colocación y por consecuencia un avance en la terminación de la obra.
- Disponibilidad de bombas de concreto para el concreto bombeado.
- La calidad del concreto se mide y se mejora
- La tecnología en la construcción logra procesos más dinámicos y eficientes que generan mayor velocidad, calidad, efectividad, innovación, disminuyendo costos, contribuyendo a la mejora ambiental, justificando que en la construcción moderna cada vez más se requiera concreto premezclado.

### 9.32-Concreto pre dosificado (premezclado en seco)

Concreto seco, es una mezcla pre dosificada de cemento Pórtland y agregados con granulometría controlada, que conforman un concreto seco. Concreto Seco, debe de cumplir con la norma *ASTM C-387, Especificaciones para productos empacados, secos y mezclados para mortero y concreto.*

### 9.33-Concreto predosificado (premezclado en seco) Mixto Listo

Concreto premezclado seco, compuesto de arena caliza, piedrín y cemento, diseñado especialmente para la fundición de cualquier tipo de elemento estructural y no estructural. Solo requiere que agregue agua. Cumple la norma COGUANOR NTG 41017h1 y COGUANOR NTG 41007.

Ventajas

presentación: Empacado en bolsa con 50 kg (110 lb) de contenido.

Datos técnicos

- Listo para usar
- Fácil de cuantificar el material a utilizar
- Aumenta la productividad de la mano de obra
- Reduce costos en inventarios
- Mejor trabajabilidad y facilidad de manejo
- Evita los desperdicios
- Calidad uniforme y controlada
- Mayor rendimiento
- Empacado en bolsa con 50 kg (110 lb) de contenido.
- Disponibles en resistencias de 210 y 280 kg/cm (3,000 y 4,000 psi) a la compresión y tamaño máximo del agregado de 1.27 y 0.95 cm (3/8 y 1/2 plg). Rendimiento 41 a 43 bolsas / m<sup>3</sup>.

### 9.34-Instrucciones de uso

Preparativo: Limpie la superficie donde se colocará el concreto (cerciórese que esté libre de materia foránea).

Cuando utilice formaletas, asegúrelas bien y aplíqueles desencofrante. En el caso de pisos, compacte y humedezca la base apropiadamente.

Mezclado: Mezcle el concreto en forma gradual con agua hasta obtener una consistencia uniforme.

Colocado: Vierta el concreto en el espacio a fundir, asegurándose de vibrarlo adecuadamente para que tenga una buena compactación y evitar espacios vacíos, y nivele la superficie con plancha metálica. Si desea realizar un acabado a la superficie del concreto, espere aprox. 30 minutos y proceda.

Curado: Vierta agua o coloque una membrana de curado sobre el concreto aprox. 45 minutos después de terminar el colocado. El curado debe perdurar un mínimo de 7 días.

Recomendaciones para obtener mejores resultados

Cubra las bolsas al transportarlas y almacénelas en un lugar fresco, seco, bajo techo y sobre tarimas que las aíslen del contacto directo con el suelo. No permita que la bolsa se humedezca antes de utilizarla.

Realice la mezcla en una superficie o recipiente limpio, preferiblemente utilizando una mezcladora mecánica para concreto.

No agregue más agua de la necesaria al concreto, hacer esto reduce la resistencia a la compresión y provoca la separación del pedrín y la pasta (segregación). Tampoco agregue más agua si después de un tiempo la mezcla comienza a secar o a endurecer. Deseche la mezcla si ya no es apta.

Para efectuar la vibración del concreto se recomienda utilizar un vibrador mecánico. En caso que no se disponga de un vibrador mecánico o que no sea posible utilizarlo, realice la vibración manualmente con una varilla.

Cuando realice el curado, asegúrese que la dureza superficial del concreto sea suficiente para que el acabado del mismo no sea dañado por la aplicación de agua o membranas. Se recomienda el uso de atomizadores.

En condiciones extremas del clima (sol, viento y/o lluvia extrema), proteja el producto del ambiente después de aplicado.

### 9.35-Medidas de seguridad

Es importante tomar en cuenta estas consideraciones:

- Utilice equipo de protección personal cuando manipule este producto (casco, anteojos, mascarilla, guantes y botas).
- Lávese las manos después de utilizar este producto. Evite el contacto con los ojos, si ocurriese, lávese inmediatamente con agua limpia.
- No deje este producto al alcance de los niños.

### 9.36-Grout

El grout es un material fluido, autonivelante o eventualmente de consistencia plástica que se utiliza para rellenar completamente espacios estrechos, principalmente como relleno entre un anclaje y la perforación, y entre una placa base de una máquina o estructura y la fundación sobre la que se apoya. Otras aplicaciones típicas son en estructuras de concreto postensado, para grouting de cables tensados en sus ductos y para efectuar inyecciones de mortero.



