



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN GUATEMALA

Martín Velásquez Jofre

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, noviembre 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARTÍN VELÁSQUEZ JOFRE

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Lionel Alfonso Barillas Romillo
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de mayo de 2011.



Martín Velásquez Jofre



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala, 4 de octubre de 2011

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos de Guatemala

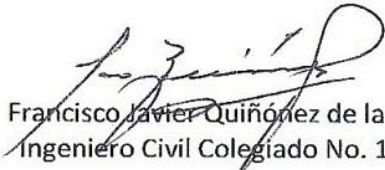
Ingeniero Melini:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado "Evolución de la industria del concreto en Guatemala", realizado por el estudiante universitario **Martín Velásquez Jofre**, para el cual fui nombrado asesor con fecha 12 de mayo de 2011.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Velásquez Jofre** satisface los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,


Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941



Cc archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
24 de octubre de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro,

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Martín Velásquez Jofre, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Martín Velásquez Jofre, titulado, EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2011.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado **EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Martín Velásquez Jofre**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Ríos
Decano



Guatemala, noviembre de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre	Jorge por educarme de manera excepcional, su esfuerzo, su amor y consejos.
Mi madre	María por la forma de criarme, su amor, su dedicación y su ejemplo.
Mi hermana	Pilar por su increíble amor, motivación y ejemplo a lo largo de mi vida
Mi hermano	Diego por su amor, recomendaciones y consejos a lo largo de la carrera y de mi vida y ser uno de mis mayores ejemplos a seguir.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida, la capacidad y voluntad necesaria para graduarme como Ingeniero Civil.
La Universidad de San Carlos	Mi alma máter.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar específico que me brindó la carrera de la Ingeniería Civil.
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz	Por facilitar y asesorar el presente trabajo de graduación.
Amigos y amigas	En especial a Allan, Ángel, Cecilia, Dolman, Eddie, Francisco, German, Héctor, Josué, Karen, Marco, Nathalie, Oscar, Pablo, Puga, Rodrigo, Romeo, Rudy, Wingston, por acompañarme, apoyarme y ayudarme a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. DEFINICIONES Y NACIMIENTO DE LA INDUSTRIA	
1.1. Conceptos generales del concreto	1
1.1.1. Cemento	1
1.1.2. Agregados	2
1.1.2.1. Agregado fino	2
1.1.2.2. Agregado grueso.	3
1.1.3. Agua	3
1.1.4. Concreto	4
1.2. Historia	5
1.3. Inicio y establecimiento de empresas (materiales constituyentes y concreto)	7
1.3.1. Cementos Progreso	7
1.3.2. Mixto listo	9
1.3.3. Macromix	11
1.3.4. Agregua	11
1.3.5. Precon	12

1.3.6.	Otras.....	13
2.	EVOLUCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA HASTA 1990	
2.1.	Lineamientos generales de la industria.....	15
2.2.	Implementación, tecnología y forma de producción	16
2.2.1.	Cemento	16
2.2.2.	Concreto premezclado.....	18
2.2.3.	Estructuras de concreto prefabricado	19
2.3.	Modos de empleo y uso en la construcción	20
2.4.	Construcciones de concreto armado en Guatemala hasta 1990...	21
2.4.1.	Historia	21
2.4.1.1.	Historia de 1900-1950.....	22
2.4.1.2.	Historia de 1950-1990.....	24
3.	EVOLUCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA DESDE 1900 A LA FECHA	
3.1.	Lineamientos generales de la industria.....	29
3.2.	Implementación, tecnología y forma de producción	30
3.2.1.	Cemento	30
3.2.2.	Agregados	36
3.2.3.	Concreto premezclado.....	37
3.2.4.	Estructuras de concreto prefabricado	40
3.3.	Modos de empleo y uso en la construcción	40
3.4.	Construcciones de concreto armado a partir de 1990.....	42
3.4.1.	Historia	42
3.4.1.1.	Historia de 1990-Presente.....	42
3.4.2.	Historia actual	45

4.	MATERIAS PRIMAS, MATERIALES MÁS UTILIZADOS Y SUS USOS	
4.1.	Cemento	47
4.1.1.	Cemento UGC.....	47
4.1.2.	Cemento para fabricar blocks.....	48
4.1.3.	Cemento pega block	49
4.1.4.	Cemento tipo V	50
4.1.5.	Cemento estructural	51
4.1.6.	Cemento blanco	52
4.1.7.	Cemento para pozos petroleros	52
4.1.8.	Cementos para diferentes tipos de climas	53
4.1.9.	Cementos internacionales	55
4.2.	Agregados	56
4.2.1.	Agregado grueso.....	56
4.2.2.	Agregado fino.....	57
4.3.	Concreto premezclado.....	58
4.3.1.	Concreto convencional.....	58
4.3.2.	Concreto estructural.....	59
4.3.3.	Concreto fluido	60
4.3.4.	Concreto vivienda en serie	61
4.3.5.	Concreto para pavimentos	62
4.3.6.	Concretos especiales	63
4.4.	Prefabricados.....	64
4.4.1.	Pavimentadores	64
4.4.2.	Blocks	66
4.4.3.	Vigueta y bovedilla	68
4.4.4.	Forma-viga.....	71
4.4.5.	Viga T.....	73
4.4.6.	Muros de contención	75

4.4.7.	Columnas prefabricadas	76
4.4.8.	Planchas-losas	77
4.4.9.	Jersey	79
4.4.10.	Pilas o pilotes.....	80
5. NORMAS UTILIZADAS EN EL USO DEL CONCRETO		
5.1.	Normas <i>ASTM</i>	83
5.1.1.	Cemento	83
5.1.2.	Agregados	86
5.1.3.	Concreto premezclado.....	87
5.1.3.1.	Aditivos	91
5.2.	Normas <i>COGUANOR</i>	91
5.2.1.	Cemento	92
5.2.2.	Agregados	93
5.2.3.	Concreto premezclado.....	94
5.3.	Capítulo <i>ACI</i> Guatemala	95
6. DURABILIDAD Y INFRAESTRUCTURA		
6.1.	Diseño por durabilidad.....	98
6.2.	Mantenimiento y durabilidad.....	102
6.3.	Retos de la durabilidad.....	104
6.4.	Materiales cementantes suplementarios.....	109
6.4.1.	Utilización de puzolanas como adición.....	111
6.4.2.	Utilización de ceniza volante (<i>fly ash</i>) como adición	113
7. LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL SIGLO XXI		
7.1.	Oportunidades y desafíos de la industria.....	117
7.2.	Concretos especiales	119

7.3.	Tecnologías de interés para Guatemala	123
7.3.1.	Concretos reforzados con fibras	123
7.3.2.	<i>GRC (Glass fiber reinforced cement)</i>	125
7.3.3.	Ferrocemento	126
7.3.4.	Concreto seco compactado con rodillo (CCR).....	129
7.3.5.	Concreto seco compactado con rodillo de alto desempeño (CCRAD)	131
8.	CONDICIONANTES AMBIENTALES	
8.1.	Reforestación.....	133
8.2.	Gestión de residuos	135
8.3.	Manejo del agua	138
9.	AMENAZAS PARA LA INDUSTRIA	
9.1.	Producción de concreto	139
9.1.1.	Explotación y falta de recursos naturales	140
9.1.2.	Contaminación	145
9.2.	Amenazas directas a la infraestructura hecha de concreto	148
9.2.1.	Desastres naturales	148
9.2.1.1.	Actividad sísmica	149
9.2.1.2.	Actividad volcánica	152
	CONCLUSIONES	157
	RECOMENDACIONES.....	161
	BIBLIOGRAFÍA.....	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Composición básica del concreto	5
2. Imagen actual de la planta San Miguel Cementos Progreso	8
3. Primera bomba impulsadora de concreto	10
4. Producción de cemento en Guatemala 1910-1990.....	17
5. Edificio de la empresa eléctrica en la actualidad	22
6. Municipalidad de Guatemala 1960	25
7. Puente Martín Prado Velez	26
8. Producción de cemento	34
9. Producción de cemento en Guatemala 1991-2009.....	35
10. Mapa potencial minero Guatemala	36
11. Vista área de una parte de edificios en la zona 10	43
12. Principales bancos de agregado grueso artificial.....	56
13. Ubicación de bancos de agregado fino natural.....	57
14. Adoquines más fabricados en Guatemala	65
15. Colocación correcta del adoquín	66
16. Blocks más fabricados en Guatemala	68
17. Sistema vigueta y bovedilla	70
18. Ejemplo del sistema vigueta y bovedilla	71
19. Sistema forma-viga en un marco estructural	72
20. Sistema instalado de viga T prefabrica	74
21. Detalle de muro de contención y ejemplo	76

22. Sistema plancha-losa.....	77
23. Ejemplo plancha-losa.....	78
24. Estructura barrera jersey (dimensiones en mm).....	79
25. Barrera jersey de concreto prefabricado	80
26. Utilización de pilotes prefabricados en puentes	81
27. Comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable.....	100
28. Retos de la durabilidad	104
29. Fibras utilizadas en el refuerzo del concreto	124
30. Estructura del ferrocemento	128
31. Producción de concreto mundial	146
32. Mapa tectónico de Centroamérica	150
33. Productos de la actividad volcánica	154

TABLAS

I. Construcciones de concreto armado en Guatemala en el período de 1900- 1950.....	24
II. Construcciones importantes en Guatemala en el período de 1950- 1990.....	28
III. Edificios mayores de 10 niveles	44
IV. Dosificaciones para la utilización de cemento UGC	48
V. Cementos internacionales importados a Guatemala	55
VI. Propiedades de los adoquines utilizados en Guatemala	65
VII. Propiedades de los blocks más utilizados en Guatemala	67
VIII. Especificaciones de vigueta y bovedilla (carga viva: 200 kg/m ²)	70

IX. Normas <i>ASTM</i> utilizadas en los cementos producidos en Guatemala.....	86
X. Normas <i>ASTM</i> utilizadas en los concretos premezclados producidos en Guatemala.....	90
XI. Normas COGUANOR para la utilización de agregados y comparación.....	93
XII. Normas COGUANOR para la utilización de concreto premezclado y comparación	94
XIII. Minerales no metálicos, utilización y localización en Guatemala	141

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
M_w	Escala de magnitud de momento
C°	Grados Centígrados
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
km	Kilómetro
km²	Kilómetros cuadrados
lb	Libras
MPa	Mega Pascales
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetros

N	Número
pH	Potencial de hidrogeno
%	Porcentaje
f'_c	Resistencia a la compresión del concreto
f_y	Resistencia a la fluencia de refuerzo

GLOSARIO

ACI	Siglas en inglés de <i>American Concrete Institute</i> : (Instituto Americano del Concreto).
Adición	Material que se usa en una cantidad muy pequeña para alterar una propiedad específica de otro material o por el contrario para mejorar sus características.
Aditivo	Compuesto químico que se agrega al concreto al momento del mezclado, para mejorar sus características y cualidades.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Aglomerante	Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos.
Andesita	Roca eruptiva de tonalidad grisácea oscura o negra, constituida principalmente por plagioclasa sódico-cálcica.

Alúmina	Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza en estado puro o cristalizado formando, en combinación con la sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.
ASTM	Siglas en inglés de <i>American Society of Testing Materials</i> . (Sociedad Americana para Ensayos en los Materiales.)
Basalto	Roca volcánica de color negro o gris oscuro, de grano fino, muy dura y compuesta principalmente de feldespato y piroxeno.
Cantera	Lugar de donde se extraen elementos o materiales de construcción que se van a emplear en otro sitio.
Clinker	Componente principal del cemento constituido por silicatos de calcio obtenido por medio de la cocción hasta fusión parcial de una mezcla convenientemente proporcionada y homogeneizada de materiales debidamente seleccionados.
Clivaje	Propensión que un mineral tiene a dividirse en capas paralelas.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.

Compresión	Fuerza o presión que se ejerce sobre algo con el fin de reducir su volumen.
Consolidación	Es el proceso que consiste en compactar al concreto fresco para amoldarlo dentro de las formaletas, evitando las cavidades del aire atrapado.
Corrosión	Desgaste o destrucción lenta y paulatina de una cosa.
Cuarzo	Mineral formado por la sílice utilizado para la abrasión.
Curado	Es el mantenimiento de condiciones favorables de humedad y de temperatura del concreto a tempranas edades, para que desarrolle resistencia y otras propiedades.
Dolomita	Mineral parecido a la calcita, transparente o traslúcido y formado por carbonato cálcico y principalmente magnésico.
Dúctil	Material que puede deformarse, moldearse, malearse o extenderse con facilidad.
Durabilidad	Característica de lo que dura o posibilidad de durar mucho.

Escoria	Es la base para la fabricación del cemento formado por caliza, arcilla y minerales que se trituran y pre homogenizan, pero sin llegar a la molienda ni la clinkerización.
Esquisto	Roca metamórfica de color negro azulado que se divide con facilidad en hojas o láminas.
Erosión	Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.
Formaleta	Molde temporal para el concreto fresco, que se retira una vez que el concreto logra la resistencia suficiente para sostenerse a sí mismo. Puede ser llamado cimbra.
Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.
Granulometría	Graduación del tamaño de las piedras o granos que constituyen los agregados fino y grueso. Método para determinar dicha graduación.
IBC	Siglas en inglés de <i>International Building Code</i> . (Código Internacional de Construcción).

ICCG	Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
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.
Placa Tectónica	Fragmento que tiende a desplazarse como un solo bloque rígido y que forma parte de la superficie terrestre.
Puzolana	Material con alto contenido de silicio o silicio-aluminio, de origen natural o industrial, que una vez pulverizado en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando, a temperatura ambiente, compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables.
Retardante	Aditivo que demora el tiempo de fraguado del concreto. También es llamado retardador o retardante de fraguado.

Revenimiento	Es el asentamiento del concreto cuando se ensaya en el cono de <i>Abrams</i> .
Sílice	Existe normalmente como un óxido en forma soluble, insoluble y coloidal que se encuentra en casi todas las rocas, siendo el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc.
Tamiz	Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.
UBC	Siglas en inglés de <i>Uniform Building Code</i> , (Código Uniformado de Construcción).
Vibrado	Acción de vibrar el concreto fresco con el objeto de expulsar el aire atrapado durante el mezclado.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación muestra lo relacionado a la producción y la utilización del cemento y del concreto en Guatemala desde sus inicios hasta su establecimiento como una de las más importantes industrias a nivel nacional.

La primera parte conformada de tres capítulos, hace mención a la historia, evolución y logros de la industria del concreto en Guatemala, que son indicados a través del nivel económico y técnico, que llevaron en la actualidad al concreto en el material más utilizado en la construcción nacional. Lo que conlleva a la segunda parte conformada por dos capítulos, mostrando el estado actual de la industria que consiste en mencionar algunos de los productos existentes en el mercado que son utilizados para la fabricación de estructuras de concreto.

En la tercera y última parte constituida de cuatro capítulos se mencionan todas las consideraciones y condicionantes para el futuro de esta industria en Guatemala, que deben procurar de ser aplicadas para poder seguir avanzando a un nivel tecnológico y económico en la producción de concreto, superando diferentes tipos de desafíos y amenazas que pueden resultar a través del tiempo.

OBJETIVOS

General

Realizar un documento que exponga la evolución y los avances tecnológicos y económicos de Guatemala con relación a la industria del concreto, así como el futuro que se prevé.

Específicos

1. Describir la historia de la industria del concreto en Guatemala.
2. Dar a conocer el estado actual de lo relacionado con la industria del concreto en Guatemala.
3. Presentar algunas de las disposiciones planteadas para el futuro en lo referente a la evolución de la industria del concreto en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el concreto es el material más utilizado en la construcción y seguirá formando una gran parte de su infraestructura y, debido a eso, el conocimiento y la tecnología son básicos para el Ingeniero Civil encargado de alguna etapa del proceso constructivo. En la actualidad las tecnologías de producción del concreto han alcanzado un alto nivel de desarrollo desde su mecanización y automatización, siendo altas consumidoras de energía, agua y otros recursos materiales que tienen una determinante influencia en el medio ambiente.

Guatemala no ha sido la excepción, y ha estado inmersa dentro de esta evolución disponiéndose actualmente, con algunos de los materiales y productos fundamentales para la producción y la utilización del concreto que ha sido la base fundamental de cualquier proyecto de infraestructura y por consiguiente deben conocerse sus características y cualidades más importantes, a efecto de optimizar su uso.

En Guatemala se tiene poco conocimiento de cómo se produce y la forma de utilización del concreto, y por lo tanto no se tiene claro de cómo inició esta importante industria, su trayectoria, sus avances y sus logros a través de los años, así como su futuro. Debido a eso se realizó el presente trabajo de graduación

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación FODECYT número 023-2010, que se realiza en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y en la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el co-financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala.

1. DEFINICIONES Y NACIMIENTO DE LA INDUSTRIA

1.1. Conceptos generales del concreto

1.1.1. Cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico, compuesto esencialmente de cal, alúmina y sílice finamente pulverizados, que se fragua algún tiempo después de amasarlo con agua y se endurece gradualmente hasta tomar una resistencia pétrea, tanto conservados bajo agua, como al aire. El cemento más común es el denominado cemento *Pórtland* que tiene la propiedad de conformar una masa pétrea resistente y duradera a lo que se llama concreto. Es el más usual en la construcción.

En Guatemala se inicia la fabricación del cemento en el año 1899, cuando el ingeniero Carlos Novella Klee, fundó la primera fábrica, que empieza a producir en el año 1901 una cantidad de 100 sacos de cemento portland Tipo I (uso general en la construcción) diarios, utilizando para su inicio capital norteamericano; y llegando a producir 500 sacos diarios. Luego en el año 1928, produciendo hasta 1600 sacos diarios. De esta forma convirtiéndose en la única empresa productora de cemento en el país.

1.1.2. Agregados

Se designa como agregados, a materiales inertes resultantes de la desintegración natural de las rocas, u obtenidos de la trituración de las mismas, que unidos con un aglomerante, forman concreto, mortero, argamasa, etc. Pueden clasificarse de varias formas, por su reactividad (activos e inertes), por su tamaño (agregado fino y agregado grueso). De acuerdo a su origen, puede darse otra clasificación, ya que se encuentran los agregados de origen natural, como el canto rodado, y lo de origen artificial, como el triturado; según se encuentren en la naturaleza o sean producidos por el hombre, respectivamente.

1.1.2.1. Agregado fino

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, compactos, durables. En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas. En Guatemala se considera agregado fino, la arena de partículas muy pequeñas que pasan por una malla de abertura de 5 milímetros. (tamiz N. 4).

1.1.2.2. Agregado grueso

El agregado grueso consiste en gravas o en pedrín proveniente de los cantos rodados naturalmente o triturado desde una cantera. Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. En Guatemala se considera como agregado grueso, grava o pedrín, al compuesto por partículas mayores a 5 mm. (Que quedan retenidas en el tamiz N.4).

1.1.3. Agua

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas.

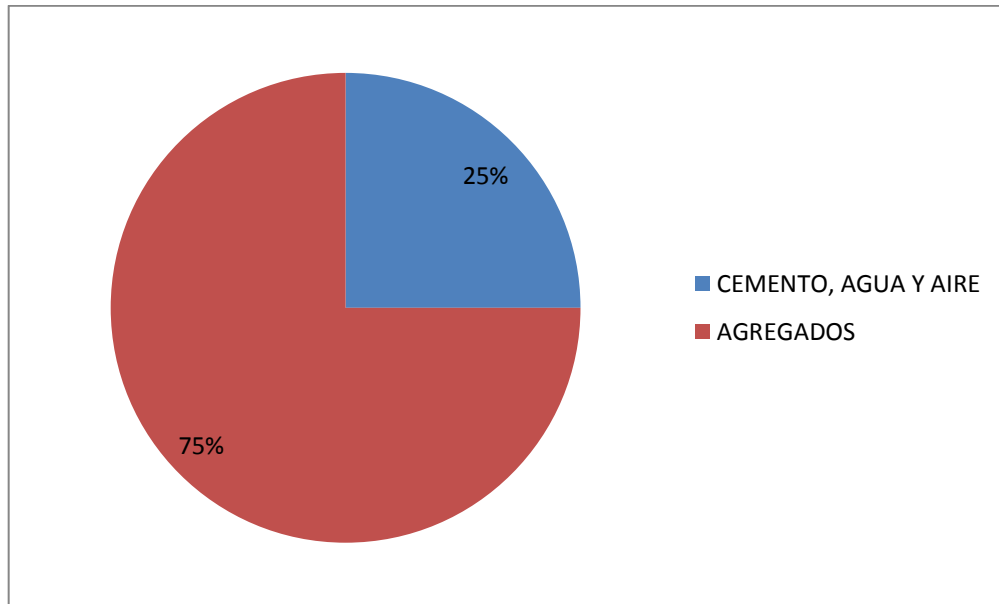
El agua utilizada en la elaboración del concreto debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos 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.

1.1.4. Concreto

El concreto u hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena (agregado fino) y pedrín o grava (agregado grueso) y en algunos casos de aditivos. Es actualmente el material más empleado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. El concreto es una roca creada por el hombre, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado con las características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación.

La dosificación y producción del concreto es un trabajo complejo; por consiguiente se deben seguir las normas con respecto a su dosificación, producción, calidad de los agregados, proceso de fabricación, procesos de curados, su composición básica está constituida como si indica en la figura 1. En Guatemala a partir de 1917 fue necesaria la utilización de concreto simple y tanto como armado, debido a los desastres naturales ocurridos en esa época (terremotos), para la construcción de estructuras más resistentes en el país.

Figura 1. **Composición básica del concreto**



Fuente: elaboración propia.

1.2. Historia

En Guatemala el inicio de la industria cementera comienza por una fábrica creada en 1899 por el ingeniero Novella en Guatemala, equipada con maquinaria alemana de segunda mano, se modernizó en 1917 gracias al acuerdo alcanzado con la *United Fruit*, esto se logró para tener una producción propia de cemento y no depender mucho de las importaciones de Alemania y Estados Unidos. Al ver la buena producción de cemento en la década de 1930, empezaron a surgir más edificaciones de concreto en Guatemala, con la obtención de sus 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, y también el inicio de 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 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. A partir de la década del 90 empezavuna 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.