Imagen Cempro

#### 9.36.1-Grout para mampostería

Mezcla de material cementante con o sin agregados o aditivos, a la cual se le adiciona una cantidad suficiente de agua para lograr una consistencia fluida o de bombeo sin segregación de los materiales constituyentes.

#### 9.36.2-Grout para mortero

Mezcla constituida por material cementante, agregado fino, agua, con o sin aditivos empleada para obras de albañilería, como material de pega, revestimiento de paredes, etc.

### 9.37-Características

Relación a/c Es el resultado de dividir la masa del agua entre la masa del cemento utilizados en un concreto o mortero.

#### 9.37.1-Resistencia a compresión

Es la carga máxima a compresión que resiste una unidad o espécimen, dividida por el área de la sección transversal que la soporta, pudiendo ser esta el área bruta o el área neta.

#### 9.37.2-Textura

Regularidad de la superficie de una unidad o chapa determinada por la dosificación de los materiales y del proceso de fabricación.

#### 9.37.3-Trabajabilidad

Característica de una mezcla o mortero en cuanto a la facilidad que presenta para ser colocado.

#### 9.37.4-Grout (lechada de relleno)

Es una mezcla fluida de concreto para llenar cavidades, sin sufrir segregación de sus componentes, además deberán de tener alta plasticidad para permitir el vaciado y alto asentamiento.

### 9.38-Tipos

El grout se identifica de acuerdo al uso que tenga en particular, se pueden mencionar las siguientes aplicaciones:

- Adherente para los cables de pretensado
- Barrenado de pilotes
- Para mampostería
- Para prefabricados
- Estructuras de concreto postensado
- Inyecciones de mortero Al endurecer, el grout debe ser capaz de transmitir uniformemente los esfuerzos de la máquina o estructura hacia la fundación, permitiendo el óptimo funcionamiento de todo el conjunto.
- Una vez en servicio, experimenta tensiones estáticas y dinámicas, que pueden ser uniaxiales, biaxiales o triaxiales.

#### 8.58-Producción

De acuerdo al tipo y cantidad de grout que se necesite se puede mezclar en obra, o bien se puede conseguir premezclado o pre dosificado en seco, algunos requieren la combinación de varios productos antes de su aplicación.

### 9.39-Grouting

Se le llama a la operación de aplicación del grout en su sitio, es un eslabón fundamental en la operación de una máquina, equipo o estructura, puesto que su misión es hacer de puente entre el elemento productivo y su fundación, permitiendo el óptimo funcionamiento de todo el conjunto. Los materiales utilizados en su elaboración son mezclas de cemento hidráulico, agregados finos, agua y diversos aditivos químicos y adiciones minerales, también los materiales epóxicos se utilizan desde hace varios años para confeccionar grout de gran calidad y rápida puesta en servicio, presentando las siguientes características:

#### 9.40-Grouts cementicios

Se presentan en forma de mezcla seca a la que se le agrega el agua en obra. Son de rápido endurecimiento, alta fluidez sin segregación o exudación y exentos de retracción una vez colocados en su sitio, por lo que se les utiliza en todo tipo de rellenos en general.

#### 9.41-Grouts epóxicos

Se presentan en tres componentes (dos líquidos y uno en polvo), presentan cualidades adicionales respecto a los cementicios, ya que otorgan resistencias mecánicas mayores a muy corto plazo y una alta resistencia química.

El grout se utiliza para rellenar completamente espacios estrechos, principalmente como relleno entre un anclaje y la perforación, y entre una placa base de una máquina o estructura y la fundación sobre la que se apoya, la consistencia del grout puede cambiar en virtud de las condiciones climáticas en el lugar del proyecto.

#### 9.42-Colcación

Existen dos procedimientos generales en uso para colocar el grout: a baja altura y en altura, para cumplir su función debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Buena fluidez para facilitar la colocación y asegurar un llenado completo y una máxima área de contacto o superficie de apoyo.
- Libre de retracciones bajo placas o en las perforaciones.
- Exudación y expansión controladas, lo que asegura la adherencia y el traspaso de cargas.
- Baja inclusión de aire.
- Altas resistencias mecánicas. Una máquina en operación puede generar cargas de compresión, impacto, tracción, torsión y cizalle.
- Resistencia térmica.
- Resistencia ante sustancias agresivas.
- Rápida puesta en servicio.
- Facilidad de aplicación.
- Rápido desarrollo de resistencias.

#### 9.43-Selección

La selección cuidadosa del grout más apropiado para cada aplicación en particular es de mucha importancia.

Puesto que el costo del grouting suele ser una muy pequeña proporción del costo total de instalación de los equipos y estructuras, se justifica plenamente el uso de productos de la más alta calidad y moderna tecnología.