1.3. Inicio y establecimiento de empresas (materiales constituyentes y concreto)

1.3.1. Cementos Progreso

El 18 de octubre de 1899, el señor Carlos Federico Novella Kleé creó la empresa Carlos F. Novella y Cía. Don Carlos, se aventuró a invertir en una cementera ejerciendo desde ese momento un liderazgo transformador ya que en ese tiempo, el cemento no era el material que en Guatemala se utilizaba para la construcción. En 1901, se inició la comercialización del cemento *Portland* tipo I producido en la finca la Pedrera. En 1915 se disuelve la primera sociedad y la empresa cambia su razón social dando participación a capital extranjero. Se establece *Novella Cement Company*, la capacidad por este entonces era de 500 sacos diarios.

A raíz del terremoto de 1917, se inicia la verdadera demanda del 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 de la cual se precisaba de una inyección de capital que hiciera crecer la fábrica. Este capital viene de Estados Unidos, pero en 1927 la empresa regresa a manos guatemaltecas, con el nombre de Fábrica Nacional de Cemento Novella y Cía Ltda.

En 1965 se adquirió la finca San Miguel Río Abajo en Sanarate, El Progreso. 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 arrancó en 1998. (Figura 2). Finalmente, para satisfacer la demanda de cementos y materiales de construcción en Guatemala se empezó a producir cementos de tipo I de 352 kg/cm² (5000 psi), cemento tipo V y tipo H. Cementos Progreso es la única empresa que produce cemento en Guatemala, a comparación de las empresas internacionales como CEMEX, Cruz Azul, Tolteca, que importan el cemento para distribuirlo en el país.

Figura 2. Imagen actual de la Planta San Miguel Cementos Progreso



Fuente: VANDER C., www.guate360.com/galeria, junio 2011.

1.3.2. Mixto Listo

Mixto Listo inicia sus operaciones el 26 de noviembre de 1954, contando únicamente con una planta de producción de concreto premezclado. Ya 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 sus inicios solo se utilizaban concreto premezclado en edificaciones en tres niveles, sin embargo, cuando se compró la primera bomba impulsora de concreto en 1963 (figura 3) se podía utilizar este tipo de concreto en edificios más altos.

Luego 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 200 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 para estar a la vanguardia de la producción de concreto, ubicadas estratégicamente a lo largo de la región metropolitana con el objetivo de atender mejor a sus respectivos clientes a lo largo de esta región.

Entre las principales obras realizadas por Mixto Listo a lo largo de su historia se encuentran: El Banco de Guatemala, El Circuito Vía El Trébol, Aeropuerto Internacional La Aurora, Banco de Crédito Hipotecario Nacional, Represa Jurum Marinalá, Edificio de Finanzas, Puente del Incienso, Puente El Naranjo, Pavimento de la Avenida Reforma, Gran Teatro Nacional Miguel Ángel Asturias, Banco Industrial, Centro Gerencial Las Margaritas, Centro Comercial Miraflores y muchas obras más han contribuido al desarrollo de Guatemala.

Figura 3. Primera bomba impulsadora de concreto



Fuente: CEMPRO, www.cempro.com/fotos, junio 2011.

1.3.3. Macromix

Macromix es una empresa guatemalteca dedicada a la producción y comercialización de concreto premezclado, siendo una de las empresas que conforman el Grupo Macro fundada en el 2007, especializada en proyectos de vivienda industrializada. Actualmente Macromix cuenta con 2 plantas estratégicamente ubicadas para la producción de concreto, que con una moderna flota de camiones y personal capacitado les permite brindar su producto principal que es el concreto premezclado en toda la ciudad capital y departamentos aledaños.

1.3.4. AGREGUA

En Guatemala, debido a la explotación de sus agregados de canto rodado, la industria de construcción demandaba la existencia de una sólida productora de agregados para satisfacer la necesidad de productos variados, con estándares de calidad mundial y abastecimiento garantizado. Por eso en marzo del 2004, nace Agregados de Guatemala (AGREGUA) aprovechando las fortalezas de 3 empresas líderes de la industria de construcción y enfilándose como el más grande productor del istmo.

Produciendo pedrín, arena, bases trituradas y otros agregados para diversos usos en construcción, gracias a sus estrictos procesos productivos y la utilización de la más moderna y eficiente tecnología a nivel mundial, cabe mencionar dentro de sus hechos significativos ante la responsabilidad social y empresarial, contribuye al mejoramiento y construcción de escuelas, con la aportación de pedrín y arena.

1.3.5. PRECON

PreCon está al servicio de los guatemaltecos desde 1970 ofreciendo sus servicios y productos en el ramo de la construcción con profesionales experimentados en la ejecución de obra civil y con calificados especialistas en el campo de las estructuras y la geotecnia. PreCon, lidera en Centroamérica en la elaboración industrial de prefabricados de concreto. Con 2 plantas de producción provee al mercado Centroamericano con productos para uso general en la construcción como block, pavimentadores, losas y paredes prefabricadas de concreto.

De acuerdo a las necesidades de cada proyecto, se diseñan y fabrican productos a la medida como vigas y columnas para edificios; pilotes para puentes y muelles; paredes prefabricadas para casas y bodegas, fachadas para edificios y centros comerciales, graderíos para estadios, sistemas de reforzamiento de suelos y productos de seguridad vial. PreCon cuenta con la certificación de registro de empresa ISO 9001:2000, concedida por AENOR al sistema de aseguramiento de la calidad.

1.3.6. Otras

- FORCOGUA

Una empresa guatemalteca sólida que nació en el año 2000 fundamentada en la calidad y excelencia resultante en un sistema industrializado que aprovecha los últimos avances y la mejor tecnología en métodos y mecanismos para la producción de concreto premezclado. En FORCOGUA se cuenta con la experiencia y capacidad de ingenieros y arquitectos activos, con una amplia trayectoria en el diseño y control de mezclas, con el objetivo de dar un producto de calidad cumpliendo con las estrictas normas internacionales *ASTM* y *ACI*.

- RAPIMIX

Es una empresa con experiencia en el mercado de la construcción con la meta de desarrollar ideas innovadoras para las soluciones prácticas, cuenta con un equipo humano y mecánico especializado en el ramo de la fabricación, suministro y aplicación de concreto, movimiento de tierras y colocación de asfalto. Esta empresa se dedica al movimiento de tierras y el suministro y aplicación de concreto premezclado, suministro y aplicación de concreto directo o con bomba, de la resistencia deseada. Suministro y aplicación de sabieta y lodocreto. Cuenta con una planta ubicada en la zona 3, de la ciudad capital.

- PROCRETO

Productos de Concreto de Guatemala, (PROCRETO), fue fundada en 1975, con la visión de conformar un grupo dedicado al procesamiento y transformación de agregados áridos disponibles en el mercado nacional, para lo cual se utilizó tecnología de punta con el propósito de ofrecer al mercado nacional y circunvecino materiales para la construcción y que cumplieren con las normas nacionales e internacionales correspondientes. En 1976 después del terremoto fue una de las empresas que ayudo restablecer, a la infraestructura de viviendas, hospitales, edificios educativos y de comunicación del país.

2. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA HASTA 1990

2.1. Lineamientos generales de la industria

En el siglo XX se realizaron grandes avances en la estandarización de las pruebas básicas del cemento, además de comenzarse a introducir las innovaciones del concreto armado a la Arquitectura e Ingeniería; y es a partir de este momento cuando alcanza un gran desarrollo en la sistematización de sus técnicas, métodos constructivos y cálculos. Con este crecimiento tecnológico nacen industrias relacionadas o derivadas del cemento; para controlar mejor su uso y para su empleo más eficiente, se crean industrias como: del concreto premezclado, de la prefabricación, del pre-esfuerzo, tubos, blocks, entre otros.

El cemento empezó como el producto industrial más utilizado en el mundo, su bajo precio y versatilidad permitieron un amplio campo de aplicaciones y entre las más importantes la utilización del concreto. En Guatemala a partir de 1901, se inició la comercialización del cemento y luego en 1954 empieza la producción y comercialización del concreto premezclado

2.2. Implementación, tecnología y forma de producción

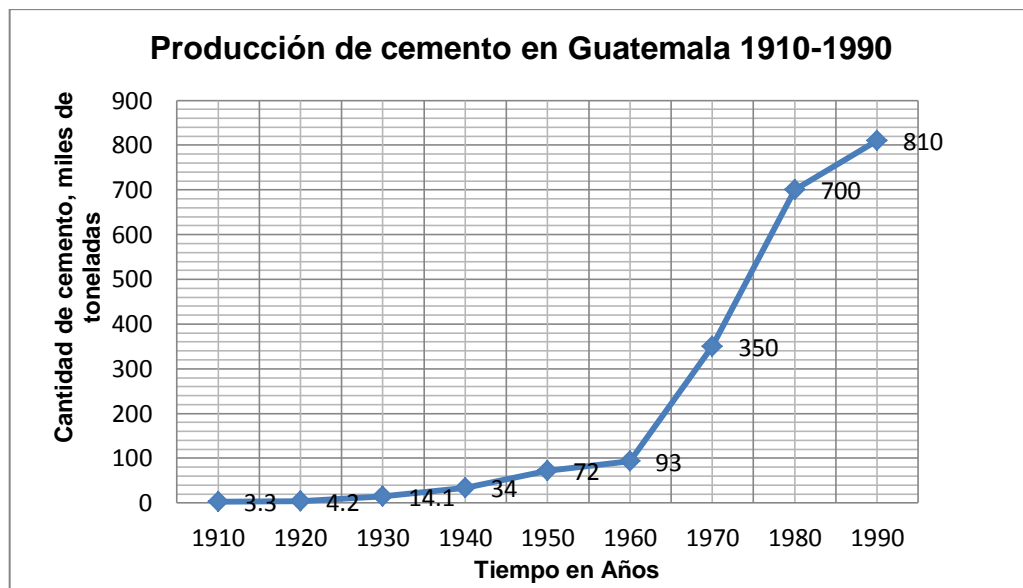
2.2.1. Cemento

El cemento en Guatemala ha sido producido desde 1899 por la empresa Cementos Novela, S.A., la cual se transformó a partir de los años setenta en Cementos Progreso, S. A., totalmente de capital nacional hasta finales de la década de 1990. En un principio para la producción de cemento las materias primas principales, son el material calcáreo y un material arcilloso, tal como el barro o la escoria de los altos hornos. Por lo cual se empezó a utilizar el proceso seco que tritura en seco, todo el material en cilindros giratorios que contienen unas bolas de acero de diversos tamaños para tal fin.

Para la fabricación del cemento *Pórtland* común tipo I, se utilizaba la piedra caliza y la piedra sílice, complementados con cuarzo, polvillo y alúmina. En la fábrica existente en esos tiempos, contaba con dos juegos de trituradoras, llamadas en su orden, de recepción primaria y secundaria. La primera una trituradora de banda que deja el material aproximadamente hasta 15 cm de diámetro, por lo cual se debía triturar nuevamente; y un material fino de alrededor de 3.8 cm, que cae en una banda transportadora. Al estar todo el material pequeño y de tamaño uniforme, pasa a una secadora de cilindro que consta de unos tubos grandes de acero, calentados por quemadores.

Por aparte, se trabajaba el cuarzo y el polvillo que se añaden en dosificaciones adecuadas. Teniendo esta primera mezcla pasa a los lugares de almacenamiento y de los anteriores a hornos rotativos que funcionan por medio de combustibles derivados del petróleo. Debido a las altas temperaturas, todo el material se funde, llamándose clinker. El proceso de calentamiento iniciado con 300 °C y llegando a los 1500 °C. El clinker obtenido, es enfriado por aire y mezclado con yeso, en proporciones controladas. Con esta adición final, se muele hasta obtener la finura necesaria en el cemento, y se transporta hacia el lugar de embolsado y posteriormente a bodega para su distribución. Siendo este el procedimiento común utilizado en esta época según la figura 4 se indica la producción de cemento hasta 1990.

Figura 4. **Producción de cemento en Guatemala 1910-1990**



Fuente: Tafunell (2003), Cementos Progreso (2000).

2.2.2. Concreto premezclado

El concreto premezclado es aquel que es llevado al lugar de la obra cómo una mezcla en estado no endurecido (mezcla en estado fresco). El concreto premezclado es uno de los materiales de construcción más populares y versátiles, debido a la posibilidad de que sus propiedades sean adecuadas a las necesidades de las diferentes aplicaciones, así como su resistencia y durabilidad para soportar una amplia variedad de condiciones ambientales. En Guatemala a partir de 1954 únicamente contando con una planta generadora o productora de concreto premezclado convencional, se empiezan a encontrar soluciones más viables para la utilización de concreto.

. El cemento más usado en ese tiempo y el que se acostumbró a utilizar es el cemento *Pórtland* tipo I. Mediante algunas reglas establecidas, era posible estimar las proporciones de los componentes de la mezcla con la utilización del agua que resulten más adecuados para cada situación. El mezclado se efectúa en máquinas llamadas mezcladoras por lo cual las mezclas son proporcionadas para obtener las propiedades requeridas para determinada aplicación teniendo la consistencia o asentamiento correcto para facilitar la manejabilidad, se transporta hasta cierto almacenamiento para ser llevado a obra, en este caso un camión mezclador que únicamente tendrá la mezcla por medio de un movimiento rotatorio para evitar endurecimiento temprano.

2.2.3. Estructuras de concreto prefabricado

En Guatemala surgen en 1957, los elementos prefabricados de concreto, con la producción de cercas y de viviendas rurales. La idea del prefabricado de concreto en este tipo de soluciones, es que se puede llevar a cualquier lugar los elementos ya elaborados y sin necesidad de utilizar maquinaria sofisticada y por lo cual los mismos obreros pueden colocarla y ensamblarla. En 1963 se inicia la producción de elementos de concreto prefabricado, como auxiliares a la construcción tradicional, fabricando block y viguetas, para cubiertas de entresijos y losas finales.

En 1965 se producen elementos de mayor relevancia, tales como vigas prefabricadas para puentes con luces que pudieran cubrir un máximo de 12 metros. Básicamente casi todo lo producido en concreto prefabricado era preesforzado. En 1968 se fabrican elementos prefabricados pretensados; de los cuales permiten su uso en paredes, muros de contención, losas finales, entresijos y puentes. Día a día van ganando adeptos en Guatemala, es una forma de aumentar la productividad y reducir los tiempos de ejecución de una obra.

2.3. Modos de empleo y uso en la construcción

En Guatemala al tener una producción estable de cemento se empezó la utilización del concreto mezclado únicamente en obra, como el concreto empezó a considerarse un material durable y resistente, debido a su trabajabilidad, prácticamente al adquirir cualquier forma, esta combinación de características fue la razón principal por la que se convirtió en un material de construcción económico y tan popular para exteriores. Por lo cual se consideró su uso para el inicio de edificaciones e infraestructura de concreto

En sus inicios en Guatemala la utilización de concreto fue para la elaboración de estructuras principales como: banquetas, cimientos, columnas, soleras, vigas, losas, entrepisos etc., por medio del concreto hecho en obra y hasta 1954 y 1958 se empezó la utilización de concreto premezclado y materiales prefabricados respectivamente, para complementar obras como: cimientos, sótanos, muros de contención, fosas sépticas, pozos de visita, tragantes, alcantarillas, pavimentos, patios, levantado de muros de block, fundición para llenado de pines etc.

2.4. Construcciones de concreto armado en Guatemala hasta 1990

2.4.1. Historia

Los terremotos de 1917 y 1918 rompieron con la forma tradicional de construcción en Guatemala cambiando tanto su arquitectura como los métodos y estilos de construcción, sustituyendo los techos de teja por lámina de zinc y el importante cambio a utilizar nuevas estructuras fabricadas con cemento para sustituir la utilización de bloques, ladrillos y adobe. Anteriormente a los terremotos se habían construido algunas estructuras con cemento, las cuales demostraron su resistencia y por lo cual se empezó a inducir la fabricación de concreto en obra e implementar la tecnología con acero para poder empezar a construir estructuras de concreto armado.

Como la utilización de concreto no era muy común en estos años la infraestructura nacional fue avanzando poco a poco iniciando con la construcción de edificios de concreto armado y la mayoría principalmente ubicados en la ciudad capital, comenzando con el edificio de la Empresa Eléctrica, el Pasaje Rubio, el Congreso de la República etc.

2.4.1.1. Historia de 1900-1950

- Edificio de la empresa eléctrica (1917-1918)

Después de los terremotos de 1917 y 1918, se empezó a construir el actual edificio de la Empresa Eléctrica, a cargo del ingeniero Luis Schlessinger Carrera. El edificio fue construido con base en una estructura de concreto y refuerzo de varillas de acero, realizado con un concreto hecho en obra tomando en cuenta con un diseño realizado en Estados Unidos y adaptado para el entorno guatemalteco. Se inauguró en 1924. En la actualidad ese edificio aún se encuentra ubicado en la sexta avenida 8-14 zona 1 de la ciudad capital.

Figura 5. **Edificio de la empresa eléctrica en la actualidad**



Fuente: LÓPEZ Leo., www.skyscraperlife.com, junio 2011.

- Edificio del Congreso de la República (1931)

La actual edificación principal del Congreso de la República data del año de 1931 cuando se iniciaron los trabajos de su construcción. Sobre la novena avenida sur de la ciudad de Guatemala se alza la imponente fachada de cincuenta metros de longitud que ostenta dieciocho columnas de concreto armado. El Palacio de la Asamblea Nacional Legislativa está sobria, sólida y elegantemente construido, desde los cimientos, de ladrillo y concreto. Tanto los planos de construcción como la dirección de su construcción estuvo a cargo del arquitecto Manuel Moreno B. con la ayuda del maestro de obras Manuel Domínguez C.

En esta época, en Guatemala se terminó de implementar la forma y el uso del concreto, de cual este era hecho en obra, y la mayoría de las construcciones estaban localizadas en el centro histórico de la ciudad capital, tanto que comienza una fuerte demanda de concreto para la construcción y la utilización del mismo que se empezó a considerar como una prioridad en la utilización de estructuras. En la tabla I se presentan otras construcciones de concreto armado realizadas en Guatemala en el período de 1900 a 1950.

Tabla I. **Construcciones de concreto armado en Guatemala en el período de 1900-1950**

Fecha	Edificio	Material Utilizado
1923	Hotel Palace	Concreto armado
1929	Pasaje Rubio	Concreto armado
1935	Edificio de Sanidad Pública	Concreto armado
1935	Teatro Lux	Concreto armado
1940	Edificio de correos	Concreto armado
1942	Palacio de la policía	Concreto armado
1943	Palacio Nacional	Concreto armado
1944	Hospital Roosevelt	Concreto armado
1945	Biblioteca nacional y archivo de Centroamérica	Concreto armado

Fuente: Arquitectura del Siglo XX, Facultad de Arquitectura, USAC 2000.

2.4.1.2. Historia de 1950-1990

A partir de 1950 en Guatemala se comienza a utilizar con más confianza el concreto en la construcción de importantes edificios de concreto armado y a finales de esa década el inicio de la producción y utilización del concreto premezclado para la construcción sobre todo de importante infraestructura a nivel nacional como puentes, carreteras, el inicio de la utilización de prefabricados de concreto, y sobre todo la evolución y la utilización de las tecnologías de la construcción sobre todo el establecimiento de la importante industria, que es la del concreto en Guatemala.

- **Municipalidad de Guatemala (1955)**

El palacio municipal, ubicado en la 21 calle 6-77, zona 1, Centro Cívico. Fue construido a partir de 1950, continúa cumpliendo hasta ahora con el propósito principal de su construcción; un edificio funcional, que además de ser una obra civil de concreto armado, fuera de utilidad para cubrir de manera más eficiente las crecientes necesidades del municipio. El edificio tienen dos grandes fachadas abiertas, una al norte y otra al sur; y dos frentes cerrados, uno al oeste y otro al este (figura 6). Esta obra estuvo a cargo y diseñada por el arquitecto Pelayo Llerana Murua y el arquitecto Roberto Aycinena.

Figura 6. Municipalidad de Guatemala 1960



Fuente: GALDÁMEZ Francisco., www.pacogaldamez.com, junio 2011.

- **Puente Martín Prado Velez (1970)**

Iniciando la construcción en 1970, el Puente Martín Prado Vélez, mejor conocido como puente del Incienso, dado que así se llama el barranco que dicho puente cruza. Este barranco es llamado de esta forma por la cantidad de nubes o neblina que se acumula por la mañana en la parte baja del mismo. Ubicado como parte integral del Anillo Periférico (norte - sur) que comunica a las zonas 1, 2 y 3 con la zona 7 de la Ciudad Capital (figura 7). Durante mucho tiempo representó el desarrollo urbano del país. Un puente totalmente realizado de concreto premezclado y siendo uno de los primeros de concreto preesforzado.

Figura 7. Puente Martín Prado Velez



Fuente: MÉNDEZ E., www.galasdeguatemala.com, junio 2011.

Iniciada la década de los 50 el paisaje urbano empieza a cambiar considerablemente, las construcciones de la época empiezan a cambiar y a contrastar con los primeros edificios se traza la avenida las américas, y se inició el centro cívico, la ciudad empezaba su desmedido crecimiento, se planificó el Trébol y el Boulevard Liberación, y casi todas las arterias actuales, aunque se empezaban a construir obras actuales también se construye la ciudad olímpica, se realizan y evolucionan los asentamientos de clase media y baja, como Nimajuyú, y la utilización de infraestructura subterránea como drenajes. Algunas de las obras más importantes se mencionan en la tabla II.

Tabla II. **Construcciones importantes en Guatemala en el período de 1950-1990**

Fecha	Edificio	Material Utilizado
1956	IGGS zona 1	Concreto armado
1958	Circuito el Trébol	Concreto armado
1959	Carretera al atlántico, (puente Belice-Puente aguas calientes)	Concreto armado
1960	Rectoría USAC	Concreto armado
1965	Crédito Hipotecario Nacional	Concreto armado
1968	Aeropuerto Internacional la Aurora	Concreto armado
1969	Hotel Camino real	Concreto armado
1970	Represa Jurum Marinalá	Concreto armado, y celosía de concreto
1974	Corte suprema de justicia	Concreto armado
1978	Centro cultural Miguel Ángel Asturias	Concreto armado
1980	Complejo habitacional Nimajuyú	Concreto armado y blocks de concreto
1976-1980	Drenajes y colectores ciudad Capital	Concreto
1983	Hidroeléctrica Chixoy (complejo)	Concreto armado
1986	Centro comercial "Mega centro"	Concreto armado
1987	Centro comercial Peri-Roosevelt	Concreto armado

Fuente: Retroperspectivas, Cementos Progreso 2004, edición especial 50 años.

3. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA DESDE 1990 A LA FECHA

3.1. Lineamientos generales de la industria

A partir de la década de 1990 se pudo observar un notable cambio en las aplicaciones y el uso del concreto en Guatemala, al ya estar establecida la industria del concreto, gracias a la expansión de la industria del cemento se empieza a considerar unos de los negocios más rentables del mundo. Al observar los avances que se dieron con las construcciones y después del terremoto de 1976, se empezó a producir diferentes tipos de cementos de resistencias variadas y la forma de producir concreto premezclado dependiendo para el tipo de estructura a construir.

También uno de los lineamientos generales que ha tomado y sigue en la actualidad es el cuidado al utilizar el medio ambiente y explotarlo adecuadamente, teniendo en cuenta desde su producción de material, localización de las plantas productoras, almacenamiento, transporte etc., teniendo programas importantes como reforestación, gestión de residuos, cuidado del agua y entre otros. Y por último implementar uno de los grandes retos de las construcciones de concreto armado en Guatemala que es el diseño de estructuras por durabilidad.

3.2. Implementación, tecnología y forma de producción

3.2.1. Cemento

Cementos Progreso siendo la única empresa productora de cemento en Guatemala es la más grande de las 11 cementeras que operan en Centroamérica; en 1999 su volumen era de 3 millones de toneladas, pero su capacidad era mucho mayor pues operaba con casi 40% de capacidad ociosa. En el 2000, el grupo suizo Holcim, segundo mayor productor de cemento y concreto a escala mundial, adquirió el 20% del capital accionario de Cementos Progreso, S. A. para establecer el plan de expansión a la tercera línea de producción en la planta San Miguel. Entre el 2000 y 2001 se completó la tercera línea de la planta San Miguel, subiendo la capacidad total de producción de 2,400,000 de toneladas métricas por año a 3,000,000 de toneladas métricas.

La implementación que ha tenido en estos últimos años es el desarrollo de productos especializados para los diferentes requerimientos del mercado de la industria de la construcción como cemento para uso general en la construcción, de diferentes resistencias para construcciones de estructuras simples, edificios, puentes, estructuras de contacto con el mar etc., produciendo cementos tipo I, tipo III, tipo V, tipo H, tipo S, etc. Tomando en cuenta el desarrollo y soluciones para el beneficio social.

Aunque el proceso de fabricación del cemento ha ido cambiando con el avance de la tecnología, básicamente para obtenerlo actualmente en el país, son indispensables los siguientes pasos: extracción de materia prima, trituración y prehomogenización, molienda de harina cruda, clinkerización, molienda de cemento, empaque y despacho. En todos estos pasos se observan estrictos controles de calidad, en los que se asegura cumplir y superar las normas nacionales e internacionales para los distintos tipos de cementos.

- Extracción de la materia prima

Las principales materias primas para la fabricación del cemento provienen directamente de las canteras cercanas a las plantas. Estas consisten en piedra caliza y esquisto que son extraídos utilizando explosivos o tractores. Para poder controlar la calidad de los materiales se cuenta con un modelo geoestadístico computarizado de la composición química de la cantera, lo que asegura la utilización racional de los recursos a corto, mediano y largo plazo.

- Trituración y prehomogenización

Consiste en la reducción del tamaño de los minerales provenientes de las canteras por medio de trituración, los cuales pueden tener tamaños hasta de 1 metro de diámetro. Durante esta etapa puede efectuarse la primera mezcla entre calizas y esquistos, de acuerdo a estándares químicos según el tipo de cemento a producirse. La composición química de la mezcla de minerales es determinada en línea, a través de un analizador de neutrones, lo que permite que durante el proceso de trituración se realicen ajustes continuos en la proporción de materiales.

Finalmente debido al proceso de almacenaje que se lleva a cabo en la galera de prehomogenización se reducen las variaciones en la calidad del material para lotes tan grandes como 20,000 toneladas los que quedan listos para ser utilizados en la siguiente etapa.

- Molienda de harina cruda

Durante este proceso continúa la reducción de tamaño y el secado de los minerales previo a ser sometidos a altas temperaturas en los hornos. Los molinos reciben los minerales triturados y prehomogenizados, y en ellos se realiza simultáneamente la mezcla y pulverización de los mismos. El producto es un polvo muy fino, por ello llamado harina cruda. Con la composición química adecuada para el tipo de cemento que se esté produciendo y con la menor variación posible, para lo que se somete a una homogeneización final en silos especiales.

- Clinkerización

La harina cruda proveniente de los silos es alimentada a hornos rotatorios en los que el material es calcinado y semi-fundido al someterlo a altas temperaturas (1450°C). Aquí se llevan a cabo las reacciones químicas entre los diferentes óxidos de calcio, sílice, aluminio y hierro, que se combinan para formar compuestos nuevos que son enfriados rápidamente en la parte final del horno. Al producto enfriado de los hornos se le da el nombre de clinker y normalmente es granulado, de forma redondeada y de color gris oscuro.

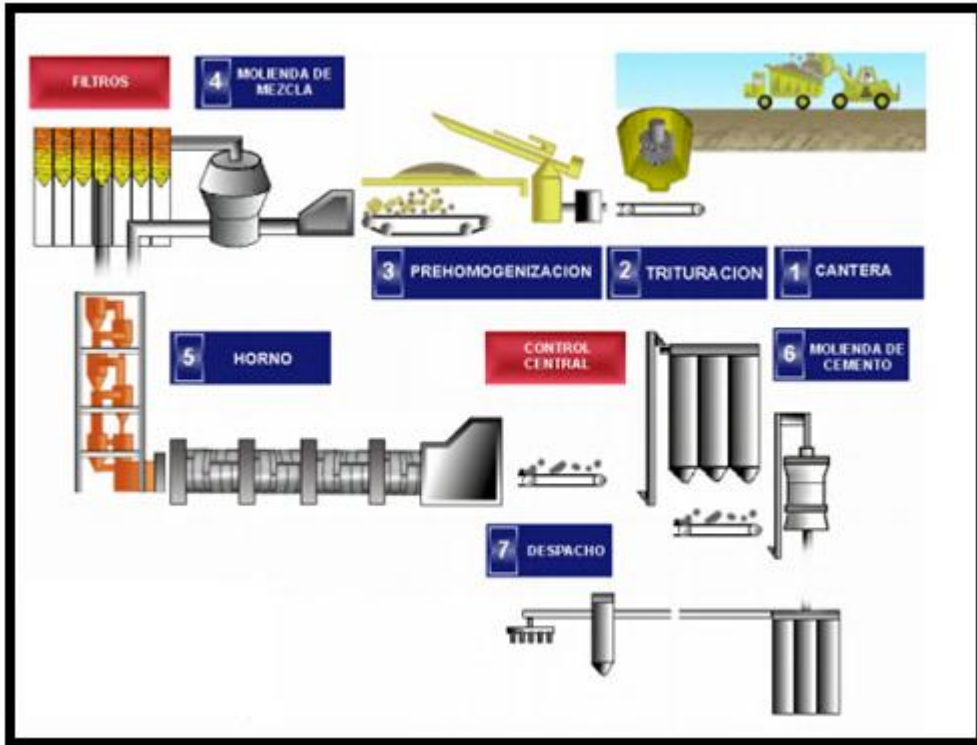
- Molienda de cemento

El siguiente paso en el proceso de producción de cemento es la molienda del clinker producido en los hornos, en forma conjunta con otros minerales que le confieren propiedades específicas al cemento. El yeso, por ejemplo, es utilizado para el tiempo de fraguado (o endurecimiento) de la mezcla de cemento y agua, para permitir su manejo. También se pueden adicionar otros materiales como las puzolanas o arenas volcánicas, las que producen concretos más duraderos, impermeables y con menor calor de hidratación que un cemento *Pórtland* ordinario compuesto sólo por clinker y yeso.

- Empaque y despacho

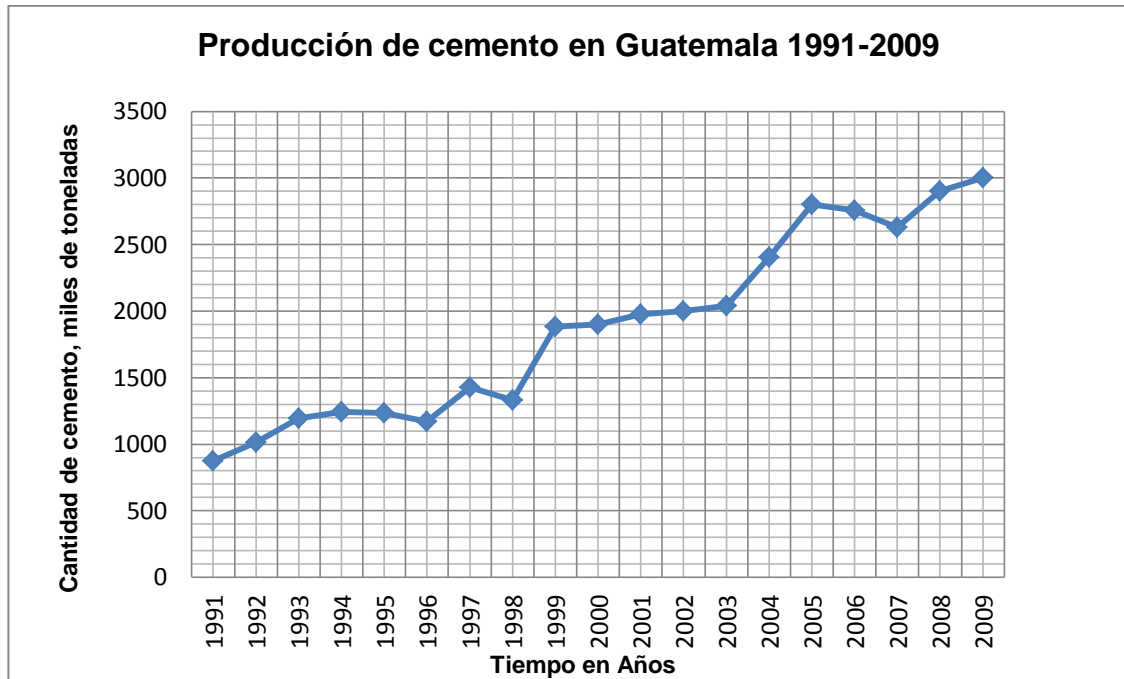
Finalmente, el cemento producido y almacenado en silos puede ser despachado en pipas a granel para los grandes consumidores, o envasado en sacos. El peso neto utilizado tradicionalmente en Centro América para el cemento en sacos es de 42.5 kilogramos. (93.7lb.). En la figura 8 se muestra gráficamente el proceso de producción y en la figura 9 la producción de cemento a nivel nacional hasta el 2009 que es lo que se posee contabilizado.

Figura 8. Producción de cemento



Fuente: CEMPRO, www.cempro.com, julio 2011.

Figura 9. Producción de cemento en Guatemala 1991-2009

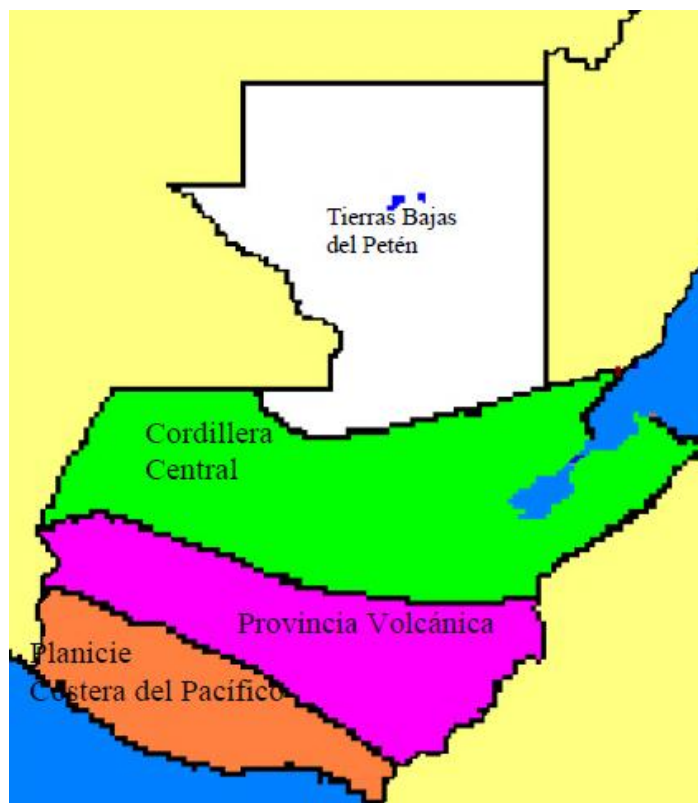


Fuente: SCHATAN y ÁVALOS (2003), CEPAL (2005) y Cementos Progreso (2010).

3.2.2. Agregados

Debido a la explotación y la cantidad excesiva de agregados naturales a partir del 2003, principalmente en los bancos del área volcánica que abarca un área aproximada de 25,000 km², conteniendo 40 volcanes principales. (figura 10), se vio la necesidad de empezar a obtener agregados artificiales que son producidos por trituración en canteras; por lo cual se produce pedrín y arena, partiendo de formaciones rocosas.

Figura 10. **Mapa potencial minero Guatemala**



Fuente: Caracterización de la minería en Guatemala, MEM, 2004.

La calidad del agregado artificial depende de la composición de la roca, de su estructura, grado de fracturación, clivaje y dureza; pero es requisito fundamental que la roca a triturar debe ser dura, tenaz y de resistencia igual o mayor que la pasta de del cemento con el objeto que sea apta para proporcionar un concreto de calidad.

Entre las rocas principales empleadas para la trituración se tienen: volcánicas e ígneas (intrusivas o extrusivas, riolitas, andesitas, basaltos, granitos etc.), sedimentarias (calizas, dolomitas, etc.) y las metamórficas (esquistos, pizarra, mármol, etc.). Principalmente de los bancos de Amatitlán, Coatepeque, Chinuatla, Escuintla e Izabal. Al producir los 2 tipos de agregados de los cuales debe verificarse el contenido de sustancias perjudiciales extrañas, ya que afectan la fabricación del concreto, haciéndolo más débil. Las impurezas más peligrosas son los ácidos libres y las sales, especialmente los carbonatos, fosfatos y cloruros; y de estos últimos en particular los de magnesio.

3.2.3. Concreto premezclado

El concreto premezclado es un producto compuesto básicamente por cemento, pedrín (agregado grueso), arenas (agregado fino), agua y aditivos químicos, para mejorar propiedades o darles algún uso puntual, y están clasificados en familias o categorías de acuerdo a cada necesidad. Y son el concreto convencional, estructural, fluido, para vivienda en serie, para pavimentos, concretos especiales etc., la forma de producción del concreto premezclado constituye en 3 fases u operaciones: Control, manejo y almacenamiento de materiales, dosificación y mezclado.

- Control, manejo y almacenamiento de materiales

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. Cuando son aditivos en polvo disueltos en agua u otro líquido, los tanques de almacenamiento deben estar provistos de agitación para mantener los sólidos en suspensión. En el caso de aditivos minerales finamente divididos como las puzolanas, las recomendaciones del manejo y almacenamiento son las mismas de los materiales cementantes.

- 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. Sólo el agua y los aditivos líquidos pueden ser medidos correctamente con base en el volumen.

- Mezclado del concreto

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.

3.2.4. Estructuras de concreto prefabricado

Existen en la actualidad variada cantidad de prefabricados de concreto para la construcción, su campo de producción es bastante similar, fabricando esencialmente el mismo tipo de productos, diferenciándose más que todo en forma. En Guatemala la variedad de estructuras de concreto prefabricado que se utilizan son: viguetas pretensadas para losas, block de bovedilla para losas, planchas de concreto, blocks, pavimentadores, muros de contención, columnas, fosas sépticas, pilotes etc., ya éstas han sido muy empleadas en la construcción Guatemalteca, debido a su fácil uso y comportamiento estructural.

3.3. Modos de empleo y uso en la construcción

En Guatemala el uso del concreto ya es muy común, no importando que sea hecho en obra o premezclado y las estructuras prefabricadas para rapidez y facilidad en la obra. Convirtiéndose en un material de construcción muy económico que puede desempeñar su función por muchos años con un mantenimiento mínimo, siempre que se utilice correctamente en su aplicación, y su empleo desde una simple plancha o banquetta, hasta la construcción de importantes edificios de gran altura en Guatemala que son constituidos de concreto desde sus cimientos hasta sus losas.

Los cambios más notables que se han mostrado y han resultado satisfactorios en la producción de concreto premezclado en el país son los siguientes:

- Considerables avances en la tecnología y el equipamiento.
- Adecuado control de calidad sobre el concreto suministrado.
- Provisión de materiales componentes con pesadas controladas y precisas.
- Posibilidad de suministro las 24 horas.
- No se requiere espacio de almacenamiento para los agregados y el cemento en la obra.
- Eliminación de desperdicios o fugas de materiales.
- Menor control administrativo por el volumen y dispersión de compras de agregados y cemento.
- Conocimiento real del costo del concreto.
- Mayores velocidades de fraguado y por consecuencia un avance en la terminación de la obra.
- Disponibilidad de bombas de concreto para concreto bombeado.

3.4. Construcciones de concreto armado en Guatemala hasta 1990

3.4.1. Historia

3.4.1.1. Historia de 1990-presente

A partir de 1990 y la entrada al siglo XXI las construcciones de concreto armado en Guatemala continuaron expandiéndose increíblemente, desde la construcción de edificios de gran altura, puentes, carreteras, estructuras con elementos prefabricados etc., teniendo en cuenta la implementación de nuevas tecnologías tanto para los materiales constituyentes como el diseño y cálculo de las estructuras estableciendo que en el país se diseñan las estructuras de concreto por medio de la resistencia, y estar implementando nuevas formas para poder diseñar por medio de durabilidad tomando en cuenta todo tipo de normas nacionales e internacionales.

En Guatemala a finales de los años 70 únicamente se contaba con menos de 40 construcciones grandes de concreto armado, hoy día se cuenta con más de 300, para mencionar algunas de ellas se encuentran: edificio el Reformador, Boulevard los Próceres, centro comercial Tikal Futura, Boulevard Liberación, puente del Naranjo, puente La Asunción, estadio Cementos Progreso, edificio el Globo etc., tomando en cuenta que la expansión de la construcción únicamente no se mira en la ciudad capital, si no que podemos encontrar todo tipo de construcciones en el interior del país.

Lo que predomina en el interior del país son las construcciones de vivienda de concreto armado, y sobre todo el empleo de estructuras de concreto prefabricado reforzado. Se evidencia la importancia del concreto premezclado con el establecimiento de nuevas plantas en Quetzaltenango, Escuintla y El Puerto de San José. Pero es en la ciudad capital en donde se sigue mostrando la gran cantidad de uso del concreto armado en la construcción de edificios altos e infraestructura. En la figura 11 se muestra el avance de las construcciones de concreto armado en unas de las zonas de la capital. En la tabla III algunos de los edificios mayores de 10 niveles en Guatemala.

Figura 11. **Vista área de una parte de edificios en la zona 10**



Fuente: DE LEÓN C., www.skyscrapercity.com, junio 2011.

Tabla III. **Edificios mayores de 10 niveles en Guatemala**

Edificio	No. de Niveles	Ubicación zona
Premier Club	31	14
Torres Milenia	23	14
Tintoreto	22	14
Villa Fontana	21	14
Centro gerencial "Las Margaritas"	20	10
Marqués del Valle	20	14
Banco Industrial	20	4
Pacifica Plaza	20	14
Botticelli I	20	15
Premier las Américas	20	14
Las Pilas	20	15
Eurolaza	19	14
Tikal Futura	19	11
Ministerio de Finanzas Públicas	19	1
Murano Center	19	10
Reforma Montufar	19	10
Hotel Radisson	19	10
Atlantis	19	10
Zona Pradera Torres I a IV	19	10
Atrium	14	10

Fuente: Prensa Libre 2009, www.skyscrapercity.com/archive/index.php/t-594597.html, agosto 2011.

3.4.2. Estado actual

Aunque en Guatemala se ha considerado un gran avance en la construcción y sobre todo después del terremoto de 1976, la mayoría de construcciones del país no están preparadas para estos tipos de eventos sísmicos actuales, fundamentalmente desde los aspectos de diseño estructural, ubicación y calidad de construcción. Sin embargo en estos últimos años se han ido adoptando medidas de prevención y sobre todo nuevas tecnologías mediante estándares internacionales y algunas intenciones de normar a nivel nacional.

Desde hace más 50 años, los principales ingenieros estructurales han utilizado normas estructurales sismorresistentes, basadas principalmente en códigos norteamericanos, como el *Uniform Building Code (UBC)*, y en años más recientes, el *International Building Code (IBC)*, dada a la similitud de condiciones, tanto de tipos de suelo como de la amenaza sísmica y complementemente se han utilizado requisitos de diseño para estructuras de concreto con la Norma *ACI 318*. Por eso en Guatemala se ha estado implementando la producción de todas las materias primas del concreto, tomando en cuenta todas las normas requeridas tanto internacionales como nacionales y sobre todo el desarrollo de nuevas tecnologías del concreto reforzado.

4. MATERIAS PRIMAS, MATERIALES MÁS UTILIZADOS Y SUS USOS

4.1. Cemento

4.1.1. Cemento UGC

Este es un cemento *Pórtland* tipo I con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso General en la construcción que es utilizado comúnmente para zapatas, cimientos, columnas, paredes, vigas, losas, morteros, suelo cemento y en especial en la fabricación de concreto premezclado y mezclado en obra y en la elaboración de morteros de diferentes tipos. Su resistencia a la compresión mínima es de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi), a 28 días en morteros normalizados de cemento, además de mejorar la impermeabilidad del concreto. Cumple con las normas *ASTM* y *COGUANOR* para cementos hidráulicos. En la tabla IV, se presenta las dosificaciones recomendadas para un 1m^3 de concreto con respecto a un saco de este tipo de cemento.

Tabla IV. **Dosificaciones para la utilización de cemento UGC**

Uso	Cemento	Arena	Piedrín	Agua
Mortero	1 saco (42.5 kg)	0.11 m ³	No lleva	6 galones
Aceras, pisos, postes, muros de concreto	1 saco (42.5 kg)	0.1 m ³	0.11 m ³	5 a 6.6 galones
Cimientos, vigas, columnas, losas.	1 saco (42.5 kg)	0.07 m ³	0.085 m ³	5 a 6.6 galones

Fuente: hoja técnica #2 Cemento UGC, CEMPRO.