#### 9.44-Grout Mixto Listo Maxi Pasta

Es un producto premezclado seco de alto revenimiento (slump), que se utiliza para rellenar bloques de mampostería reforzada. Elaborado a base de cemento, piedrín y arena. Diseñado para tener alta fluidez (revenimiento) sin sacrificar resistencia. Solo requiere que agregue agua.

Cumple la norma COGUANOR NTG 41052 y COGUANOR NTG 41032.

Ventajas

- Listo para usar
- Fácil de cuantificar el material a utilizar
- Aumenta la productividad de la mano de obra
- Reduce costos en inventarios
- Mejor trabajabilidad y facilidad de manejo
- Evita los desperdicios
- Calidad uniforme y controlada
- Mayor rendimiento.

Usos

- Fundición de pines de refuerzo vertical y horizontal (costillas) adentro de unidades de mampostería (sistema de mampostería reforzada)
- Fundición de soleras
- Horizontal (costillas) Empacado en bolsa con 50 kg (110 lb) de contenido.

### Datos Técnicos

Descripción	Características
Resistencia a la compresión	140 kg/cm <sup>2</sup> (2,000 psi) a los 28 días
Tamaño máximo del agregado	9.5 mm (3/8 plg).
Asentamiento (slump)	20 cm (8 plg)
Dosificación de agua	6.50 - 7.50 L / bolsa (1.71 – 1.98 Gal US / bolsa).
Rendimiento	39 - 41 bolsas / m <sup>3</sup>
Descripción	Características
Resistencia a la compresión	140 kg/cm <sup>2</sup> (2,000 psi) a los 28 días
Tamaño máximo del agregado	9.5 mm (3/8 plg).
Asentamiento (slump)	20 cm (8 plg)
Dosificación de agua	6.50 - 7.50 L / bolsa (1.71 – 1.98 Gal US / bolsa).
Rendimiento	39 - 41 bolsas / m <sup>3</sup>

#### 9.45-Instrucciones de uso

**Preparativo.** Lave los agujeros del block o ladrillo. Remueva todos los sobrantes de morteros o cualquier material ajeno. Cuando utilice formaletas, asegúrelas bien y aplíqueles desencofrante.

**Mezclado.** Mezcle el grout en forma gradual con agua hasta obtener una consistencia uniforme.

**Colocado.** Vierta el grout en el espacio a fundir, asegurándose de vibrarlo adecuadamente para que tenga una buena compactación y evitar espacios vacíos.

**Curado.** Rocíe agua con un atomizador sobre las superficies expuestas del grout 2 a 3 veces al día durante 7 días. Comience el rociado con agua aprox. 45 minutos después de terminar el colocado.

#### 9.46-Recomendaciones

- Para obtener los mejores resultados cubra las bolsas al transportarlas y almacénelas en un lugar fresco, seco, bajo techo y sobre tarimas que las aislen del contacto directo con el suelo. No permita que la bolsa se humedezca antes de utilizarla.
- Realice la mezcla en una superficie o recipiente limpio, preferiblemente utilizando una mezcladora mecánica para concreto.
- No agregue más agua de lo indicado al grout, hacer esto reduce la resistencia a la compresión y provoca la separación del piedrín y la pasta (segregación). Tampoco agregue más agua si después de un tiempo la mezcla comienza a secar o a endurecer. Deseche la mezcla si ya no es apta.
- Antes de fundir, se recomienda abrir agujeros en la mampostería que permitan revisar que el grout llegue a los puntos deseados y que no haya vacíos.
- Para efectuar la vibración del grout se recomienda utilizar un vibrador mecánico.
- En caso que no se disponga de un vibrador mecánico o que no sea posible utilizarlo, realice la vibración manualmente con una varilla.
- En condiciones extremas del clima (sol, viento y/o lluvia extrema), proteja el producto del ambiente después de aplicado.

#### 9.47-Medidas de seguridad

- Utilice equipo de protección personal cuando manipule este producto (casco, anteojos, mascarilla, guantes y botas).
- Lávese las manos después de utilizar este producto. Evite el contacto con los ojos, si ocurriese, lávese inmediatamente con agua limpia.
- No deje este producto al alcance de los niños.

# Glosario

## A

**Acero refractario:** Los aceros refractarios son aceros con contenidos en dos elementos de aleación principales: cromo (Cr) y níquel (Ni). Altas propiedades de resistencia a alta temperatura (hasta 1.000 °C), muy buen comportamiento en ambientes oxidantes y otros.

**ACI:** Organización sin fines de lucro de educación técnica para la sociedad fundada en 1904, es una de las autoridades líderes mundiales en el manejo y práctica del concreto. La ACI se presenta también como un foro para la discusión de todos los asuntos relacionados con el concreto.