4.1.2. **Cemento para fabricar blocks**

Es un cemento *Pórtland* de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural que cumple con los requisitos de las normas *ASTM* y *COGUANOR* para cementos hidráulicos y es de excelente calidad para fabricantes de bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados de concreto. Su resistencia a la compresión mínima de $f'_c = 243.26 \text{ kg/cm}^2$ (3460 psi) a los 3 días, debido a que las estructuras con cemento o de concreto fabricadas o fundidas en el lugar requieren de resistencias en menor tiempo a la edad tradicional de medición de resistencias de 28 días.

4.1.3. Cemento PEGABLOCK

El Cemento PEGABLOCK o denominado tipo S se fabrica de forma similar a los cementos *Pórtland* y los cementos con adiciones presentes en la industria del cemento actualmente. En el proceso de fabricación se utilizan de forma óptima puzolanas e ingredientes especiales que permiten hacer mezclas de mortero más trabajables para todo tipo de obras de mampostería y albañilería en general. Es un ligante que cumple con los requisitos de las normas para cementos de albañilería ASTM y corresponde con una resistencia mínima a la compresión de $f'_c = 148 \text{ kg/cm}^2$ (2100 psi) a los 28 días.

A pesar de que el Cemento PEGABLOCK proporciona una resistencia mecánica a la compresión considerable no se recomienda para la fabricación de concretos y/o morteros de tipo estructural. Las mezclas elaboradas con este tipo de cemento proporcionan un tiempo abierto (estado plástico) más prolongado y por lo tanto permite que la mezcla sufra menos contracciones y por lo tanto ofrecen mayor durabilidad. Este cemento ofrece mayor adherencia y trabajabilidad y por lo tanto es ideal para pegar todo tipo de elementos de mampostería y tubos, ensabietado de muros, elaboración de plantillas (no losas de cimentación).

4.1.4. Cemento tipo V

Es un cemento *Pórtland* fabricado para ser utilizado especialmente en casos donde se requiera un concreto con una alta resistencia al ataque de sulfatos, como el caso de obras expuestas al agua de mar, al ambiente marino o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos ideal para las obras portuarias. Es un cemento *Pórtland* gris ordinario o simple, al que se le ha limitado el contenido de aluminato tricálcico y de alumino-ferrito tetracálcico, y cumple con los requisitos químicos y físicos para el tipo V de Normas *ASTM* y *COGUANOR*. Su resistencia mínima a la compresión es de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi), a 28 días.

Dado que además este cemento desarrolla un moderado calor de hidratación también se puede usar en obras masivas como presas para diversos usos. (Abastecimiento de agua, riegos, producción de electricidad, etc.). El cemento tipo V esta diseñado para resistir ataques de sulfatos y no para tener una alta resistencia mecánica. El precio de este tipo de cemento es un poco mayor que el del cemento tipo I, lo que es ampliamente justificado por sus características especiales

4.1.5. Cemento Estructural

Es un cemento *Pórtland* 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 este cemento cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos *ASTM* y *COGUANOR*. El cemento estructural proporciona una resistencia mínima a la compresión de $f'_c = 408 \text{ kg/cm}^2$ (5800 psi), a 28 días.

En cuanto a la resistencia en mezcla de concreto, este tipo de cemento proporciona resistencias más altas en todas las edades a comparación del cemento tipo I, debido a esto, a igualdad de contenidos de cemento, puede haber aumentos del 25% o más en las resistencias de las mezclas, por lo tanto el proceso de quitar formaleta en elementos de concreto puede hacerse en menos tiempo, al igual puede ahorrarse una cantidad de cemento del mismo orden del 25% o más en la dosificación del concreto.

4.1.6. Cemento blanco

Es un cemento *Pórtland* blanco tipo III, que se clasifica bajo las normas COGUANOR y *ASTM*. Éste se puede aplicar en todo tipo de elementos arquitectónicos decorativos y puede ser utilizado para pegado de azulejos, fabricación de bloques y adoquines decorativos, fabricación de pisos decorativos, fabricación de mezclas secas, concreto estructural blanco, esculturas, piscinas entre otros. Su blancura es única y sin agregados, permite dejar un acabado blando y brillante, permitiendo así agregarle pigmentos para poder obtener una gran variedad de colores y una alta resistencia a la compresión.

4.1.7. Cemento para pozos petroleros

Cemento especial Tipo H, que posee alta resistencia a temperaturas, con alta resistencia a sulfatos y elementos orgánicos y presiones elevadas; es utilizado en la cementación de paredes, en agujeros de perforación; en el interior de tubos metálicos para extracción de petróleo o en pozos petroleros a profundidades hasta de 2400 metros. Este normalmente está hecho de clinker de cemento *Pórtland*. Generalmente debe tener un fraguado lento y debe ser resistente a temperaturas y presiones elevadas.

4.1.8. Cemento para diferentes tipos de clima

- Cemento Tropical

Es un cemento *Pórtland* tipo IP con adición de puzolana natural para todo tipo de uso en la construcción, diseñado para clima caliente y húmedo. El cemento Tropical 4000 IP además de ser un cemento para todo uso, tiene las cualidades de ser de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a sulfatos. Este cemento cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos mezclados, ASTM y COGUANOR. El cemento 4000 tipo IP Tropical corresponde a una categoría de resistencia de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi).

- Cemento la Montaña 4000

Es un cemento *Pórtland* con adición de puzolana natural para todo tipo de uso en la construcción. Es un cemento especial, diseñado para uso en climas fríos y además de ser un cemento para todo uso, tiene las cualidades de ser moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a sulfatos. Este cemento cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos mezclados, ASTM y COGUANOR. El cemento la Montaña 4000 tipo IP corresponde a una categoría de resistencia de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi)

- Cemento la Cantera

Es un cemento *Pórtland* tipo IP con adición de puzolana natural para todo tipo de uso en la construcción, diseñado para las condiciones climáticas del valle central del país. La Cantera 4000 IP además de ser un cemento para todo uso, tiene las cualidades de ser de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a sulfatos. Éste cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos mezclados, *ASTM* y *COGUANOR*. El cemento 4000 tipo IP Tropical corresponde a una categoría de resistencia de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi).

- Cemento Escorpión

Es un cemento *Pórtland* tipo IP con adición de puzolana natural para todo tipo de uso en la construcción, diseñado para el clima caliente y seco central del país. Escorpión 4000 IP además de ser un cemento para todo uso, tiene las cualidades de ser de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a sulfatos. Éste cemento cumple con los requisitos de las normas para cementos hidráulicos mezclados, *ASTM* y *COGUANOR*. El cemento 4000 tipo IP Tropical corresponde a una categoría de resistencia de $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi).

4.1.9. Cementos internacionales

En Guatemala, además de ser utilizados los cementos nacionales, debido a las importaciones principalmente de México y El Salvador son utilizados en el país cementos equivalentes y de diferentes propiedades como lo indica la tabla V.

Tabla V. **Cementos internacionales importados a Guatemala**

Cemento	Propiedad	País de origen
Cemento Portland Ordinario	Cemento tipo I	México
Cemento Portland Compuesto 30R	Cemento tipo I, resistencia a 28 días de 510 kg/cm ²	México
Cemento Portland Puzolánico	Cemento tipo I con aditivo de puzolanas naturales	México
Cemento CESSA Portland	Cemento tipo I con aditivo de puzolanas naturales	El Salvador
Cemento CESSA Cuscatlán	Cemento tipo M	El Salvador
Cemento CESSA 5000	Cemento tipo I, Resistencia a 28 días de 352 kg/cm ² (5000 PSI)	El Salvador

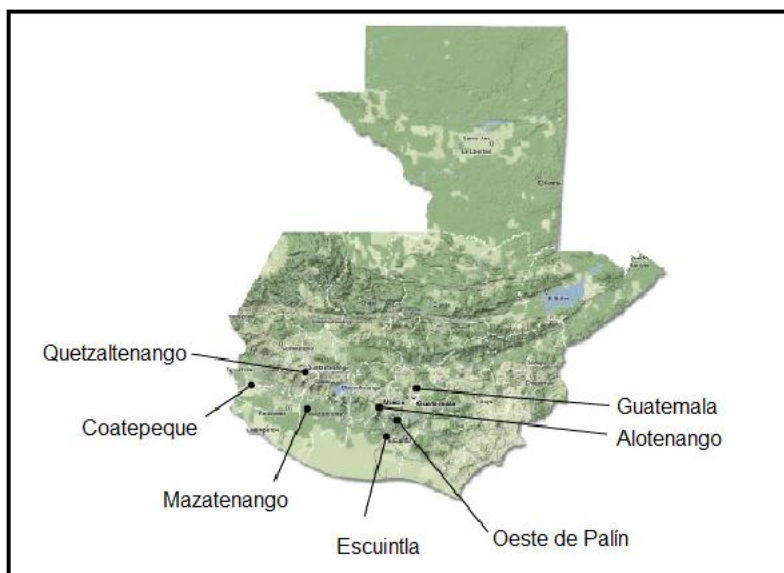
Fuente: www.cemexmexico.com/ce/ce_pr_ne.html, www.cessa.com.sv/es/productos-y-servicios/cemento.htm agosto 2011.

4.2. Agregados

4.2.1. Agregado grueso

El agregado grueso en Guatemala es un material granulado como la grava o como la utilización actual de piedra triturada encontrados en los principales bancos como se muestra en la figura 12, producido bajo los más estrictos estándares fijados para construcción y producción de prefabricados, el pedrín obtenido en el país cumple con los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, % de partículas planas y alargadas desgaste físico y químico; entre otras características fundamentales para obtener concretos, asfaltos, blocks, adoquines, postes, tubos y otros productos prefabricados.

Figura 12. Principales bancos de agregado grueso artificial

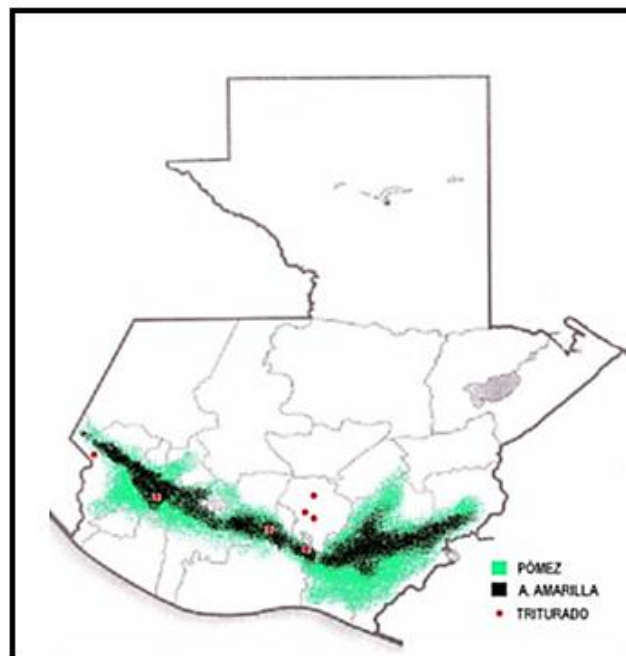


Fuente: AGREGUA, Biblioteca de productos, julio 2011.

4.2.2. Agregado fino

Puede ser de caliza o basalto, en Guatemala se obtiene arena triturada que posteriormente puede ser sometida a un tratamiento de lavado para eliminar algunas partículas finas y así obtener arenas trituradas lavada del país, altamente demandada para concretos de mejor calidad. También se puede encontrar en el país aún arena natural proveniente de lechos, ríos secos o cuencas activas como muestra la figura 13. Los agregados finos más comunes en el medio guatemalteco son la arena triturada lavada, arena natural, arena triturada.

Figura 13. **Ubicación de bancos de agregado fino natural**



Fuente: SUÁREZ C., Análisis de las propiedades físico mecánicas en morteros de mampostería, Guatemala 2006.

4.3. Concreto premezclado

4.3.1. Concreto convencional

Es un concreto premezclado de uso general en la construcción para elementos con bajos, moderados y altos requerimientos estructurales de resistencia mecánica y respetando las especificaciones de las Normas *ASTM* y del Código *ACI-318*. Sus usos más importantes para elementos con bajos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'_c = 105$ a 175 kg/cm^2 (1500 a 2500 psi). Ideal para la realización de banquetas, plantillas para cimentaciones, rellenos de baja resistencia, losas de cimentación de 175 kg/cm^2 , y bordillos.

Al igual con elementos con moderados y altos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'_c = 210$ a 352 kg/cm^2 (3000 a 5000 psi). Ideal para la realización de losas (tradicionales o prefabricadas), cimientos corridos, losas de cimentación, zapatas, muros y columnas para uso residencial y/o industrial en las que el concreto no estará expuesto a ataques químicos y/o ambientales severos. El concreto premezclado convencional posee ciertas ventajas como calidad y uniformidad que supera ampliamente al concreto hecho en obra, medición y dosificación de materiales controlados y utilización de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales.

4.3.2. Concreto estructural

Es un concreto premezclado de uso general para la construcción de elementos con altos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f_c = 281$ a 350 kg/cm^2 (4000 a 5000 psi) y de alta resistencia mecánica como edificios, puentes, embajadas, escuelas y hospitales que no deben estar expuestos a ataques químicos o ambientales severos. Sus usos más importantes en la construcción nacional son para la elaboración de cimentaciones, muros y columnas, losas, pisos para uso residencial o industrial.

Algunas de las ventajas en la utilización de este tipo de concreto premezclado estructural comprenden características superiores en la resistencia mecánica que incrementa la seguridad de la construcción, medición y dosificación de materiales controlados, baja relación agua / cemento, mayor durabilidad. El uso de aditivos incrementa la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales realizadas en obra. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas *ASTM* y del Código *ACI-318* y *ACI-308* cuando se emplea un curado no menor de 7 días.

4.3.3. Concreto fluido

Es un tipo de concreto premezclado para aplicaciones en donde se requiere de un mayor grado de consistencia y trabajabilidad, en estructuras con alta densidad de acero y largas distancias de bombeo. Sus usos más importantes para elementos con moderados requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f_c = 210$ a 245 kg/cm^2 (3000 a 3500 psi). Ideal para la construcción de cimentaciones, losas con alta densidad de acero de refuerzo (tradicionales o prefabricadas), muros esbeltos y columnas con alta densidad de acero de refuerzo para uso residencial o industrial en donde el concreto no estará expuesto a ataques químicos y/o ambientales.

Al igual con elementos estructurales con requisitos de resistencia a la compresión mínima de $f_c = 281$ a 350 kg/cm^2 (4000 a 5000 psi) que es utilizado para la construcción de losas y vigas de edificios, columnas, elementos de concreto visto. Este concreto premezclado tiene ciertas ventajas como, reducción de vibrado. Mejorando la calidad de compactación del concreto, se obtienen mejores acabados en concreto visto, medición y dosificación de materiales controlados, uso de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas *ASTM* y del código *ACI-318* y *ACI-308* cuando se emplea un curado no menor de 7 días.

4.3.4. Concreto vivienda en serie

Este tipo de concreto premezclado es fabricado para utilización en la construcción de muros y losas planas de vivienda en serie, o para estructuras más específicas como: muros esbeltos de vivienda en serie con molde metálico o de aluminio, elementos esbeltos de la vivienda en serie en donde se requiere mínimo vibrado. Teniendo una resistencia a la compresión mínima de $f'_c = 210$ a 350 kg/cm^2 (3000 a 5000 psi). Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas *ASTM* y del Código *ACI-318* y *ACI-308* cuando se emplea un curado no menor de 7 días.

Entre las ventajas en utilizar este tipo de concreto premezclado para la importancia en la construcción de vivienda en serie que reduce el daño causado a la formaleta por exceso de vibrado, reduce el costo por resanes posteriores, minimiza las imperfecciones en los elementos construidos, fluye mejor que un concreto convencional dentro de los muros. A la hora de utilizar este tipo de concreto premezclado es importante tomar en cuenta que las condiciones climáticas pueden alterar el tiempo de fraguado del concreto. A temperaturas menores de 18°C se tiene que evaluar la aplicación de un acelerante de fraguado.

4.3.5. Concreto para pavimentos

Este tipo de concreto premezclado fue diseñado para la construcción de pavimentos durables, para tráfico vehicular liviano o pesado. Existen dos tipos de concreto para pavimentos con molde fijo y con molde deslizante. La diferencia entre estos es que el de molde deslizante fue diseñado para poder ser colocado por medio de una pavimentadora. Los usos más importantes de estos tipos de concreto son la construcción de pavimentos residenciales de tráfico exclusivamente liviano (espesor mínimo de 13 cm cuando se utiliza de molde fijo), construcción de pavimentos con tráfico pesado (espesor mínimo de 17 cm cuando se utiliza de molde fijo), construcción de pavimentos con tránsito pesado de cargas variables (espesor mínimo de 21 cm cuando se utiliza con molde fijo).

Entre las ventajas que poseen estos tipos de concreto premezclado se encuentran la alta durabilidad y resistencia al desgaste, bajo costo de mantenimiento, la utilización de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales elaboradas a mano o con mezcladoras portátiles. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas *ASTM* y del código *ACI-318*, *ACI-308* cuando se emplea un curado no menor de 7 días y *ACI-302.1* cuando se refiere al diseño de las juntas de construcción en la carretera.

4.3.6. Concretos especiales

Estos tipos de concretos premezclados están diseñados para cada tipo de necesidad especial como columnas en costas o lugares altos en cloruros, cuartos fríos y pisos. Entre estos tipos están el concreto premezclado blanco que es un concreto convencional diseñado especialmente para edificaciones arquitectónicas decorativas de color blanco que es utilizado para edificaciones arquitectónicas de alta estética, museos, auditorios o monumentos, estructuras de concreto expuesto. Entre las ventajas de la utilización de este concreto se encuentran su color blanco y apariencia estética, permite realzar su diseño mediante martelinado, cincelado o lavado.

Otro tipo de concreto premezclado especial es el concreto de alto desempeño, diseñado para resistir congelación y deshielo en cuartos congelados, fríos y húmedos. Que entre sus aplicaciones se encuentran en la utilización en lugares o cuartos congelados y fríos y en pisos con baja permeabilidad. Por sus características, el concreto es muy durable, por sus componentes y su relación agua cemento, el concreto es de baja permeabilidad. Este concreto resiste la exposición a la congelación y deshielo en condición húmeda o en descongelación por medio de químicos (no sulfatos o sales). Ambos de estos concretos especiales cumplen con las Normas *ASTM* y del Código *ACI-318*, *ACI-308* cuando se emplea un curado no menor de 7 días.

4.4. Prefabricados

4.4.1. Pavimentadores

En Guatemala los pavimentadores es el nombre técnico a lo que comúnmente llamamos adoquín, que es una pieza modular a base de concreto que se utiliza como piso o pavimento, dándole al constructor una solución práctica y efectiva con las ventajas de variedad de formas, diferentes resistencias, facilidad de instalación, acceso a redes subterráneas, uso inmediato, combinación de colores, durable y antiderrapante. En Guatemala los más comunes fabricados son los adoquines cuadrados, en forma de cruz, ondulados, en forma de I, etc., que debido a su forma, espesor, textura, resistencia y hasta de diferentes colores su pueden obtener varios estilos.

Los adoquines se pueden clasificar en dos grupos: peatonales o de tránsito ligero y de pavimento. Por lo cual se debe considerar su tipo de uso, su intensidad de tránsito, tanto peatonal como vehicular y su capacidad de carga. En la tabla VI se indica las propiedades de cada adoquín y en la figura 14 se muestran los adoquines más fabricados en el país y en la figura 15 la forma correcta de la colocación de los adoquines.

Tabla VI. **Propiedades de los adoquines utilizados en Guatemala**

Forma	Dimensiones (cm)	Resistencia (kg/cm ²).	Unidades por m ²
Cuadrada	20 x 20	160 a 210	25
Ondulada	24 x 12 x 8	160 a 210	34
Cruz	22 x 24 x10	160 a 210	20
Forma "I"	9 x 14.5 x 19.5	160	40
Diamante	8 x 20 x 22	210	30
Cuadrícula	10 x 44 x 44	210	5

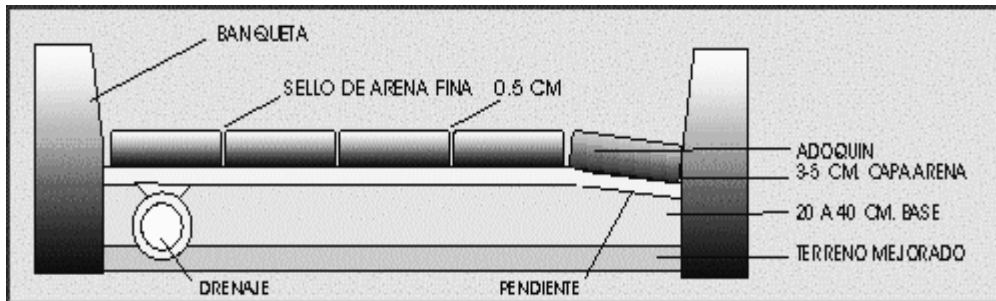
Fuente: hoja productos Precon 2009, especificaciones técnicas Grupo Procreto 2008.

Figura 14. **Adoquines más fabricados en Guatemala**



Fuente: PreCon, www.preconweb.com, junio 2011, Catálogo Grupo Procreto, 2008.

Figura 15. Colocación correcta del adoquín



Fuente: ANIPPAC, www.anippac.org.mx, junio 2011.

4.4.2. Blocks

Estos materiales de concreto prefabricado en sus diferentes tipos y clases, son muy aceptados para la construcción de muros tanto para carga como relleno, ya que ofrecen algunas ventajas, comparativamente, con otras unidades de levantado. Son los materiales de carga más livianos que existen en el mercado y tienen varios atributos estructurales como: su resistencia, durabilidad, excelentes retardadores de fuego y aislantes térmicos y acústicos, además en algunos casos por su acabado exterior como muro expuesto sin acabados ni revestimientos. Su economía y facilidad de instalación presentan además una alternativa importante en la construcción.