**Aditivo acelerador:** Aditivo que acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.

**Aditivo de desempeño específico:** Aditivo que provea la característica de desempeño deseables, diferentes a la reducción del contenido de agua o a las del cambio del tiempo de fraguado o a la combinación de ambas, sin producir efectos adversos sobre las propiedades del concreto endurecido y su durabilidad.

**Aditivo reductor de agua:** Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de una consistencia dada.

**Aditivo reductor de agua y acelerador:** Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada, acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.

**Aditivo reductor de agua y retardante:** Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada y retarda el fraguado del concreto.

**Aditivo reductor de agua, de alto rango:** Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12 % o más.

**Aditivo reductor de agua, de alto rango, y retardante:** Aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12 % o más y retarda el fraguado del concreto.

**Aditivo retardador:** Aditivo que retarda el fraguado inicial y final del concreto.

**Aditivos estabilizadores de hidratación:** Aditivo que controla la hidratación del cemento permitiendo que este permanezca en estado plástico/fresco durante más tiempo.

**Agua combinada:** Es la mezcla de dos o más fuentes de agua combinadas entre sí, antes o durante su introducción a la mezcla, para su uso como agua de mezcla en la producción de concreto.

**Agua de las operaciones de producción de concreto:** Es el agua recuperada de los procesos de la producción del concreto.

**Agua no potable:** Se refiere a las fuentes de agua que no son aptas para consumo humano, o que contienen cantidades de sustancias que pueden descolorar o producir malos olores, o un gusto objetable.

**Agua potable:** Es el agua apropiada para consumo humano.

**Aire atrapado:** Durante las operaciones de dosificación y mezcla del concreto es introducido un volumen de aire variable en cantidad, tamaño y forma de las burbujas; denominado generalmente como "aire atrapado u ocluido"; si estas burbujas permanecen dentro del concreto ocupando un porcentaje considerable del volumen se obtendrá un descenso importante en la resistencia potencial de la mezcla y en su durabilidad.

**Aire incluido:** Es dispersado en forma de minúsculas burbujas esféricas, conectadas entre sí sólo por canales muy pequeños llamados poros, a través de los cuales el agua escapa durante el secado del concreto y después del curado.

**Aleación:** Producto homogéneo de propiedades metálicas, resultado de una aleación, que está constituido por dos o más elementos, de los cuales al menos uno es un metal

**Asentamiento:** Es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials o ASTM International. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés

**Austenita o austerita:** Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma.

## B

**Bachada:** Cantidad de mezcla de concreto que se prepara durante un ciclo del mezclador en sitio o en las plantas de pre mezclado.



## C

**COGUANOR:** Comisión Guatemalteca de Normas

**Colada:** Acero producido en un solo ciclo en el proceso de colocación, compactación y acabado del concreto

**Colocado:** Consiste en hacer llegar el concreto hasta del encofrado, la colocación debe hacerse de tal manera que el concreto fluya hasta descansar en el encofrado sin dejarlo caer o que golpee las paredes de el encofrado.

**Concreto reforzado:** Es la combinación de un concreto estructural o no con un refuerzo que usualmente son barras de acero con características adecuadas para poder trabajar conjuntamente.

**Consolidación:** Compactar el concreto fresco dentro de las formaletas, eliminando gran cantidad de aire atrapado con el fin de evitar sus efectos perjudiciales, como son: baja resistencia, aumento de la porosidad y menor durabilidad.

**Contenido de aire:** Contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos internos de las partículas de los agregados

**Cordón de separación:** También conocido como bigote o ribete es una vena continua y uniforme paralela al eje longitudinal de la barra de acero.

**Corrug:** Son las deformaciones en relieve (resaltadas o cuales bajo la acción de una fuerza pueden deformarse cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) en el Sistema Internacional.

**Curado:** Es el proceso de controlar y mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes, para el desarrollo de las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.

## D

**Diámetros nominales:** son los números o diámetros convencionales con los sé que identifica a las barras de acero.

**Ductilidad:** Es la propiedad que algunos materiales, como durabilidad, como se especifican en la presente norma, excluyendo los aditivos que se usan primariamente para la manufactura de productos de concretos moldeados en seco.

**Dureza:** Propiedad mecánica de los materiales consistente en edades, para que desarrolle resistencia y otras

**Efecto estérico (o efecto de la orientación):** es un efecto descrito en la química orgánica causado por la influencia del volumen de un grupo funcional de una molécula en el curso de una reacción química, en la conformación o en las interacciones intermoleculares de una molécula

**Elasticidad:** virtud de la cual un cuerpo se deforma de manera proporcional a la carga aplicada y recupera su forma original una vez ha cesado la acción de la carga. ... La relación entre el esfuerzo y la deformación se denomina módulo de elasticidad.