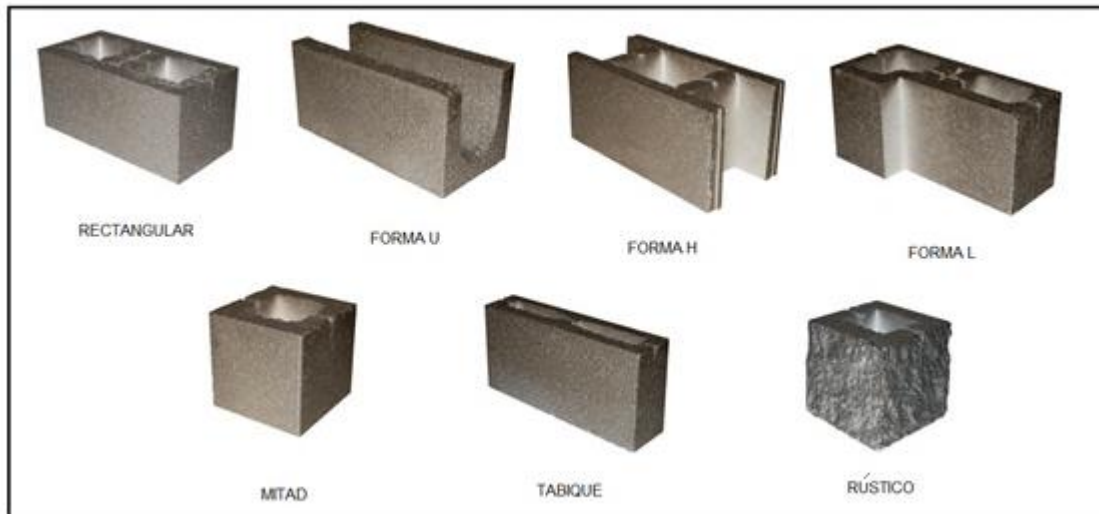
En la actualidad con relación a los blocks de concreto prefabricado se han encontrado más alternativas, cada vez una mayor variedad de formas, tamaños, estilos y diseños de colocación. En Guatemala las formas más comunes y las que más se fabrican son la forma común rectangular, en H, en U, el block esquinero, el block tipo tabique, etc. En la tabla VII se muestran las propiedades de los blocks más fabricados en Guatemala. En la figura 16 se muestran los blocks más fabricados en Guatemala.

Tabla VII. **Propiedades de los blocks más utilizados en Guatemala**

Forma	Dimensiones (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Unidades por m ²
Rectangular	12 x 19 x 39	25, 35, 50 y 70	12.5
	14 x 19 x 39		
	19 x 19 x 39		
U	14 x 19 x 39	25, 35, 50 y 70	12.5
H	14 x 19 x 39	25, 35, 50 y 70	12.5
L	14 x 19 x 39 x 10	25, 35, 50 y 70	12.5
Mitad	14 x 19 x 19	25, 35, 50 y 70	25
Mitad U	14 x 19 x 19	25, 35, 50 y 70	25
Tabique	9 x 19 x 39	25, 35, 50 y 70	12.5
Rustico	14 x 19 x 19	25, 35, 50 y 70	25

Fuente: hoja productos Precon 2009, especificaciones técnicas Grupo Procreto 2008.

Figura 16. **Blocks más fabricados en Guatemala**



Fuente: PreCon, www.preconweb.com, junio 2011.

4.4.3. Vigueta y bovedilla

El sistema de vigueta y bovedilla está constituido por los elementos portantes que son las viguetas de concreto preesforzado y las bovedillas como elementos aligerantes. Las viguetas se producen en diferentes tamaños y diferentes armados, así mismo las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte. Inicialmente se concibió este sistema para su aplicación en las viviendas, en la actualidad se ha aplicado en casi todo tipo de losas y entrepisos, debido a su bajo peso, estos elementos permiten que se efectúe su montaje manualmente, eliminando el costo de equipos pesados.

El sistema de vigueta y bovedilla, utilizado para la construcción de entresijos y cubiertas, está compuesto por una serie de vigas espaciadas usualmente de 0,50 a 0,90 metros, denominadas viguetas. Los espacios entre las viguetas son llenados, en este caso, por la bovedilla de cemento-arena y una losa de compresión hecha de concreto de $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, con espesor mínimo de 4 cm. La losa generalmente está armada con una malla electrosoldada 6x6-10/10 y rodeada perimetralmente por una cadena o trabe armada con 4 varillas y estribos, en la que la vigueta penetra por lo menos 5 cm.

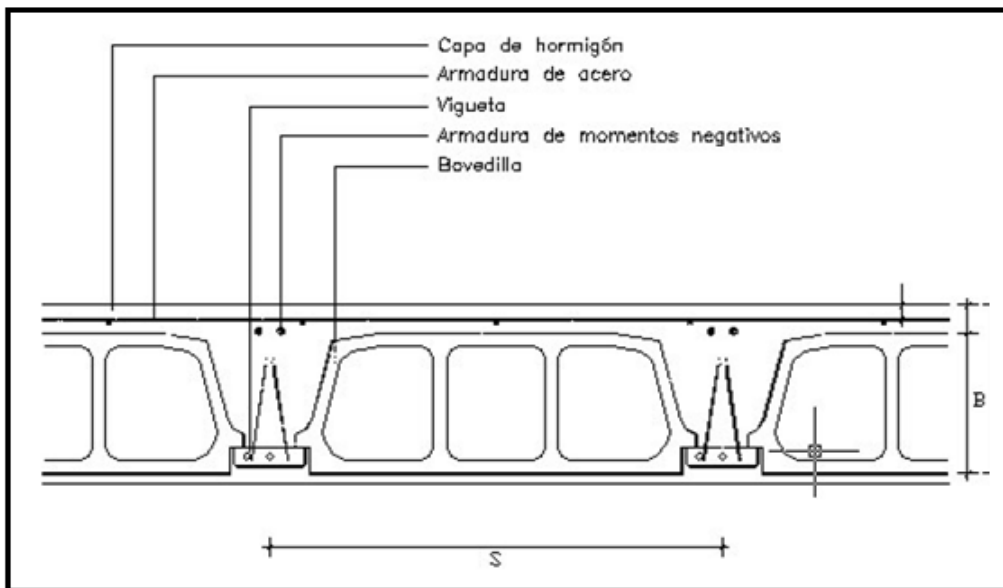
La semivigueta es un elemento prefabricado. Es uno de los componentes principales, ya que éste soporta el resto de materiales que conforman la losa. Está hecha de un *joist* al que se le funde una pastilla de concreto de un tamaño estándar, dependiendo del tipo de vigueta a utilizar, agregando además las varillas de acero necesarias para soportar la tensión. Las viguetas están reforzadas con armadura electrosoldada, lo que garantiza su resistencia. La bovedilla de pómez aligera el peso muerto de la losa debido a que se utiliza menos concreto. Es un sistema de gran versatilidad para construir losas. Se fabrican según el requerimiento de cada obra. Este sistema es uno de los más utilizados en Guatemala. En la tabla VIII se muestran las especificaciones técnicas de un sistema de vigueta y bovedilla en la figura 17 el sistema de vigueta y bovedilla y en la figura 18 un ejemplo de la misma.

Tabla VIII. **Especificaciones de vigueta y bovedilla (carga viva: 200 kg/m²)**

Especificación	Peralte de losa terminado		
	15 cm	20 cm	25 cm
Carga viva de diseño	200 kg/m ²	200 kg/m ²	200 kg/m ²
Carga de diseño para acabados	130 kg/m ²	130 kg/m ²	130 kg/m ²
Peso Propio	240 kg/m ²	300 kg/m ²	340 kg/m ²
Consumo de concreto	0.065 m ³	0.070 m ³	0.080 m ³

Fuente: especificaciones sistema de losa vigueta bovedilla, Monolit 2008.

Figura 17. **Sistema vigueta y bovedilla**



Fuente: ROSALES Julio, Análisis comparativo de costos entre el sistema de losas prefabricadas vigueta y bovedilla, losa densa y losa-acero, USAC 2005. Pág. 26.

Figura 18. **Ejemplo del sistema vigueta y bovedilla**



Fuente: MONOLIT, www.grupomonolit.com/index/empresa.htm, julio 2011.

4.4.4. Formaviga

Sistema constructivo de concreto prefabricado para vigas en marcos estructurales, las forma-vigas forman parte integral y estructural de la viga, facilitando varios factores importantes en la construcción de marcos estructurales hasta sin requerir un cálculo adicional y adaptándose fácilmente a cualquier diseño. De las grandes ventajas que posee las forma-vigas es de una luz grande reduce la cantidad de los apoyos necesarios para mantener el peso de los demás elementos estructurales y la hora de cualquier fundición de concreto su configuración proporciona fácil y rápida extracción del encofrado de los demás elementos.

El objetivo de esta forma constructiva es explotar al máximo las ventajas de la prefabricación en concreto, aprovechando la alta calidad de los elementos componentes, las formas complicadas que pueden adoptar y la excelente terminación de los mismos. En Guatemala la utilización de las forma-vigas, es principalmente para la construcción de edificios industriales que tomen mayormente cargas gravitacionales, con lo cual estos últimos marcos podrían ser diseñados y construidos con requerimientos menos estrictos que los necesarios en marcos que toman la mayor parte de las acciones sísmicas en una estructura. En la figura 19 se muestra un ejemplo de una forma-viga en un marco estructural

Figura 19. **Sistema forma-viga en un marco estructural**



Fuente: PLATINIUM, www.platinum.com.sv/edificios_naves_indus1.html, julio 2011.

4.4.5. Viga T

Es el sistema más eficiente de losas para cubrir claros desde 10.00 hasta 24,50 metros sin ningún apoyo intermedio y con capacidad de soportar cargas tan altas como las de bodegas o puentes. Regularmente se usa en puentes con claros medianos (10,00 hasta 24,50 metros), en pasarelas o en edificaciones donde se requieren entresijos o techos de concreto con combinaciones de cargas y claros, que imposibilitan el uso de sistemas convencionales de losa. La viga T es una herramienta para generar grandes espacios libres de columnas o muros intermedios. Sus dimensiones pueden variar, dependiendo de los requerimientos de cada proyecto. Los materiales que se utilizan son de la más alta calidad; se logra resistencia de concreto de hasta $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (5,000 psi) y acero de refuerzo con $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (60000 psi).

El diseño estructural usa los parámetros adecuados para la región donde es requerida tomando en cuenta las condiciones críticas de cada lugar como sismos, climas corrosivos, posibilidad de sobrecargas, etc. El diseño sigue las Normas Nacionales del COGUANOR y de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos y MICIVI 2001, las Normas Internacionales del *UBC*, *ACI*, *PCI* y *AASHTO*. Estas vigas son de concreto pretensado con sección transversal en forma de T. Se producen industrialmente en líneas de pretensados de gran capacidad y con formaleta metálica.

Se instalan con equipos especiales o grúas de gran capacidad a un ritmo de 4 a 10 unidades diarias. Montándose sobre apoyos que deben de estar listos, previo al inicio del montaje, pueden ser columnas, muros o vigas de carga en edificios y pasarelas o estribos y pilas en el caso de puentes y pasos a desnivel. Las vigas se unen entre sí por medio de esperas de acero y fundición de concreto para lograr la integración monolítica del sistema, en la figura 20 se muestra un sistema de viga tipo T prefabricado instalado.

Figura 20. **Sistema instalado de viga T prefabricada**



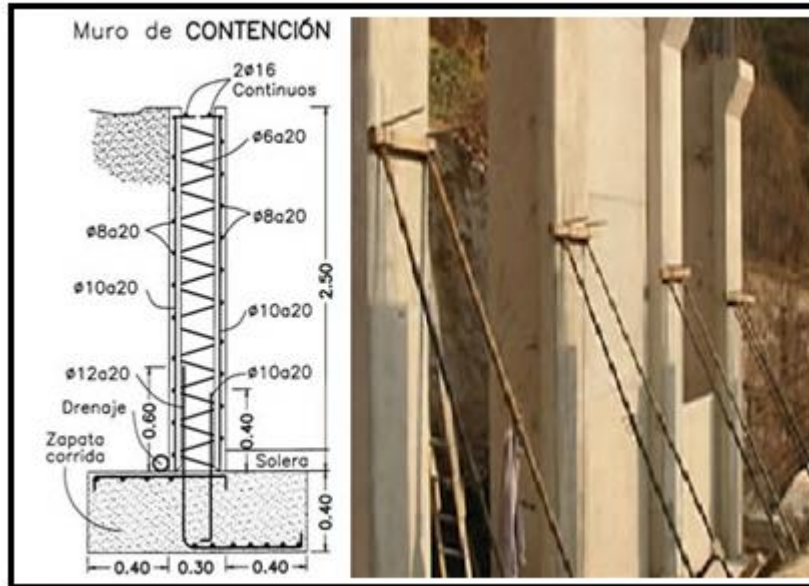
Fuente: PLATINIUM, www.platinum.com.sv, julio 2011.

4.4.6. Muros de contención

Las planchas o muros de contención de concreto prefabricado son elementos rectangulares pretensados con espesores variables entre 10 y 15 centímetros, que al funcionar simplemente soportada elimina la necesidad de la utilización de cimientos profundos. Reciben directamente la práctica totalidad de los empujes del terreno. Su canto es variable, aumentando con la altura del muro, evitándose de esta forma la necesidad de armadura de corte, siendo el propio concreto de pantalla el encargado de absorber todo el esfuerzo cortante.

Se calculan de forma convencional los coeficientes al vuelco, al deslizamiento, las tensiones en el terreno, los esfuerzos flectores y cortantes, los armados, las cuantías, etc. La zapata del muro se calcula y ejecuta a la manera tradicional de forma. Luego, estudiando convenientemente el esfuerzo rasante entre concreto *in situ* y el del prefabricado, se obtiene la longitud de los arranques de cimentación. El acero resistente del alzado del muro se incorpora en el prefabricado. Fácilmente pueden respetarse los armados de proyecto del muro *in situ*, salvo en los arranques, ya que al disminuir el brazo mecánico es necesario juntar más las armaduras, así como calcular su longitud a esfuerzo rasante. En la figura 21 se muestra el detalle de un muro de contención prefabricado con su respectivo ejemplo.

Figura 21. **Detalle de muro de contención y ejemplo**



Fuente: www.extremadura2000.com y PreCon, www.preconweb.com, julio 2011.

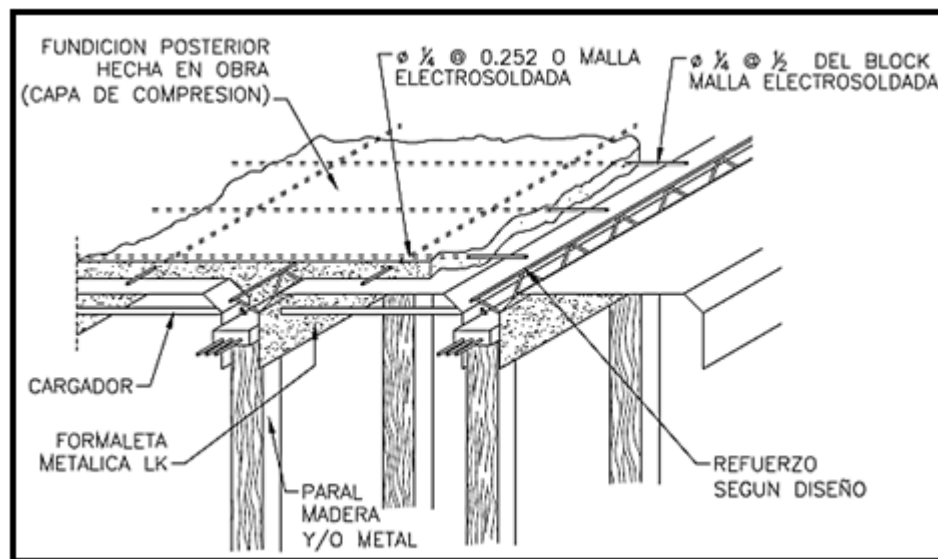
4.4.7. **Columnas prefabricadas**

Este tipo de columnas son elementos prefabricados de concreto, las cuales sirven como soporte y estructura de múltiples edificaciones. Su forma, diseño e ingeniería permiten realizar obras de calidad y obtener una mayor rapidez en la construcción. Acelera el proceso de obra, acabado de concepto integral, eficiencia estructural, variedad de diseños en conexiones, material de alta resistencia y una alta capacidad de sobrecarga. El mayor uso que se le dan a las columnas prefabricadas en Guatemala es en la construcción de centros comerciales.

4.4.8. Planchas-losas

Consiste en un sistema combinado de viguetas pretensadas y molde LK que sirve para fundir entrepisos o techos de edificaciones. El molde LK consiste en una formaleta metálica que reemplaza al espacio de las bovedillas en el sistema de vigueta bovedilla. Las viguetas son pretensadas con concreto, con lo que se garantiza su calidad. Es la losa más liviana, económica y con mayor capacidad de carga en el mercado. Con este sistema (figura 22), al igual que con la placa aligerada, por su bajo peso propio se logran reducciones importantes en el costo de las estructuras principales (cimientos, columnas y vigas). Su peso propio es hasta un 50% a las losas tradicionales; esto reduce adicionalmente las cargas sísmicas de la estructura en un gran porcentaje.

Figura 22. Sistema Plancha-Losa



Fuente: especificaciones, plancha-losas + molde LK, Precon 2009.

Por ser molde autosoportante solamente se necesita apuntalar las viguetas. En edificios de altura el molde se acarrea de nivel a nivel y no desde el nivel de tierra como las bovedillas. Por ser elementos prefabricados y molde metálico recuperable, se minimiza el desperdicio de madera. En cualquier entrepiso o techo donde el acabado de la losa por debajo pueda quedar nervado o donde se utilice cielo falso. Para viviendas en serie resulta la losa más económica del mercado. Su rango de aplicación es sumamente amplio pues puede ser usada hasta luces de 13 metros y cargas tan elevadas como las de puentes. En la figura 23 se presenta en ejemplo de una Plancha-Losa.

Figura 23. **Ejemplo plancha-losa**

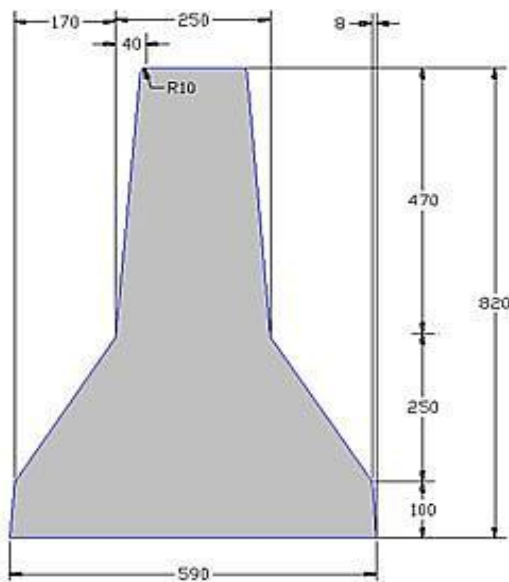


Fuente: especificaciones, plancha-losas + molde LK, Precon 2009.

4.4.9. Jersey

Jersey muro o más bien denominado como barrera es una estructura rígida, por lo general prefabricada, construida en concreto armado, que inicialmente fue utilizada para comprobar la resistencia de los automóviles. De fácil transporte y colocación que el mayor uso en Guatemala es en la utilización de la infraestructura vial, que separa los carriles de tráfico con el objetivo de reducir el tránsito, bloquear pasos y también para servir de barrera en los proyectos de construcción temporales o la construcción de pasarelas. La presentación de esta estructura es parecida como T invertida (figura 24 y 25) de longitud de 5 a un máximo de 10 metros.

Figura 24. Estructura barrera jersey (dimensiones en mm)



Fuente: PREFACIR, www.prefacir.com/barrera.htm, julio 2011.

Figura 25. **Barrera Jersey de concreto prefabricado**



Fuente: PreCon, www.preconweb.com, julio 2011.

4.4.10. Pilas o pilotes

Las prefabricadas son considerados entre la categoría de las cimentaciones profundas, también se los conoce por el nombre de pilotes premoldeados; pueden estar construidos con concreto armado ordinario o concreto preesforzado. Los pilotes de concreto armado convencional se utilizan para trabajar a la compresión; los de concreto preesforzado funcionan bien a tensión. La mayor utilización es Guatemala es la infraestructura vial sobre en la construcción de puentes, como se representa en la figura 26.

Figura 26. **Utilización de pilotes prefabricados en puentes**



Fuente: PreCon, www.preconweb.com, julio 2011.

El pilote prefabricado de concreto es una estructura geotécnica principalmente diseñada para la transmisión de cargas de cimentación hacia estratos resistentes profundos. Su instalación se hace por hincas en el terreno, mediante impactos de energía controlada. Es, por tanto, un pilote de desplazamiento, que aprovecha la compresión que su intrusión provoca en el terreno para ganar una adherencia adicional, así como una mayor garantía en la resistencia por punta. Su longitud no está limitada, gracias a la posibilidad de empalme mediante juntas metálicas.

5. NORMAS UTILIZADAS EN EL USO DEL CONCRETO

5.1. Normas ASTM

ASTM significa *American Society for Testing and Materials* (Sociedad Americana para pruebas y materiales), organización para el desarrollo de normas sobre características y comportamiento de materiales, sistemas, productos y servicios y la promoción del conocimiento relacionado. En relación a las normas que se utilizan para el concreto y todas sus materias primas en Guatemala se utilizan las normas *ASTM* del comité técnico “C” que se refiere a todos los materiales cementosos, de cerámica, concreto y albañilería.

5.1.1. Cemento

Las normas *ASTM* empleadas en el cemento para determinar si corresponde a cierta calidad especificada para la utilización del mismo en las obras de concreto son: C-91, C-109, C-150, C-595 y C-1157, que son las que se utilizan para todos los tipos de cemento fabricados en Guatemala (tabla IX). Y cada una de ellas comprende ciertas características que son:

- *ASTM C-91*

Especificación estándar para cemento de albañilería. Esta especificación cubre tres tipos de cemento de albañilería para el uso donde se requiere de mortero para albañilería. Cementos de albañilería se ajustarán a los requisitos aplicables de propiedad física prescritas en esta norma. De los cementos producidos en Guatemala el tipo pegablock y blanco utilizan esta especificación.

- *ASTM C-109*

Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Este método de ensayo proporciona un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros y los resultados pueden ser utilizados para determinar el cumplimiento con las especificaciones. Esta norma es utilizada para todos los tipos de cementos utilizados en Guatemala.

- *ASTM C-150*

Especificación Normalizada para cemento *Pórtland*, cubre diez tipos de cemento *Pórtland*: tipo I, tipo IA, tipo II, tipo II (MH), tipo II (MH) A, tipo II, tipo III, tipo III, tipo IV y tipo V. El cemento cubierto por esta especificación sólo deberá contener los siguientes ingredientes: clinker de cemento *Pórtland*, agua o sulfato de calcio, o ambos; piedra caliza, adiciones de proceso, incorporador de cemento *Pórtland*.

- *ASTM C-595*

Esta especificación se refiere a la mezcla cementos hidráulicos para aplicaciones generales y especiales, utilizando escoria o puzolana, o ambas, con cemento portland o clinker de cemento portland o escoria con cal. Éstos se clasifican en tres tipos: tipo IS que es portland de alto horno de cemento de escoria, de tipo IP, que es portland-puzolana del cemento, y el tipo de IT, que es el cemento mezclado ternario. También pueden ser descritos de acuerdo con el calor incorporador de aire, resistencia moderada a los sulfatos, moderado de hidratación, resistencia a los sulfatos de alta o baja temperatura de las propiedades de hidratación.

- *ASTM C -1157*

Estándar de especificación de rendimiento de cemento hidráulico. Esta especificación cubre el rendimiento de cementos hidráulicos para aplicaciones generales y especiales. No hay restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes.

Tabla IX. **Normas *ASTM* utilizadas en los cementos producidos en Guatemala**

Norma <i>ASTM</i>	Tipo de Cemento
C-91	PEGABLOCK, Blanco
C-109	UGC, Tipo V, Estructural
C-150	Blanco, Tipo V
C-595	Tropical, La Montaña, La Cantera, Escorpión
C-1157	UGC, para fabricar blocks, Blanco, Tipo V, PEGABLOCK, Estructural, Tropical, La Montaña, La Cantera, Escorpión.

Fuente: hojas técnicas, CEMPRO.

5.1.2. Agregados

En la utilización de agregados para el concreto se utiliza la Norma *ASTM* C33. Especificación Normalizada para agregados del concreto. Define los requisitos de clasificación y la calidad de agregado fino y grueso para uso en concreto. Agregado fino se compondrá de arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas, debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. El agregado fino para estructuras de concreto que estarán sujetos a la humedad, exposición prolongada a la atmósfera húmeda, o póngase en contacto con el suelo húmedo, no contiene ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento en cantidad suficiente para causar la extensión excesiva de mortero o concreto. El agregado fino sometido a cinco ciclos del ensayo de solidez se requiere tener una pérdida media ponderada.

El agregado grueso estará compuesto de grava, piedra triturada de grava triturada, escoria de alto horno refrigerado por aire, o de concreto triturado de cemento hidráulico, o una combinación de los mismos. Los métodos de muestreo y ensayo se realizó con la prueba de clasificación y ley módulo, prueba de impurezas orgánicas, el efecto de las impurezas orgánicas en la prueba de resistencia, prueba de la solidez, terrones de arcilla, el carbón y el lignito de prueba, la densidad aparente de la escoria de la prueba, a la abrasión de prueba de agregado grueso, agregado reactivo de prueba de congelación, descongelación y poner a prueba, y método de ensayo de pedernal.

5.1.3. Concreto premezclado

Las Normas *ASTM* empleadas en la utilización del concreto premezclado para determinar si corresponde a cierta calidad especificada para la utilización del mismo en las obras de construcción son: C-39, C-78, C-94, C-131 y C-231, que son las que se utilizan para todos los tipos de concreto premezclado fabricados en Guatemala. (tabla X). Y cada una de ellas comprende ciertas características indicadas tanto para su composición como para su comportamiento.

- *ASTM C-39*

Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Se debe tener cuidado en la interpretación de la importancia de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método que prueba que la fuerza no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto a partir de determinados materiales. Los valores obtenidos dependerán de la forma y tamaño de la muestra, dosificación, mezcla de procedimientos, los métodos de muestreo, piezas de fundición, y la fabricación y la edad, la temperatura y las condiciones de humedad durante el curado. Esta norma es aplicada a todos los concretos premezclados en el país.

- *ASTM C-78*

Método de prueba estándar para resistencia a la flexión del concreto (utilizando la viga simple con el tercer punto de carga). Este se utiliza para determinar la resistencia a la flexión de las muestras preparadas y curadas. Los resultados se calculan y se informa que el módulo de ruptura, al grado determinado variará si existen diferencias en el tamaño de la muestra, preparación, condiciones de humedad, el curado, o cuando la viga ha sido moldeada o aserrada al tamaño. Esta prueba se utiliza únicamente para los concretos premezclados para pavimentos.

- *ASTM C-94*

Especificación normalizada para concreto premezclado. Ésta cubre el concreto preparado, fabricado y entregado a un comprador en el estado recién mezclado y no endurecido. Los requisitos de calidad del concreto deben ser como se especifica en esta norma, o según lo especificado por la compra. En ausencia de especificaciones designadas a materiales aplicables, las especificaciones de los materiales especificados se utilizarán para los materiales de cemento, cemento hidráulico, materiales cementosos suplementarios, mezclas de cemento de concreto, áridos, aditivos inclusores de aire, y aditivos químicos. Esta norma es utilizada en todos los tipos de cemento premezclado producidos en el país.

- *ASTM C-131*

Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Esta prueba ha sido ampliamente utilizada como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diversas fuentes de agregado de composiciones minerales similares. Los resultados no permiten comparaciones válidas automáticamente a ser muy diferentes entre las fuentes de origen, composición o estructura. Asignar los límites de especificación con extremo cuidado en el examen de los tipos de agregados disponibles y su historial de rendimiento en aplicaciones específicas. Aunque esta es una norma para los agregados, se utiliza para comprobar la calidad de los concretos premezclados para pavimentos.

- *ASTM C-231*

Método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión. Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado. La prueba determina el contenido de aire del concreto recién mezclado en donde puedan existir vacíos en el interior dentro de las partículas de agregado. Por esta razón, es aplicable a los hormigones elaborados con partículas de agregado relativamente densa. Esta norma es utilizada en todos los concretos premezclados fabricados en el país.

Tabla X. **Normas *ASTM* utilizadas en los concretos premezclados producidos en Guatemala**

Norma <i>ASTM</i>	Tipo de concreto premezclado
C-39	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño
C-78	Para pavimentos
C-94	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño
C-131	Para pavimentos
C-231	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño

Fuente: hojas técnicas, concreto premezclado, Mixto Listo.

5.1.3.1. Aditivos

La norma general es la *ASTM C494*. Especificación estándar para aditivos químicos para el concreto, cubre los materiales y los métodos de ensayo para su uso en aditivos químicos que se añaden a las mezclas de concreto de cemento hidráulico en el campo. Hay siete tipos de aditivos que cumplen con una o dos funciones y se dividen en diferentes tipos como: tipo A reductores de agua, tipo B retraso, tipo C aceleración, tipo D reductor de agua y retardante, tipo E reductor de agua y aceleración, tipo F reductores de agua, de alta gama y de tipo G reductores de agua, de alta gama y retardo.

5.2. Normas COGUANOR

De conformidad con lo que establece el artículo 1 del Decreto No. 1523, la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR es el Organismo Nacional de Normalización, adscrito al Ministerio de Economía, lo cual se ratifica en el Decreto No. 78-2005, Ley del Sistema Nacional de la Calidad. La principal función de COGUANOR es desarrollar actividades de normalización que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y a elevar la calidad de los productos y servicios que dichas empresas ofertan en el mercado nacional e internacional.

Las normas de especificación para ensayos COGUANOR, son equivalentes a las normas *ASTM*, pero con modificaciones esenciales para la utilización en el país. El Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala, ICCG, ha sido nombrado por, COGUANOR, como Secretaría Técnica de Normalización para las normas de cada uno de los materiales. En las tablas XI y XII se muestra qué normas son utilizadas con referencia a los agregados, el concreto y su respectiva comparación con las Normas *ASTM*.

5.2.1. Cemento

Con relación a la utilización del cemento en Guatemala según el listado oficial de guía decreto de la COGUANOR, hay cantidad de normas que se utilizan para revisar el nivel de calidad del cemento, pero la única norma oficial y obligatoria (aunque no se utilice la sigla NGO Norma Guatemalteca Obligatoria) es la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41095, que consiste en Cementos Hidráulicos. Especificaciones por desempeño que es esencialmente equivalente a la norma *ASTM C1157*, pero siempre tomando en cuenta con todas las modificaciones para Guatemala.

5.2.2. Agregados

Tabla XI. **Normas COGUANOR para la utilización de agregados y comparación**

Norma	Descripción	Comparación
NTG 41007	Agregados para el concreto	<i>ASTM C-33</i>
NTG 41006.	Terminología referente al concreto y agregados para concreto.	<i>ASTM C-125</i>

Fuente: Secretaría Técnica de Normalización para Cemento y Concreto, ICCG, Guatemala 2010.

5.2.3. Concreto premezclado

Tabla XII. Normas COGUANOR para la utilización de concreto premezclado y comparación

Norma	Descripción	Comparación
NTG 41068.	. Concreto Premezclado. Especificaciones	<i>ASTM C-94</i>
NTG 41053	Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.	<i>ASTM C-1064</i>
NTG 41052	Determinación del asentamiento del concreto hidráulico. Asentamiento del concreto	<i>ASTM C-143</i>
NTG 41017h1	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	<i>ASTM C39</i>
NTG 41017h6	Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método volumétrico	<i>ASTM C-173</i>

Fuente: Secretaría Técnica de Normalización para cemento y concreto, ICCG, Guatemala 2010.

5.3. Capítulo ACI/Guatemala

El Capítulo *ACI* Guatemala fue aprobado por el *American Concrete Institute (ACI)* Internacional, el 29 de marzo de 2006, siendo sus estatutos aprobados el 01 de junio de 2006. Actualmente se encuentra en trámite su aprobación legal como Asociación privada no lucrativa, educativa, científica y técnica. Tiene como objetivos promover la investigación, captación, generación y divulgación de conocimientos científicos y tecnológicos sobre el concreto, productos derivados y las estructuras de concreto, así como el mejoramiento de los niveles educativos y de las prácticas profesionales y técnicas en dichos campos, buscando el mejor y óptimo uso de los recursos materiales y humanos conexos.

A la fecha, cuenta con 14 miembros consultores, 5 contratistas, 2 fabricantes, 3 distribuidores de materiales, 3 estudiantes y 1 académico. El Capítulo ACI Guatemala mantiene una estrecha relación con la comunidad técnica, profesional, empresarial, académica y científica, vinculada con el concreto, su producción, fabricación y distribución y con el diseño y construcción de estructuras en sus múltiples formas y modalidades. Mantiene vínculos con agrupaciones nacionales como la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), con la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT).

Entre los logros y actividades que ha realizado el capítulo *ACI* Guatemala está la participación en comités técnicos de normalización (CTN) para la elaboración, adopción y actualización de normativa técnica relacionada, en coordinación con la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), organismo nacional de normalización. Actualmente varios miembros del capítulo *ACI* participan en los CTN de Cemento, Concreto y Agregados, así como en el CTN de Diseño y Construcción de Viviendas. El fortalecimiento de Laboratorios de ensayos tanto privados como universitarios para colaborar efectivamente en el control de calidad y en la certificación de materiales y productos.

La Certificación *ACI* de personal debidamente calificado de Laboratorio y de la Construcción, tarea que se inició en abril de 2007, conjuntamente con el Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala, a través del grupo promotor de Certificación *ACI* Guatemala, cuya directiva incluye representantes, el ICCG, la AGIES; laboratorios de construcción de concreto y fabricantes de concreto premezclado; contratistas de construcción de concreto y fabricantes de prefabricados estructurales. La promoción de estudios e investigaciones para el mejor conocimiento y aplicación de materiales productos y técnicas locales y para la mejor adaptación y aplicación de tecnologías modernas.

6. DURABILIDAD E INFRAESTRUCTURA

El diseño de las estructuras de concreto se ha realizado con el criterio de la resistencia mecánica; gracias a este medio se han logrado tener estructuras que soportan adecuadamente las cargas de servicio; sin embargo, se han encontrado problemas relacionados con el medio ambiente en el que se encuentra la estructura. Es inminente la necesidad de investigar las razones del porqué del deterioro del concreto y solucionar problemas prácticos. A nivel mundial, el concreto es el material más utilizado en la construcción, y a menos que haya una revolución en los materiales de construcción, seguirá siéndolo y por lo que su conocimiento y tecnología son básicos para el ingeniero civil encargado de alguna etapa del proceso constructivo.

A la hora de realizar una construcción de concreto se han planteado varias preguntas como: ¿cómo evitar el deterioro del concreto? ¿cómo eliminar la corrosión? ¿cómo lograr un concreto durable? ¿cómo construir un puente o pavimento que resista satisfactoriamente las condiciones agresivas? ¿cómo evitar costos de mantenimiento periódicos en estructuras marinas o ubicadas en ambientes agresivos? ¿cómo lograr pisos industriales que resistan cargas excesivas?. De ahí se ha derivado el interés de estudiar la relación y los factores que interactúan entre el concreto y su entorno; la rama de la tecnología del concreto que resuelve estos problemas prácticos es la durabilidad del concreto.

6.1. Diseño por durabilidad

Es hasta las últimas décadas que en los reglamentos y normas de construcción internacionales se ha incluido el diseño de estructuras por durabilidad. Debido a su importancia y a los problemas que se han detectado, la tendencia es incluir cada vez más la durabilidad del concreto en los reglamentos de construcción de los países, en Guatemala se carece de un reglamento que este sujeto a todas las especificaciones necesarias de diseño por lo que se han tomado siempre diferentes tipos de normas internacionales para que en el futuro sea posible realizar obras con concreto durable y con un mejor desempeño ante sus condiciones de servicio.

Ningún diseñador, constructor o propietario espera que los sistemas contra incendios o la instalación eléctrica funcionen adecuadamente sin supervisión y mantenimiento; sin embargo, no hay ningún reglamento o norma que indique que las estructuras de concreto servirán indefinidamente sin ninguna atención. La experiencia que nos han mostrado las construcciones de otros países es que el costo por no considerar la durabilidad es mayor al que se invierte si se le considera. En las obras de importancia nacional, empresarial o personal, es necesario considerar la durabilidad del material con el que pretendemos construir una estructura. El hecho de hacerlo, es construir responsable, profesional e inteligentemente.

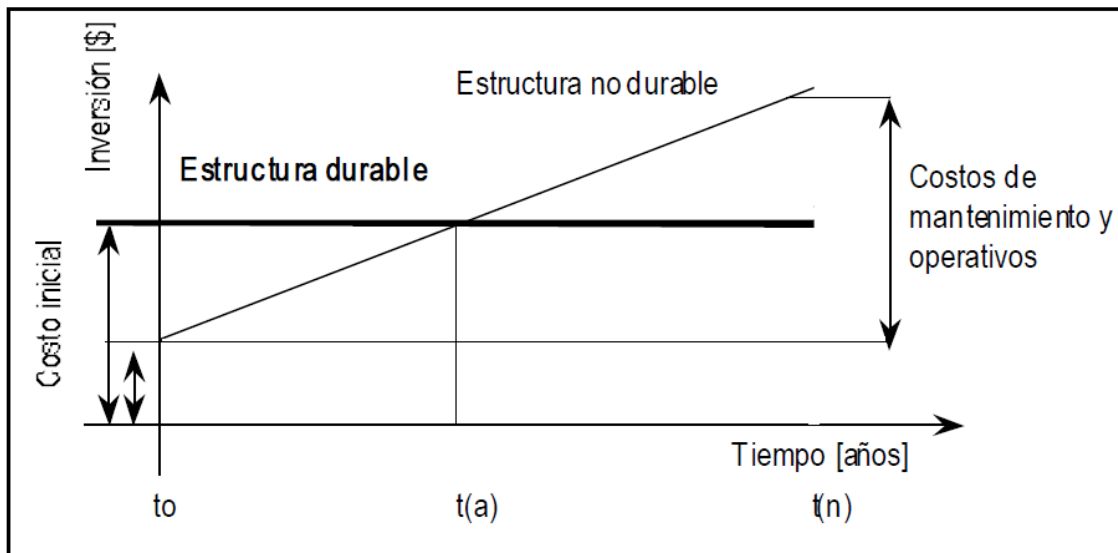
El diseñar una estructura por durabilidad aporta ventajas técnicas y económicas. Técnicamente permite que la estructura tenga un mejor desempeño ante sus condiciones de servicio, y por tanto, la disminución en las reparaciones, hecho que en términos económicos minimiza costos operativos y de mantenimiento. El avance científico y tecnológico actual de la durabilidad del concreto es resultado de la experiencia y del ingenio humano para entender los procesos físicos y químicos, así como para evaluar, modificar y evitar en la medida de los posibles daños. Una de las ventajas principales de diseñar por medio de durabilidad son las siguientes:

- Mejor desempeño y conservación ante las condiciones de servicio y mayor vida útil.
- Menores costos de mantenimiento y operativos
- Coadyuvar a la rentabilidad del proyecto al reducir costos excesivos por reparaciones.

Frecuentemente, se ha expresado respecto al costo de proveer una vida útil y larga a las construcciones que un buen diseño que considera los riesgos del ambiente, no es más caro que el diseño que los ignora. La construcción realizada por operadores competentes, mano de obra calificada y una buena supervisión no tiene costos adicionales inherentes a su desempeño, y como resultado, su mejor funcionamiento no es más caro que el diseño que no contempla tales condiciones. Los beneficios por considerar la durabilidad son mayores que los costos iniciales.

Son los costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo los que pueden incrementar su costo final. Es importante comprender que el verdadero ahorro de una estructura diseñada por durabilidad se verá en la operación de la misma a largo plazo. La figura 27 muestra la comparación entre una estructura tradicional, es decir, sin considerar la durabilidad y una estructura diseñada por durabilidad, la primera requiere una menor inversión inicial, pero a través del tiempo requiere inversiones periódicas para seguir brindando servicio. En cambio, la estructura diseñada por durabilidad tiene una inversión inicial mayor, pero no necesita mantenimientos ni reparaciones mayores para seguir dando servicio.

Figura 27. **Comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable**



Fuente: Ingeniería, investigación y tecnología FI-UNAM, 2005.

Las reparaciones de la infraestructura y los costos que acarrear son mayores a los de la inversión inicial adicional que se destinaría a una estructura para diseñarla por durabilidad. Históricamente, la industria de la construcción ha tenido experiencias, que, aunque a veces no esperadas por la cantidad de costos representados en las mismas, han aportado a la ingeniería civil conocimientos técnicos de gran valor al enfrentarlas. Los problemas de durabilidad no se limitan a su diseño inicial y construcción, tienen una fuerte intervención en la operación.

La durabilidad es una propiedad importante del concreto, es indispensable que tenga la calidad y capacidad para resistir las condiciones de servicio. Y por lo cual se define como la habilidad para resistir la acción del tiempo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un concreto durable mantendrá su forma, calidad y condiciones de servicio originales, cuando se exponen a su ambiente. Por lo tanto, lo principal que hay que realizar para obtener una estructura durable es:

- Realizar una buena caracterización de las pruebas y ensayos de materiales y componentes sujetos a la investigación.
- Identificar los requerimientos de rendimiento de los materiales.
- Identificar los posibles mecanismos de deterioro.
- Caracterizar con exactitud las propiedades y rendimientos atribuidos a los materiales y componentes estudiados.

6.2. Mantenimiento y durabilidad

Para lograr bajos costos de mantenimiento y obtener ahorros a largo plazo se requieren tomar varias estrategias, entre ellas: óptima selección de materiales., procedimientos de diseño y construcción bien planeados, organizados y llevados a buen término, programas de mantenimiento. El plan de mantenimiento está definido por la naturaleza de las construcciones de concreto armado, donde realizar una supervisión periódica es difícil. Las técnicas de supervisión deben ser consideradas por el diseñador desde el principio, ya que algunos problemas pueden detenerse a tiempo si se identifican y tratan adecuadamente, antes de que se extiendan en proporción epidémica.

Los agentes que afectan la durabilidad del concreto son de diversa índole, pueden ser clasificados en dos categorías: los agentes externos son los que se encuentran en el medio ambiente o se deben a condiciones de servicio, entre ellos se encuentran los iones de cloruro, el dióxido de carbono, sulfatos, bacterias, abrasión y ciclos de congelamiento y deshielo. Los agentes internos se hallan dentro del mismo concreto, como los iones de cloruro incorporados en determinados aditivos y los álcalis del cemento que reaccionan con agregados potencialmente reactivos. Se pueden clasificar por su origen: agentes físicos, químicos, biológicos y mecánicos.

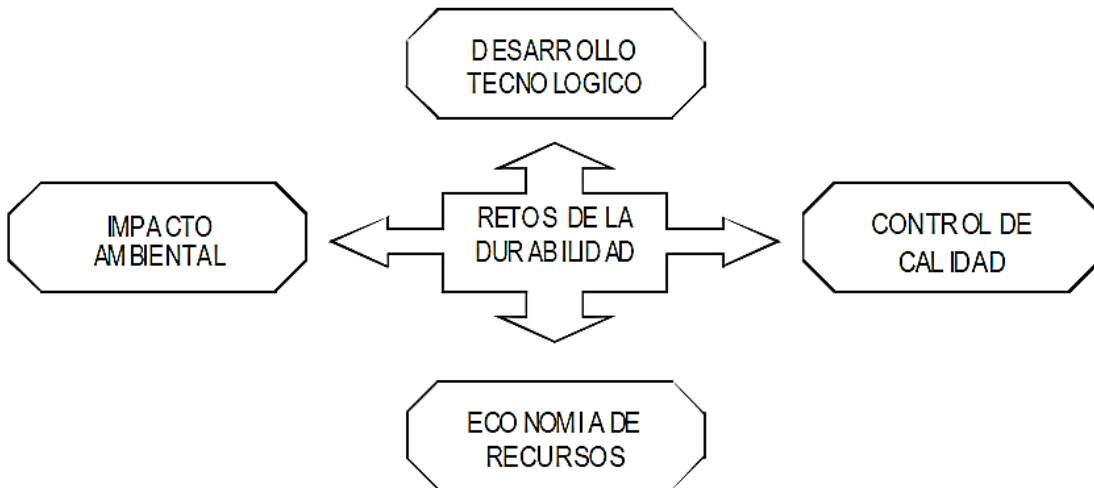
Los físicos son debidos a cambios en el medio ambiente (congelamiento-deshielo, cargas, etc.). Entre los agentes químicos destacan los ataques por sulfatos, ácidos, agua de mar y cloruros, estos últimos inducen a la corrosión electroquímica del acero de refuerzo. Los biológicos pueden ser microorganismos, algas y moluscos. Los mecánicos se deben a las condiciones a que se expone el concreto (por ejemplo, abrasión y erosión). En ocasiones, estos agentes se presentan simultáneamente, por lo que se pueden tener combinaciones interesantes. El efecto del daño se debe a cuestiones intrínsecas y extrínsecas del concreto, como es la calidad del mismo y el grado del agente activo al que se encuentra expuesto.