## E

**Ensayo organoléptico:** descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color o temperatura.

**Esfuerzo de compresión:** es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección (coeficiente de Poisson).

## F

**Falla:** Es la pérdida de función de un material o elemento

**Fatiga:** Fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.

**Fluencia o cedencia:** La deformación irrecuperable de la probeta, a partir de la cual solo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible

**Formaleta:** Es el sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto u otros materiales similares.

**Fraguado final:** Estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable. El tiempo comprendido entre estos dos estados se llama tiempo de fraguado de la mezcla que se estima en unas diez horas, aunque varía dependiendo de la humedad relativa, temperatura ambiente, etc.

**Fraguado inicial:** En el proceso general de endurecimiento del concreto se presenta un estado de fraguado inicial en que la mezcla pierde su plasticidad.

## H

**Hidratación:** Es el proceso mediante el cual el cemento, al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante

## L

**Lote:** Es una cantidad determinada de barras del mismo batch de producción.

## M

**Marcaje:** Identificación indeleble en relieve de las barras de acero, deberá de indicar El fabricante (su nombre, logo o iniciales), Diámetro (en octavos de pulgada o milímetros). **Masa unitaria:** Masa de una barra de acero de longitud unitaria.

**Medida de la consistencia del concreto fresco:** También llamado revenimiento.

**Mezclado:** Cantidades de cemento y de otros materiales (agua, piedra, arena, otros aditivos) que se necesitan para obtener la resistencia y durabilidad requeridas, de acuerdo al uso que se le va a dar al concreto o mortero.

**Mezcladora:** Aparato o máquina empleada para la elaboración del concreto. Su principal función es la de suplantar el amasado manual de los diferentes elementos que lo componen.

**Mortero:** Mezcla de diversos materiales, como cal o cemento, arena y agua, que se usa en la construcción para fijar ladrillos y cubrir paredes.

## N

**NRMCA:** National Ready Mixed Concrete Association.

## P

**Pasta:** Nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.

**Perímetro nominal:** Son los perímetros convencionales con los sé que identifican los diámetros de las barras de acero.

**Peso unitario.** Variación que depende de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.

## R

**Relación agua-cemento:** Es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto, pues influye considerablemente en la resistencia final del mismo.

**Rendimiento:** Se define como la cantidad de mezcla fresca de concreto que se obtiene a partir de una dosificación conocida de insumos (ingredientes).

**Resistencia de materiales:** Capacidad que tienen los materiales para soportar esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformación o deteriorarse.

**Retardante aditivo:** Producen un cierto retraso intencional en el tiempo de fraguado del cemento.

**Segregación:** Es la separación de los componentes del concreto una vez amasado provocando que la mezcla fresca presente una distribución de sus partículas no uniforme.

## S

**Superplastificante:** Permite obtener una alta fluidez en concretos secos sin asentamiento, evitando además la segregación y exudación.

## T

**Tambor:** Elemento metálico circular de distintas capacidades para la mezcla del concreto.

**Tenacidad:** Es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones. Se debe principalmente al grado de cohesión entre moléculas.

**Tensión:** Fuerza interna conocida como tracción, que actúa por tensión.

**Trabajabilidad:** La propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de mezcla de concreto fresco.

**Trefilación:** Consiste en el estirado del alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras, dados, mandriles o trefilas de carburo de tungsteno cuyo diámetro es paulatinamente menor.

**Troquelado:** Recortar con precisión piezas o planchas de diferentes materiales (metal, piel, cartón, papel, etc.) valiéndose de un troquel.

## V

**Varilla de hierro:** Nombre con el que comúnmente se les conoce a las barras de acero para refuerzo del concreto.

**Vibrado:** Procedimiento de construcción que busca eliminar el aire o vacíos existentes dentro de la mezcla de cemento para lograr una mayor compactación de la misma. El vibrado interno consiste en la introducción de una varilla vibrante dentro de la mezcla fresca de concreto.

**Vibrador mecánico:** Equipo de inmersión que se utiliza para compactar el concreto acabado de verter. La cabeza vibratoria traslada las vibraciones al concreto, induciendo a las burbujas de aire atrapado hacia la superficie.