Toda vez que los agentes que afectan a la durabilidad requieren tiempo para mostrarse macroscópicamente, con frecuencia se detectan cuando ya están avanzados y su reparación tiene un mayor costo. Incluso en algunos casos es preferible realizar una demolición total de la estructura que ejecutar un mantenimiento mayor. Debido a que actualmente ya se tiene una infraestructura construida, es de vital importancia invertir nuevamente en su mantenimiento, con las repercusiones de que los recursos destinados para este fin podrían destinarse a otros aspectos.

6.3. Retos de la durabilidad

En la durabilidad del concreto se involucran varios aspectos. Dada la importancia de la construcción en las economías de los países y el impacto que ésta tiene en el desarrollo de los mismos, no es de extrañarse que la construcción, y en particular la construcción con concreto, llame la atención de diversos sectores. Para superar los retos, el objetivo es generar nuevas ideas de otras áreas para aplicaciones creativas en la tecnología del concreto y en la construcción, hecho que puede tener efectos profundos y benéficos en la elaboración de concreto. En la figura 28 se muestra un esquema de los principales retos a enfrentar.

Figura 28. Retos de la durabilidad



Fuente: Ingeniería, investigación y tecnología FI-UNAM, 2005.

- Desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico de otras áreas puede retroalimentar a la tecnología del concreto, por ejemplo, la química, con el concreto polimérico, resinas epóxicas, látex, desmoldantes para el encofrado que prolonguen la vida de ésta y que sean biodegradables, aditivos de concreto mejorados y el desarrollo de otros más potentes pueden mejorar las propiedades químicas del propio cemento y del concreto. La microbiología es otra rama científica que apenas anuncia su entrada para apoyar a la tecnología del concreto.

Otra área es la metalurgia, con el desarrollo de un acero más económico y resistente a la corrosión, aunque a la fecha sólo se tiene en proyectos de investigación. Recientemente el mercado ya ofrece instalaciones hidráulicas elaboradas con acero inoxidable, que requieren poco mantenimiento. Otras áreas de investigación por desarrollar es el análisis de confiabilidad, es decir, modelos para mejorar la seguridad de una estructura dada, modelos matemáticos para los diversos ataques (sulfatos, congelamiento-deshielo, corrosión, etc). En el ámbito privado, las empresas productoras de cemento y concreto e institutos como el ICCG son las únicas que están realizando investigaciones.

- Control de calidad

La tendencia es mejorar el control de calidad a través de un monitoreo continuo a una estructura para observar sus propiedades físico-químicas, debido a que la mecanización y racionalización de las construcciones y la fabricación industrial de elementos de concreto prefabricado han hecho de la supervisión clásica insuficiente e imposible de aplicar como medio de control de calidad. El monitoreo puede convertirse en la prueba más estricta en toda la historia del concreto. Se asegura que la supervisión clásica se reemplazará por un registro instrumental adecuado y sensible. Una clave fundamental es la capacitación de los profesionales que construyen con concreto, aquellos que realizan el proyecto y las especificaciones, que están en la obra y que tienen el control de la misma, y de los ejecutores y supervisores.

La construcción de concreto es indispensable para la infraestructura, industria y vivienda, con lo cual, se satisfacen los requerimientos de la población, por lo que reafirma la necesidad de proveer un buen concreto a las construcciones, una tecnología de materiales adecuada y soportada con un conocimiento científico. El concreto certificado para una mayor durabilidad que sea elaborado con la calidad requerida, será un elemento básico en el desarrollo de las políticas de economía de recursos en todo el mundo. Los productores de concreto y los constructores cada vez aceptan más los modernos sistemas de control de calidad, como el *ISO 9000* o los propuestos por el *ACI*.

- Economía de recursos

La perspectiva y visión de la construcción actual es distinta a la de hace algunos años, las sequías en algunos países han mostrado que el agua no es inagotable, las compañías de cemento se han percatado de que las canteras no se amplían constantemente, y la carencia de agregado de buena calidad ha obligado a distancias más largas de transportes que requieren más tiempo y elevan los costos. Por lo que otro reto es la economía de recursos. Los tiempos actuales conllevan a la economía de recursos a maximizar su beneficio y optimizar su desempeño. La poca durabilidad del concreto es de interés público; la falla de estructuras daña a la infraestructura y a la industria.

- Impacto ambiental

Sólo el 6% de flujo total de los materiales, aproximadamente como 500 mil millones de toneladas al año, termina en productos deseados, mientras que la mayoría de los materiales vírgenes son regresados al ambiente en forma de desperdicios dañinos, ya sean líquidos, gaseosos o sólidos. El desarrollo industrial en los últimos 200 años no consideró una visión de largo plazo del impacto de los subproductos no deseados por la industria. La escasez de materiales durables también tiene consecuencias ambientales serias. El incrementar la vida de servicio de los productos es una solución sencilla y a largo plazo para preservar los recursos naturales de la tierra.

Las estructuras de concreto normalmente se diseñan con un período de servicio de 50 años, pero la experiencia ha mostrado que en ambientes urbanos o marinos algunas estructuras se deterioran a los 20 años, ha sugerido que la vida de diseño de las estructuras se incremente hasta 100 o 120 años, y para puentes urbanos, al menos a 150 años de vida de servicio. Siendo la conservación del cemento el primer paso en la reducción del consumo de energía y emisiones de gases de invernadero. Para incrementar la productividad del recurso se requiere minimizar el consumo de cemento, mientras se debaten las demandas futuras para más concreto.

Esto debe ser la prioridad para una industria de concreto viable. A excepción de los cementos *Pórtland* mezclados que contienen aditivos minerales, ningún otro cemento hidráulico parece satisfacer la colocación, endurecimiento y características de durabilidad de los productos basados en cemento *Pórtland*. El consumo mundial de cemento en el 2010 fue aproximadamente 2 mil millones de toneladas, además de existir suministros adecuados de subproductos cementantes y puzolánicos que puedan emplearse como sustitutos del cemento para eliminar la necesidad de la producción de más clinker de cemento *Pórtland*.

6.4. Materiales cementantes suplementarios

Son materiales finamente pulverizados con características cementantes, actualmente conocidos y usados en los concretos convencionales. Son de gran utilidad, y en ocasiones indispensables, para la preparación de concretos de alta resistencia. Estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos industriales, o son de origen natural. En la preparación del hormigón pueden usarse individualmente o combinados. Entre las adiciones están las puzolanas, que deben ser materiales silíceos o sílico-aluminosos, los cuales por sí mismo poseen muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reaccionan químicamente. Otros, como las escorias de altos hornos, si presentan características cementantes.

Para preparar hormigones de alta resistencia son normalmente necesarios, la ceniza volante, el humo de sílice (microsílice) y la escoria de altos hornos; se utilizan también otras adiciones cementantes como el metacaolín y las cenizas de cascarilla de arroz. El rango de la dosis fluctúa generalmente entre el 5% y el 20%, con relación al peso del cemento. Como ejemplo, algunas especificaciones indican humo de sílice al 10% como máximo. Los materiales cementantes suplementarios reaccionan más lentamente que el cemento *Pórtland* generando beneficios para los concretos de alta resistencia

En la primera hora posterior al mezclado no se aprecia prácticamente ninguna reacción, por lo que su uso reduce la cantidad y el costo de los superplastificantes. Por ello permiten no solo controlar la rápida pérdida de asentamiento, característica de los concretos de alta resistencia, sino que permiten alcanzar importantes economías en esos concretos. Para concretos con resistencias menores que 75 MPa, no se requiere humo de sílice, sin embargo, con los materiales disponibles actualmente no se ha podido alcanzar resistencias mayores que 75 MPa sin humo de sílice.

La cuantificación de la relación a/c se hace en función de la suma de los pesos del cemento más los materiales cementantes suplementarios. Es, sin embargo, de interés conocer la relación a/c para tener una mejor idea de las condiciones en que se desarrollará el fraguado de la mezcla. Puesto que las adiciones no tienen las mismas propiedades cementantes, y que no reaccionan en la misma forma que el cemento *Pórtland*, podrían presentarse distorsiones sobre las resistencias a determinadas edades.

En Guatemala los materiales cementantes suplementarios, como la ceniza volante de carbón o las puzolanas naturales deben cumplir con la especificación *ASTM C618*. La escoria granulada de alto horno, molida debe cumplir con la especificación *ASTM C989*. Estos materiales cementantes deben incorporarse a la mezcla de concreto mediante el uso de cementos que ya los contengan integrados en el proceso de fabricación conforma a la Norma NTG 41095, para garantizar sistemáticamente la uniformidad y por consecuencia la calidad y la durabilidad del concreto.

6.4.1. Utilización de puzolanas como adición

La diversidad de aplicaciones que tiene el cemento en la actualidad hace que sea necesario elaborar productos de diferentes características, obedeciendo a las distintas necesidades de resistencia mecánica y química, color, tiempos de fraguado, costos, entre otras. Para lograrlo se requiere utilizar, en su elaboración, sustancias naturales o sintéticas que impriman al cemento las propiedades requeridas. Esta función la cumplen los llamados aditivos. Dentro de los aditivos están las puzolanas, las cuales se definirán y se discutirán sus características, las ventajas y desventajas de su utilización y el mecanismo de funcionamiento de éstas al interior de la mezcla de concreto en el tiempo.

Son productos naturales o artificiales, silíceos o sílico aluminosos que en si mismos poseen poca o ninguna propiedad aglomerante ni de actividad hidráulica, pero finamente molidas, a temperaturas ordinarias y en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio formando compuestos que sí tienen propiedades aglomerantes e hidráulicas. Las puzolanas presentan en virtud de su inestabilidad química, reflejo del desorden estructural, alta susceptibilidad de reaccionar con otras sustancias para formar nuevos compuestos más estables, es así como atrapan la cal libre en el clinker.

Las puzolanas engloban materiales de diferente naturaleza, por esto cuando se habla de ellas se está haciendo alusión a rocas, suelos, sedimentos o productos artificiales que presentan propiedades puzolánicas. El primer criterio que apoyó la producción de cementos puzolánicos fue el corregir el cemento *Pórtland* tipos I y II fijando la cal libre, generada durante la formación de los silicatos bi y tricálcicos, la cual es inestable a pH menores de 12, para formar compuestos estables que no son vulnerables a la acción de las aguas ácidas. Pero adicionalmente estos materiales tienen otros efectos sobre el cemento y el concreto.

- Reemplazan una buena porción del cemento portland del 20 al 40%, disminuyendo los costos de producción porque esta adición es mucho más barata que el clinker y más económica de moler.
- Reduce el calor generado durante la hidratación, la cual es una reacción bastante exotérmica.
- Evita el agrietamiento del concreto por la acción expansiva de la cal al hidratarse y compresiva al secarse.
- Rebajan en cierto porcentaje los aluminatos que son inestables en medios sulfatados y absorben álcalis, los cuales normalmente entran a reaccionar de manera perjudicial con los agregados del concreto.

6.4.2. Utilización de ceniza volante (*Fly Ash*) como adición

La ceniza volante es el producto sólido y en estado de fina división, procedente de la combustión de carbón pulverizado en los hogares de centrales térmicas, que es arrastrado por los gases del proceso y recuperado de ellos, en los filtros. Es utilizada para la fabricación de vidrio, cerámica, ladrillos, para capas de firmes de carreteras, para cama de tubos, pero sobre todo para la elaboración de concreto.

Los combustibles fósiles se utilizan en plantas eléctricas para producir energía. Sin embargo, los grandes volúmenes de cenizas que genera este proceso pueden causar problemas al medio ambiente. Una alternativa que se vislumbra es destinarlas a la producción de materiales para la construcción, lo cual ya se hace en varios países. Las cenizas volantes del carbón según especialistas conservan energía, con lo cual se puede reducir la demanda de ésta en la elaboración de materiales como pavimento, cal, cemento y piedra. También pueden sustituir a la arcilla, arena, piedra caliza y la grava, lo cual representa un ahorro en los costos de energía derivados de la extracción, tienen propiedades cementantes, debido entre otros factores, a su contenido de óxidos (sílice, alúmina y fierro) que están por arriba del 70 por ciento.

Entre las características más importantes de las cenizas volantes, se pueden mencionar las siguientes:

- Contenido de carbón.
- Reactividad álcali-agregado
- Fineza
 - 45 μm
 - Tamaño de partícula
- Densidad
- Color
- Hidraulicidad
- Actividad Puzolánica
- Requerimientos de Agua
- Resistencia a los sulfatos

Estas características, junto a la forma esférica de sus partículas, contribuye al sellado del poro de los morteros y concretos elaborados con adiciones de ceniza volante, produciendo un material menos permeable. Las mezclas de concreto que contienen cenizas volantes o escorias granuladas de alto horno molidas, casi siempre requieren menos agua (10 %) para obtener un cierto revenimiento que los concretos que solo contienen cemento Portland.

Algunos criterios que justifican el uso de las cenizas volantes son:

- Se puede reducir la demanda de cementos en la elaboración de materiales como pavimento, cal, cemento y piedra.
- Disminución de gases contaminantes que inciden en el efecto invernadero.
- Las inclusiones de ceniza volante en concretos sin aire incluido generalmente reduce la cantidad de aire atrapado.
- Generalmente mejoran la trabajabilidad de los concretos de igual resistencia y revenimiento.
- Los concretos en los que se emplea ceniza volante por lo general muestran menos segregación y sangrado que los concretos simples.
- Valiosa en los concretos fabricados con agregados que presentan deficiencias en su contenido de finos.
- El uso de cenizas volantes reduce la cantidad de calor que se forma en una estructura de concreto debido a su menor calor de hidratación, característica especialmente favorable en los concretos usados en estructuras masivas.
- Generalmente mejoran el desempeño de los concretos ante el ataque de los sulfatos, contribuyen a la adquisición de resistencia.

- Se han utilizado cenizas volantes especialmente en la producción de concreto de alta resistencia entre 400 y 1000 kg/cm².
- Las cenizas volantes generalmente reducen la permeabilidad del concreto aun cuando el contenido de cemento sea relativamente bajo.
- La absorción de un concreto con ceniza volante casi es la misma de uno sin ceniza. (Pueden reducirla en un 20 %).

7. LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL SIGLO XXI

7.1. Oportunidades y desafíos de la industria

Dado al relativo bajo costo, disponibilidad, versatilidad y adecuadas propiedades ingenieriles y arquitectónicas, el concreto y los derivados del cemento son los materiales de construcción más utilizados en el mundo actual y se puede predecir que esta situación continuará en el futuro próximo, si no por otra cosa, por la razón de que no se vislumbra a corto plazo un material con mejores cualidades integrales. El cúmulo de conocimientos relacionado con el concreto y las otras aplicaciones que relacionan al cemento es bastante extenso, muy completo y sofisticado.

Se dispone de numerosos tipos de cementos de acuerdo a su composición y su comportamiento o desempeño, y amplia gama de tecnologías para aplicarlos. Los conceptos, requisitos y controles adicionales constructivos han adquirido una mayor relevancia, al asegurar con buenas prácticas constructivas, la calidad y desempeño que se desea tanto para el presente como para el futuro. La industria del concreto ha tomado este reto al volverse incrementalmente innovadoras en su uso, el desarrollo de nuevos materiales y nuevas tecnologías.

Existe mayor conciencia de los requisitos y calidades a exigir. Características como la manejabilidad o trabajabilidad, la consolidación adecuada, la impermeabilidad, la resistencia a la fisuración, a la intemperización u otros ambientes agresivos, a determinados agentes químicos, la durabilidad, son requisitos normalmente exigidos ahora en Guatemala, en adición a la resistencia mecánica que por muchos años fue casi la única cualidad a la que se le daba importancia. Al iniciar el siglo XXI los diseñadores estructurales esperan que los materiales estructurales relacionados con el concreto se desempeñen eficazmente; necesitan ser estructuras estables, durables, sustentables, y estéticamente atractivas.

El desafío de la tecnología del concreto es proyectar estructuras de concreto reforzado capaces de lograr vidas útiles superiores a las actuales, Guatemala debe impulsar la costumbre de la investigación y aplicarla en el mediano plazo, con el objetivo a largo plazo de lograr efectivamente un desarrollo sustentable en la infraestructura nacional, y en general, en la industria del concreto y sobre todo en la industria de la construcción. Y por eso existe la necesidad de tener un amplio conocimiento del uso del cemento y del concreto, contar con nuevas y diversas tecnologías y mejores y más amplios conocimientos y se seguirán haciendo mayoritariamente, concretos para uso general en la construcción y se dará cada vez más atención a los usos especiales de acuerdo con las exigencias de uso y desempeño.

7.2. Concretos especiales

En Guatemala ya se tiene la conciencia de la necesidad de usar concretos especiales, uso de cemento tipo V para concretos en ambientes marinos o lugares donde puede haber ataques de sulfatos, uso de cemento tipo I que es una clase resistente de $f'_c = 352 \text{ kg/cm}^2$ (5000 psi), ya existe la preocupación por la posible reactividad sílice-alcali y la presencia de cloruros en el concreto y la utilización de aditivos; además de los retardantes y los acelerantes. Pero lo que hace falta es reconocer que ya no es la resistencia mecánica lo único importante sino que debe tomarse en cuenta también la durabilidad y otros requisitos especiales derivados de limitaciones constructivas o consideraciones ambientales o de servicio.

En todo el mundo, el concreto, después del agua, es la sustancia más utilizada en la construcción. Las razones de este uso tan difundido son de diferente naturaleza. Las más habituales son la disponibilidad de sus componentes, su versatilidad y capacidad de adaptación, que resultan de las numerosas posibilidades de aplicación en la construcción. En los últimos diez a veinte años, los materiales de la construcción destinados a fabricar el concreto han experimentado grandes cambios. Estos cambios se han debido bien a los materiales de construcción en sí o a sus métodos de fabricación. Por lo cual se han diseñado y complementado la utilización de concretos especiales para poder tomar en cuenta otros requisitos en la construcción y obtener obras de mayor calidad y duración. Entre los desarrollados están:

- Concreto de alta resistencia

Aunque el desarrollo de los fluidificantes de concreto ha permitido la producción de concretos con relaciones muy bajas de agua/cemento, la trabajabilidad no se ha visto afectada negativamente. Ello ha originado un aumento sustancial de la resistencia a compresión. Según *ASTM* el concreto de alta resistencia se define con una resistencia a compresión de 55 MPa. (561 kg/cm²). Los concretos con resistencias hasta 120 MPa (1224 kg/cm²) están ya presentes en el mercado estadounidense. La disponibilidad de los concretos de alta resistencia ha originado un aumento del consumo de concreto en la edificación ya que a menudo el concreto es más económico que las estructuras de perfiles de acero comparables.

En los concretos de alta resistencia, la contracción autógena es mayor que en el concreto convencional, y el valor de la fluencia específica del material es mayor. Esta combinación de parámetros es la responsable del elevado potencial para la formación de fisuras de los concretos de alta resistencia. Este elevado potencial de formación de fisuras puede influir en la durabilidad de la estructura, de manera que se deben tomar medidas correspondientes para garantizar una durabilidad adecuada. El pretensado de los concretos de alta resistencia puede reducir este potencial de formación de fisuras de este tipo de concreto.

- Concreto autocompactante

La disponibilidad de concretos de alta resistencia en combinación con zonas densamente reforzadas ha cumplido los requisitos de la industria de la construcción con relación a unas estructuras más estables y dúctiles. A la hora de construir este tipo de estructuras, el concreto se debe poder trabajar fácilmente, pero no se debe segregar ni debe desaguar demasiado. Desde 1980 los investigadores han creado mezclas de concreto con una buena trabajabilidad. El concreto autocompactante se puede definir como un concreto fluido que se puede utilizar *in situ* sin vibraciones, exento de espacios huecos.

Los ingredientes imprescindibles del concreto autocompactante son los fluidificantes, los agregados que modifican la viscosidad y los agregados minerales finos como las cenizas volantes o caliza molida. Aunque los agregados son muy costosos, con un tamizado rápido y sin compactación adicional se puede obtener ahorros que compensen con creces los costos adicionales. La mayoría de los concretos autocompactantes se emplean en plantas de prefabricados, pero también para la fabricación de concreto premezclado.

- Concreto de alto comportamiento

El concreto de alto comportamiento se define como un concreto con una elevada trabajabilidad, elevada resistencia y gran durabilidad. El ACI lo ha definido como un concreto que desarrolla determinadas características para aplicaciones y entornos específicos. El concreto de alto comportamiento es apropiado principalmente para estructuras con una larga durabilidad, como ejemplo las plataformas de perforaciones petroleras, puentes con grandes claros y estacionamientos. Para el concreto de alto comportamiento sigue siendo muy importante una buena ejecución de las obras y el suficiente tiempo de curado para que su rendimiento se aproveche al máximo.

- Concreto de baja contracción

El concreto de baja contracción es un concreto fabricado con cemento expansivo que con un tensado apropiado con refuerzos u otros medios se expande de la misma manera o ligeramente superior a la contracción en seco previsible. En un caso ideal, en el concreto permanece una presión restante que reduce el riesgo de una formación de fisuras debido a la contracción. En Estados Unidos se utiliza toda una serie de cementos expansivos, a saber, los tipos K, M y S, siendo el tipo K el más utilizado, estos cementos están formados por cemento *Pórtland* que contiene sulfato cálcico, aluminato cálcico y sulfato de aluminato de calcio o una mezcla de ellos. En Japón se utiliza otro cemento expansivo que no contiene sulfato y que desarrolla sus propiedades expansivas por la hidratación de las moléculas libres de calcio.

7.3. Tecnología de interés para Guatemala

7.3.1. Concretos reforzados con fibras

El concreto convencional con fibras discontinuas diferentes se define como concreto reforzado con fibras. Para ello se utilizan fibras de diferentes formas y tamaños de acero, plástico, vidrio, carbono y fibras naturales (Figura 29), pero para que pueda ser eficaz el refuerzo debe tener una rigidez mayor que la matriz de concreto a la que deben reforzar. En general se puede decir que las fibras con una reducida rigidez (de plástico o de fibra natural) únicamente ofrecen ventajas para mejorar la resistencia a tensión de los concretos plásticos y que por eso se utilizan principalmente para reducir la contracción plástica o la formación de fisuras por contracción.