## Conclusiones

- La beneficiosa diversidad de propiedades del concreto como material de construcción, su compatibilidad al combinarse con otros materiales, que mejoran su desempeño, permite utilizarlo en las múltiples aplicaciones en las que se decida implementarlo. Su eficiente desempeño en términos estructurales, y económicos; se demuestra en su aplicación en obras de enfoque social, urbano y de servicios, en los ámbitos público y privado. La universalidad de su empleo en permanente aumento, permite encontrar múltiples casos de éxito en su utilización alrededor del mundo, a lo largo de más de un siglo de historia en su versión moderna.
- Mediante la presentación de esta tesis, se cumple el objetivo propuesto en este estudio, en cuanto a elaborar una *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, que ofrezca a estudiantes y docentes de Arquitectura, información fundamental acerca del concreto, que incluye aspectos, tales como: características estructurales, comportamiento, pruebas y herramientas periféricas para mejorar sustancialmente su desempeño.
- A medida que el estudiante se desarrolle académica y profesionalmente, los conocimientos adquiridos sobre materiales de construcción, y los ofrecidos en este caso específico, acerca del concreto, le permitirán al futuro profesional, realizar propuestas fundamentadas científicamente y, además, responsable y eficazmente.
- La escogencia del concreto para la edificación de obras será acertada si se toman en cuenta sus favorables propiedades, conjugadas con un diseño racional. Para ello deberán considerarse los siguientes aspectos: adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, lo que hará del concreto un material apto para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable y requerir escaso mantenimiento.
- El concreto constituye un material que goza de múltiples ventajas en beneficio de los diferentes actores copartícipes dentro de los proyectos de construcción, en sus diversas etapas. Su conveniente disponibilidad a nivel de oferta en el mercado regional se traduce en ventaja, por sobre otros materiales de construcción.

# Recomendaciones

Generales:

- Atender de manera responsable y profesional las distintas recomendaciones de fabricantes, entidades normativas y legisladoras competentes para la adecuada utilización del concreto como material de construcción.
- Considerar el conocimiento adquirido en relación al concreto, como una constante vía de aprendizaje en pro del ejercicio responsable y profesional, que incidirá en una mejor práctica en materia de planificación y ejecución de las obras, logrando rendimientos mejorados de los distintos renglones de recursos que componen los proyectos.
- Utilizar la *Guía teórica básica del concreto como material de construcción*, como instrumento introductorio de conocimiento científico de este material de construcción. Además, en los profesionales dedicados a la construcción, debe crearse el hábito de actualización dinámica y de aprendizaje permanente en temas técnicos relacionados. Lo que aportará, individual y socialmente, una práctica profesional eficiente y eficaz.

A los estudiantes de Arquitectura:

- Tomar ventaja de la disponibilidad de la información que este trabajo representa para el desarrollo de su formación académica, sin perder de vista la temporalidad establecida en el mismo, en función de las mejoras constantes y aparición de nuevos productos en el mercado en razón del desempeño, eficiencia y costo.
- Aprender los conceptos básicos sobre el concreto, para diferenciar los distintos tipos, aplicaciones; así como también, la diferenciación de propósitos de los distintos aditivos, fibras, refuerzos y entornos de uso. Además, será de suma utilidad conocer con claridad los conceptos de proporción, dosificación, relación agua/cemento, los cuales inciden de manera estructural y económica en las obras.
- Involucrarse en actividades extracurriculares en las que adquiera conocimientos sobre materiales de construcción. Por ejemplo; charlas técnicas de fabricantes, foros técnicos, ferias de materiales de construcción, boletines y revistas técnicas, suscripciones electrónicas y lectura de literatura relacionada con el tema.

# Referencias

- ACI. *ACI 347R-14, Guide to Formwork for Concrete*, Consultado el 15 de marzo del 2020, <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/CEU-347R-14.pdf>
- \_\_\_\_\_. *Fundamentos del concreto. Manual: serie del trabajador del concreto*. USA: 2016. Consultado el 18 de marzo del 2020, [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/CCS-0S\(16\)\\_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/CCS-0S(16)_preview.pdf)
- \_\_\_\_\_. *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05)*. (Versión en español y en sistema métrico). Es un estándar del ACI. Producido por el Comité ACI 318. USA, enero del 2005. Consultado el 25 de marzo del 2020, [https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/ACI\\_318\\_2005.pdf](https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/ACI_318_2005.pdf)
- AGREGUA. *Catálogo de productos y especificaciones de producto*.
- ARQHYS. *Tecnología del concreto*. s.f. Consultado el 28 de marzo del 2020, <https://www.arqhys.com/fundamentosconcretohtml>
- Arquitectura Pura. *Historia del Concreto y sus antecedentes en la construcción*. Consultado el 10 de abril del 2020, <https://www.arquitecturapura.com/la-historia-del-concreto/>
- ASTM Internacional. ASTM C33-03 Historical Standard: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto. Consultado el 15 de abril del 2020, <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C33-03-SP.htm>
- ASTM Internacional, ASTM C494/C494M-08<sup>a</sup>, Historical Standard: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto. Consultado el 15 de abril del 2020, <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C494C494M-08A-SP.htm>
- Barbará Zetina, Fernando. *Materiales y Procedimiento de Construcción*. Octava edición. México: Herrero S.A. 1962.
- Bonilla Hernández, Eddy Antonio. *Estudio comparativo de grouts para mampostería predosificados disponibles en Guatemala, de acuerdo a la norma ASTM C-476-08*. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. USAC, 2009. Consultado el 18 de abril del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3050\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3050_C.pdf)
- CEMEX. *Concretos. Manual del constructor*. s.f. Consultado el 20 de abril del 2020, <https://www.cemex.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-construccion-general.pdf/772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4>
- CEMPRO. *Catálogo de productos y especificaciones de producto*.
- Ché Archila, Dina Genoveva. *Dibujo natural un medio de representación arquitectónica*. Tesis de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, USAC, 2003. Consultado el 20 de abril del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_1058.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_1058.pdf)
- COGUANOR. *Catálogo de Normas Técnicas Guatemaltecas*. Consultado el 15 de abril del 2020, [http://www.coguanor.gob.gt/normas/Cat%C3%A1logo%20de%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20Guatemaltecas%20\(2\).pdf](http://www.coguanor.gob.gt/normas/Cat%C3%A1logo%20de%20Normas%20T%C3%A9cnicas%20Guatemaltecas%20(2).pdf)
- Dávila Mercado, María Paula. *Efecto de la adición de fibras sintéticas sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Construcción. UNAM: México, 2010. Consultado el 22 de abril del 2020, <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3441/davilamercado.pdf?sequence=1#:~:text=La%20principal%20ventaja%20de%20la,contracci%C3%B3n%20pl%C3%A1stica%2C%20en%20estado%20fresco.>

- De Cusa Ramos, Juan. *Aplicaciones del plástico en la construcción*. Barcelona: CEAC. 1979.
- De León Quiñónez, Alan Augusto. *Reducción del consumo de cemento en concretos premezclados, para el incremento en la rentabilidad de esta industria y la disminución del impacto ambiental que este genera*, Tesis de Ingeniería Industrial, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, USAC, 2013. Consultado el 22 de abril del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2869\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2869_IN.pdf)
- DeGarmo, E. Paul; J, Temple Black; Ronald A. Kohser. *Materiales y procesos de fabricación*. Barcelona: Editorial Reverte, S.A. 1994.
- Díaz Montes de Oca, Erick Oswaldo; Mildred Aminta Meza Monroy. *Control de calidad del concreto fluido para relleno estructural*. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. USAC, 2008.
- Driscoll, F.G. *Groundwater and wells*. USA: Johnson Division, 1986.
- Enciclopedia Ceac. *Materiales para la construcción. Enciclopedia CEAC del encargado de obras*. Barcelona: Ceac, 1987.
- Flores Leal, Glendy Catalina. *Manual de supervisión de viviendas construidas con formaleta de aluminio*. Tesis de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, USAC, 2010. Consultado el 25 de abril del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_2598.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2598.pdf)
- Gallo, Erik J. M. *Ensayo de Materiales I*. Universidad Nacional de Chimborazo, Carrera de Ingeniería Civil. Consultado el 25 de abril del 2020, <https://edoc.pub/ensayo-de-compresion-de-cilindros-de-concreto-pdf-free.html>
- Higueros Picén, Susana Mariela. *Materiales de construcción innovadores en el mercado guatemalteco*, Tesis de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Escuela de Arquitectura, USAC, 2016. Consultado el 25 de abril del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_4379.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4379.pdf)
- Ingeniería Civil: Avances Tecnológicos. *Tecnología del concreto*. 7 de junio del 2015. Consultado el 27 de abril del 2020, <https://harold17cr.blogspot.com/2015/06/tecnologia-de-concreto.html>
- Irungaray Sierra, Sergio Armando. *Evaluación del volumen y calidad del concreto premezclado entregado en obra por camiones mezcladores en el departamento de Guatemala, según la norma ASTM C-94*. Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, USAC, 2007.
- Kosmatka, Steven H. et.al. *Diseño y Control de mezclas de Concreto*. PCA, 2004. En: ISSUU.com. Consultado el 27 de abril del 2020, [https://issuu.com/gustavochochongalcivar/docs/dise\\_o\\_y\\_control\\_de\\_mezclas\\_de\\_con](https://issuu.com/gustavochochongalcivar/docs/dise_o_y_control_de_mezclas_de_con)
- López Orozco, Juan Orlando. *Porosidad del concreto*. Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, USAC, 2014. Consultado el 5 de mayo del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2394\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2394_C.pdf)
- Maselli Loaiza de Monterroso, Giovanna Beatrice. *Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala*. Tesis de Maestría en Gestión para la Reducción del Riesgo. Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Arquitectura. USAC: 2018. Consultado el 5 de mayo del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_5011.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_5011.pdf)
- Mendoza Camey, Víctor Gabriel Rolando. *Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el Departamento de Totonicapán*. Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. USAC, 2018.
- MIXTO LISTO. *acabados predosificados*. Mixto Listo, s.f.
- \_\_\_\_\_. *Catálogo de productos y especificaciones de producto MIXTO LISTO*.

\_\_\_\_\_. *Catálogo de productos y especificaciones de producto predosificados.*

Nájera González, Víctor Hugo. *Evaluación técnica y económica del uso de aditivo reductor de agua de alto rango, en concretos fluidos.* Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, USAC, 2009. Consultado el 5 de mayo del 2020, [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2983\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2983_C.pdf)

Neville, A.M. *Tecnología del concreto*, Tomo II, IMCYC, Editorial Limusa, México D.F., 1988, p

Oré Torre, John. *Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto.* SENCICO, Perú, octubre 2014. En: ISSUU.com. Consultado el 8 de mayo del 2020 [https://issuu.com/sencico\\_documentosdigitales/docs/manual\\_de\\_preparaci\\_oacute\\_n\\_\\_coloc](https://issuu.com/sencico_documentosdigitales/docs/manual_de_preparaci_oacute_n__coloc)

Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. *Calidad de agregados producidos en Guatemala.* Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. USAC, 2004.

Saad, Antonio Miguel. *Tratado de construcción, tomo I.* México: Editorial Continental, S.A. de C.V. s.f.

Sika Colombia. *Concreto reforzado con fibras.* s.f. Consultado el 8 de mayo del 2020, <https://cri.sika.com/dms/getdocument.get/7bef35eb-d2bb-3ea4-b51f-b5bc3c99b1e2/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>.

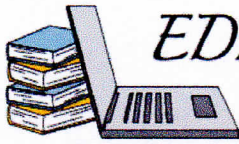
\_\_\_\_\_. *Manual de productos.* 2013. Consultado el 12 de mayo del 2020, [http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual\\_de\\_productos\\_sika\\_2011.pdf](http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/manual_de_productos_sika_2011.pdf)

USAC. Facultad de Arquitectura. Documento de apoyo a la docencia del curso de *Manejo y Diseño Ambiental 1.*

Van Lengen, Johan. *Manual del Arquitecto Descalzo. Mecánica y Resistencia de Materiales.* Harry Parker, M.C. México: Limusa, 1982..

Vilagut Guitart, Fernando. *Prefabricados de hormigón.* Barcelona: Gustavo Gili, S.L. 1975.





EDICIONES TM

Norma Leticia Toledo Morales  
Licenciada en Letras  
Colegiada No. 22970

Guatemala, 12 de octubre 2020

MSc. Arquitecto  
Edgar Armando López Pazos  
Decano  
Facultad de Arquitectura  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado señor Decano:

Atentamente, hago de su conocimiento que llevé a cabo la revisión de estilo y lingüística del proyecto de graduación del estudiante: **Jorge Mario García Estrada**, carné 94-19731 de la Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, titulado:

*Guía Teórica Básica del Concreto, como Material de Construcción.*

Proyecto de grado, previo a conferírsele el título de Arquitecto en el grado académico de licenciatura.

Luego de las adecuaciones y correcciones pertinentes en el campo lingüístico, considero que el proyecto de graduación que se presenta, cumple con la calidad técnica y científica requerida.

Al agradecer la atención que se sirva brindar a la presente, me suscribo respetuosamente.

Norma Leticia Toledo Morales  
Licenciada en Letras

[nortolmo2@gmail.com](mailto:nortolmo2@gmail.com)

WhatsApp 35498645 y Cel. 59469408

Norma Leticia Toledo Morales  
Licenciada en Letras  
Colegiada 22970

*Revisión de estilo*

*Redacción*

*Ortografía*

**“GUIA TEÓRICA BÁSICA DEL CONCRETO, COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN”.**

Proyecto de Graduación desarrollado por: Jorge Mario García Estrada



Jorge Mario García Estrada

Asesorado por:



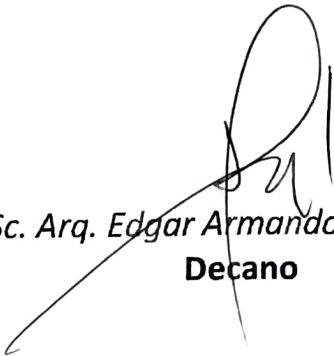
MSc. Arq. Edgar Armando López Pazos



Arq. Jorge Arturo Gonzales Peñate

Imprímase:

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



MSc. Arq. Edgar Armando López Pazos

**Decano**