El acero es el material que más se emplea en las fibras, los reducidos porcentajes en volumen de fibras (inferior al 1 %) se emplean para reducir la formación de fisuras por contracción. Las más comunes son las fibras de acero redondas que se producen a través del corte de alambres y generalmente tienen diámetros que varían entre los 0.25 y 1 mm. Los volúmenes medios (entre el 1 y el 2%) mejoran la resistencia a tensión, flexión y torsión, la tenacidad contra rotura y la resistencia al impacto, mejorando la resistencia hasta tres veces la del concreto simple. Las mezclas de concreto que contienen más de un 2% pueden ser difíciles de manejar y colocar debido a la tendencia de las fibras a contraerse.

El refuerzo de fibras puede influir claramente en la trabajabilidad del concreto. Por eso se debe tener en cuenta este hecho a la hora de realizar las mezclas de los concretos reforzados con fibras. Para poder aprovechar las ventajas de los diferentes tipos de fibras, se emplean de manera creciente combinaciones (compuestos de fibras) de fibras de acero y material sintético. Tanto en la fase temprana del fraguado como en el uso posterior existen tensiones generadoras de fisuras por lo que es conveniente emplear las fibras adecuadas para ambos periodos. En los pisos industriales sin juntas se procesan hasta 2000 m² y en promedio 40 kg/m³ de fibras de alambre en combinación con 1000 g/m³ de fibras de material sintético de polipropileno.

Figura 29. **Fibras utilizadas en el refuerzo del concreto**



Fuente: IMCYC, www.imcyc.com, julio 2011.

Las fibras influyen en todos los modos de falla de las propiedades mecánicas del concreto, y en forma especial en las inducidas por fatiga, tensión directa, impacto y esfuerzo de cortante. El mecanismo del aumento de la resistencia de las fibras involucra la transferencia de esfuerzos de la matriz cementante a las fibras mediante cortante en la interfase. El esfuerzo se comparte por las fibras y la matriz cementante hasta que la matriz se agrieta; entonces, el total del esfuerzo se transfiere progresivamente hacia las fibras. Las variables más importantes que regulan las propiedades de los concretos reforzados con fibras son la eficiencia y el contenido de fibras.

7.3.2. GRC (*Glass Fiber Reinforced Cement*)

El *GRC* (*glass fiber reinforced cement*) es un material de construcción que está formado por la unión de dos materiales con propiedades muy diferentes: mortero de cemento y fibras de vidrio cortas proyectadas, de forma aleatoria en dos dimensiones, junto con el mortero. Las propiedades mecánicas del mortero de cemento se caracterizan por su alta resistencia a compresión y su baja resistencia a la tensión así como su baja ductilidad. En el caso de las fibras de vidrio su mayor virtud es su alto módulo de elasticidad junto a su gran resistencia a la tensión.

Mediante la configuración de un material compuesto surgido de la unión de ambos se tiene un material resistente a compresión propiedad que da el mortero de cemento, y con una resistencia a tensión y ductilidad mucho más alta de lo que tenía el mortero solo, lo que se debe a las propiedades de las fibras cortas introducidas.

El empleo de este material en edificación y obra civil se ha restringido a su aplicación como elemento no portante (cerramiento de fachadas, encofrado perdido revestimiento de túneles, barreras acústicas etc.) ya que la evolución de sus propiedades resistentes con el paso del tiempo incluye una grave pérdida de ductilidad, acompañada por una pérdida de resistencia a la tensión.

Estos problemas se han empezado a solucionar mediante la adición de productos químicos a la pasta de cemento y debido a esto se ha comenzado a considerar la posibilidad de utilización de este material como elemento portante estructural. Por las razones y características del material anteriormente descritas surge el interés de un estudio más profundo del comportamiento mecánico del material, tanto de sus propiedades estáticas como de sus propiedades dinámicas. Debido a la gran complejidad que posee este tipo tecnología de un material compuesto con fibras cortas dispuestas de manera aleatoria, se debe estudiar la posible aplicación de modelos de fibras largas alineadas como simplificación del problema real.

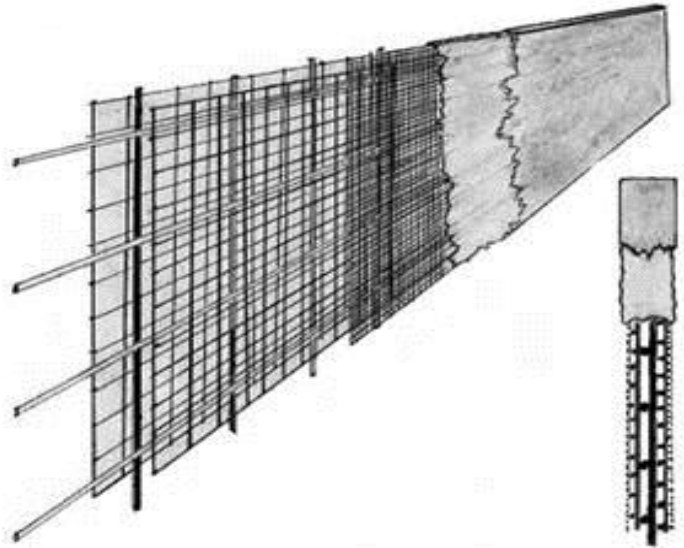
7.3.3. Ferrocemento

El ferrocemento es un material de construcción compuesto, de poco espesor, flexible, en el que un gran número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notablemente mejorado en comparación al concreto armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas; se utiliza en la construcción y como material de esculturas. El ferrocemento tiene una gran resistencia y es muy económico. Tiene buena resistencia al fuego, buen comportamiento ante los terremotos y no se oxida.

El ferrocemento tiene una amplia gama de aplicaciones que incluyen la construcción de viviendas, la creación de esculturas, la reparación de los artefactos existentes y la construcción de barcos y buques. Lo fundamental de este material es que el mortero puede experimentar mayores deformaciones en las cercanías del refuerzo sin fisurarse y que la magnitud de estas depende de la subdivisión y distribución del refuerzo a través de la masa de mortero. Además, la cantidad de material que se utiliza es mucho menor. De ahí que actualmente resulte de gran interés el uso del ferrocemento en el mundo, sobre todo en los países en vías de desarrollo como Guatemala, tanto para las construcciones marinas como terrestres.

En la estructura de ferrocemento el refuerzo consiste en telas de mallas de alambre de pequeño diámetro distribuidas uniformemente en todo el espesor del elemento con la utilización o no de barras de acero (figura 30) la importancia práctica de esta dispersión del acero reside en la mejora de muchas de las propiedades ingenieriles del material como el agrietamiento, la resistencia a la tracción y la flexión, la rigidez, la resistencia al impacto y a la fatiga, etc., y en las ventajas constructivas para la fabricación de estructuras.

Figura 30. **Estructura del ferrocemento**



Fuente: www.mioruro.com/libros/ferrocemento, junio 2011.

Las telas de mallas de acero más utilizadas están formadas por alambres generalmente galvanizados de diámetro de entre 0.8 y 1.5mm espaciados entre sí de 10 a 25mm. Estas pueden ser hexagonales, rectangulares o cuadradas, tejidas, torcidas o soldadas y se distribuyen en dos grupos a ambos lados de un núcleo compuesto por barras de acero de entre 3 y 6mm de diámetro lo que se conoce como refuerzo de esqueleto. Tal estructura, emplastecida con mortero y con recubrimiento entre 2 y 6mm, presenta espesores que fluctúan entre 10 y 30mm aunque pueden llegar a 50mm, en dependencia de si requiere o no refuerzo de esqueleto y de la dimensión y disposición de los alambres o barras intermedias que lo conforman.

El ferrocemento posee mejores propiedades mecánicas y más durabilidad que el concreto armado; su proceso deformativo es notablemente distinto al del concreto en relación con su mayor resistencia al agrietamiento, la suave configuración de la curva deformada, el gran margen entre la carga a la primera grieta y la de rotura, así como la gran deformación que admite antes del fallo, al comportarse dentro de ciertos límites de carga como un material elástico y homogéneo. La distribución uniforme del refuerzo y la alta relación entre su área superficial y el volumen del compuesto (superficie específica) resultan en una mayor oposición al surgimiento y a la propagación de las grietas, lo que incrementa la resistencia a la tensión del material.

7.3.4. Concreto seco compactado con rodillo (CCR)

El concreto compactado con rodillo (CCR) se ha definido como un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza con un rodillo vibrante. Es decir es un material debido a que su dosificación y consistencia difieren del concreto convencional y técnica puesto que su manejo requiere un procedimiento diferente al utilizado en el concreto convencional. Pero debido al concepto de CCR es relativamente reciente hay muchas mejoras y refinamientos aún por estudiar y resolver, y el intercambio de información y experiencia será de gran utilidad para el país.

El concreto seco compactado con rodillo (CCR) es un material constituido por agregados, cemento, agua (en menor cantidad que para un concreto convencional) y opcionalmente aditivos. Su mayor uso en la construcción de presas donde es necesario el empleo de concreto masivo. Así mismo, se ha utilizado en la construcción de pavimentos, pistas de aeropuertos, protección y recubrimiento de canales. Es más conocido como una mezcla de concreto de cemento *Pórtland* de cero revenimientos. Su espesor para uso en pavimentos comprende capas a 25 cm de espesor compactado que no utiliza acero de refuerzo ni formaletas.

Respecto a los componentes del CCR, los agregados pueden ser materiales procedentes o no de trituración y comprenden agregados gruesos y finos, los cuales constituyen aproximadamente del 75 al 85% del volumen de la mezcla. El cemento a utilizar puede ser cemento *Pórtland* de tipo I o tipo II, cuyo contenido en la mezcla oscila entre un 10% y un 17% por peso seco de los agregados. La relación agua-cemento, comparada con el concreto convencional, presenta valores bajos, en el orden de 0.40. El empleo de aditivos en el CCR, se da generalmente cuando se requiere más tiempo en el proceso de colocación y compactación, por lo que se utilizan aditivos retardadores de fraguado.

Respecto a las propiedades técnicas del CCR, se ha establecido que de acuerdo al contenido de cemento utilizado en la mezcla, éste puede lograr una resistencia a la compresión y a la flexión (a 28 días de edad) en el orden de 250 kg/cm² hasta 350 kg/cm². Para el diseño de la mezcla del CCR y para el control de calidad durante una construcción del pavimento, se utiliza equipo de laboratorio y procedimientos de ensayo estandarizados reconocidos por la *ASTM*. La producción de la mezcla para CCR se lleva a cabo en plantas dosificadoras, la cuales deben ubicarse tan cerca como sea posible del lugar donde se construye el pavimento, con el objeto de disminuir el tiempo de acarreo y con ello mantener las características de trabajabilidad de la mezcla.

7.3.5. Concreto seco compactado con rodillo de alto desempeño (CCRAD)

Durante muchos años el concreto compactado con rodillo de alto desempeño (CCRAD) fue usado como sub-base de firmes carreteras y pavimentos en aeropuertos. Es el resultado de combinar las técnicas del CCR y del concreto de alto desempeño (CAD). El éxito de este concreto compactado en estos usos ha sido atribuido a una serie de factores; principalmente a que es un material sencillo de producir y colocar. Las dosificaciones para trabajos de pavimentación requieren normalmente un bajo contenido de cemento y conllevan al empleo de áridos de buena calidad como los usados en el concreto convencional. El contenido de agua es escogido de tal forma que se produzca un concreto de asiento no medible por los métodos tradicionales, que le permita ser compactado con rodillo.

A comparación del CCR tradicional el CCRAD alcanza resistencias mayores a la compresión de 510 kg/cm^2 a 612 kg/cm^2 a 20 días, que también puede colocarse en equipos usados para pavimentos asfálticos. La durabilidad y otras cualidades mejoran especialmente al aspecto superficial y la presencia de fisuras que son más finas y más espaciadas que las del CRR tradicional, con lo que se espera una mayor aplicación del mismo en caminos y calles. Por lo cual ayuda a la búsqueda de un concreto con baja fisuración junto con la necesidad de establecer mezclas y sistemas de ejecución más económicas.

8. CONDICIONANTES AMBIENTALES

8.1. Reforestación

La extracción de materias primas de las arcillas y calizas, así como combustible como carbón, frecuentemente resultan en una deforestación excesiva y pérdida de suelos. En Guatemala se ha intentado ser respetuoso del medio ambiente en el área de la construcción y además de cumplir con las leyes nacionales e internacionales, se han seguido los lineamientos del Consejo Municipal de Sostenibilidad y Desarrollo en la mayoría de las operaciones de la industria del concreto y de la construcción.

De acuerdo con la Unidad de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente, la deforestación alcanza las 70,000 hectáreas anuales en Guatemala y el problema se agrava por la ampliación de la frontera agrícola, la pobreza, el crecimiento poblacional y la inseguridad alimentaria. Los árboles son fuente de muchos beneficios y representan un papel importante en la protección del medio ambiente, ya que mejoran la calidad del aire, protegen fuentes de agua y el hábitat de la vida silvestre.

Otro beneficio importante de los arboles es que protegen el suelo de la erosión, ya que sus ramas y hojas detienen el impacto directo de las gotas de agua, y sus raíces forman un entramado que sujeta la tierra y la protege. Las hojas de los árboles filtran el aire que respiramos, ya que remueven el polvo y las otras partículas como el ozono y el dióxido de carbono, causante del calentamiento de la atmósfera que conlleva al efecto invernadero. Históricamente, las sequías y talas de los bosques han impactado en la diversidad biológica y en forma más severa en la productividad agrícola, forestal y ganadera con consecuencias negativas en la calidad de vida

Desde 1985, conscientes de la deforestación en el país, que es un gran problema de cambio en el hábitat, cambio en el comportamiento de los ciclos del agua, en la biodiversidad y fauna de los lugares, en la industria de la construcción se han realizado proyectos de reforestación intensivos, no solo en las zonas de influencia sino en otras aledañas y comunitarias. Se tiene una empresa de reforestación que ha estado trabajando intensamente desde hace 25 años para poder compensar ese deterioro en el tema de bosques. Los programas en la industria del concreto principalmente realizados por Cementos Progreso, con la fundación de la empresa Agrobosques S.A., que a la fecha ha producido y ha reforestado más de 5000 hectáreas.

Esta empresa ha contado con una experiencia en el establecimiento de bosques energéticos y del aserrío, que ha conllevado a la implementación de un vivero de alta tecnología, que produce 1 500 000 plántulas por año. También ha contado con los reforestamoviles que son equipos compuestos por educadores y capacitadores, que llevan las pláticas y capacitaciones ambientales necesarias a las escuelas, a los agricultores y el establecimiento y manejo de bosques agroforestales. A la fecha medio millón de árboles se han sembrado en proyectos forestales distribuidos principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Escuintla, Guatemala y San Marcos.

8.2. Gestión de residuos

Otras de las grandes consideraciones y proyectos que ha realizado la industria cementera y del concreto que sido impulsada desde hace unos cinco años, es el tema de combustibles alternos y materias primas alternas como una solución para la efectiva y adecuada eliminación de algunos desechos que son complicados, tóxicos o difíciles de manejar, la industria a nivel mundial ha impulsado ese tipo de soluciones que fomentan al proceso de destruir en una forma efectiva, porque son muy altas temperaturas y tiempos de residencias muy altas que permiten destruir casi todo tipo de componentes y materias primas que de otra forma generarían un problema en su manejo en los basureros o en el ambiente.

Con relación a la gestión de residuos en la obra, cerca de dos tercios de desperdicios de construcción y demoliciones consisten de mampostería y escombros de concreto viejo, hecho que ha representado una oportunidad para mejorar la productividad del recurso mediante el uso de agregado grueso, derivado de desperdicios de demolición y construcción. Al igual las arenas dragadas pueden ser procesadas como agregados finos. El reciclaje de los desperdicios en lugar del proceso de materiales vírgenes está siendo particularmente económico donde la tierra es escasa o los costos de disposición de los desperdicios son muy altos.

Y con relación a la gestión de residuos en planta el objetivo principal es eliminar las salidas de residuos de la planta hacia botaderos o rellenos sanitarios municipales. Que se ha podido implementar un sistema que permite reciclar los residuos metálicos, fabricar biocompost con los residuos orgánicos, co-procesar los residuos orgánicos en el hornos de clinker. Con relación a esto último Los hornos de clinker han demostrado ser medios eficaces en la valorización de residuos y actualmente son una de las opciones viables para el tratamiento de residuos industriales. La incineración de residuos en hornos entra en la categoría de co-procesamiento de residuos. Esta denominación deriva del hecho de utilizar la misma unidad de producción de clinker para la combustión de residuos.

Esta última tecnología disminuye sustancialmente el consumo energético, es de desarrollo más reciente y por ende los hornos son de tecnología más moderna. Adicionalmente se debe tener en cuenta que la emisión potencial de dioxinas y furanos es sustancialmente menor en los de vía seca, por lo cual sería la opción ambientalmente más adecuada. Las características del proceso hacen de ésta una tecnología viable para el tratamiento de residuos ya que cumpliría con los requisitos de temperatura, turbulencia y tiempo de residencia establecidos para la incineración de residuos peligrosos. Adicionalmente la presencia del clinker de características alcalinas, permitiría retener una serie de contaminantes en el producto.

Dado al caso las condiciones técnicas de un horno de clinker pueden considerarse adecuadas para el tratamiento de residuos peligrosos, hay que tener en cuenta que las plantas productoras de cemento no han sido diseñadas para el tratamiento de residuos, sino para la producción de cemento y otros productos relacionados con el concreto. Por esa razón se ha requerido una serie de transformaciones a nivel de la planta, entre las que se destacan: el acondicionamiento de las instalaciones para la recepción de los residuos incluido el control de calidad de los mismos, la incorporación de sistemas de alimentación de residuos al horno, la instalación de sistemas de control de emisiones acordes con la incineración de residuos peligrosos y el entrenamiento del personal.

8.3. Manejo del agua

Hasta ahora, en Guatemala en una cantidad aceptable de lugares se ha tenido la oportunidad de que el agua sea abundante y es utilizada libremente para todos los propósitos de la industria del concreto. De hecho, los reglamentos y normas de construcción recomiendan el uso de agua potable para mezclar y fraguar el concreto. Como uno de los mayores consumidores industriales de agua, es imperativo para la industria del concreto emplearla más eficientemente. El concreto premezclado emplea mucha agua para limpiar los depósitos o camiones mezcladores del concreto premezclado.

La mayoría del agua industrial reciclada se ha considerado usable para elaborar concreto, al menos que se indique lo contrario en las especificaciones de proyecto o pruebas. El agua tratada también se puede usar para agua de fraguado y lavado de implementos. Debido a esto ya se ha implementado un sistema de tratamiento tipo pantano artificial, que ha permitido remover la materia orgánica de las aguas residuales utilizadas en plantas y darles un uso específico tomando en cuenta todo tipo de normas para la fabricación de concreto de calidad. Se pueden tener ahorros considerables si en el fraguado con agua se emplean compuestos textiles con un tejido absorbente de agua en el interior y una membrana impermeable en el exterior.

9. AMENAZAS PARA LA INDUSTRIA

9.1. Producción de concreto

Como elemento esencial de la industria y material del quehacer humano, la producción y uso del concreto tiene no solo implicaciones técnicas y económicas, sino sanitarias, culturales y ecológicas. Históricamente, el manejo interrelacionado de los aspectos tecnológicos y económicos de producción de concreto ha sido instrumento fundamental para considerar y evaluar el producto. No se ha tenido suficientemente en cuenta los aspectos ecológicos, siendo las industrias del cemento y el concreto altamente consumidoras de recursos naturales y emisoras de contaminantes al medio natural.

Para contribuir a la solución de este problema en general han aparecido en los últimos años nuevos enfoques aún muy poco difundidos, y menos considerados en la educación y en las profesiones de ingeniería. En Guatemala siendo una de las grandes amenazas para esta industria se han empezado a manejar nuevos conceptos de mejora se basan en la reducción de los consumos de recursos naturales, que producen impactos de extracción en los procesos sociales, así como en la reducción de los impactos de emisión, producidos por los residuos y emanaciones de los procesos productivos.

9.1.1. Explotación y falta de recursos naturales

La evolución del conocimiento a nuevas técnicas de producción de cemento y de concreto y la facilidad de acceso al mismo han traído como consecuencia que en los últimos años han pasado sinnúmero de sucesos positivos, no obstante ha hecho que el ser humano para saciar sus nuevas necesidades a requerido consumir recursos naturales de manera más intensa, aumentando como tal el consumo de energía y produciendo desechos en tasas cada vez más crecientes, aspectos que si no se controlan traerán como consecuencia efectos ambientales de difícil reparación.

En Guatemala la mayor amenaza que se posee en la producción de cemento y de concreto, debido a la explotación de sus materias primas principales en el campo de los minerales no metálicos que en ellos se incluyen las arcillas férricas, arenas y gravas, caliza, caolín, cuarzo, feldespatos, filita, mármol, magnesita, serpentina y talco. Éstos y las rocas pueden ser procesados para conformar distintos materiales que son utilizados en las industrias de construcción. Los principales minerales que se utilizan en estas industrias que se encuentran en diferentes lugares en Guatemala se indican en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Minerales no metálicos, utilización y localización en Guatemala**

Mineral	Localización	Uso
Arena y Grava	Guatemala	Construcción, pavimentos, balasto para caminos.
Asbesto (amianto)	El Progreso	Aislador con cal y sílice, techos de asbesto-cemento
Caliza	Guatemala, El Progreso	Cal para morteros
Carbón	Izabal, Chiquimula, San Marcos, Huehuetenango	Combustible, fabricación de cemento
Cuarzo (sílice pura)	Baja Verapaz, Guatemala	Abrasivos
Escoria Volcánica	Santa Rosa, Escuintla	Material de construcción, fabricación de blocks
Perlita	Chiquimula, Zacapa, Guatemala, El Progreso	Agregado liviano para el concreto
Pómez	Guatemala, Quetzaltenango	Abrasivos
Yeso	Alta Verapaz, Chiquimula, Quiché.	Retardador de cemento

Fuente: caracterización de la minería en Guatemala, MEM, 2004.

Debido a que los minerales mencionados anteriormente son recursos no renovables traen consecuencias no muy satisfactorias para el medio ambiente y sobre todo la falta de los mismos para un futuro. Grandes cantidades de material han sido y son extraídas, mayormente en valles, lugares cercanos a ríos y otros cuerpos de agua. Los efectos más evidentes que pueden ocurrir y han ocurrido en Guatemala son:

- Desestabilización de los taludes, con peligro de erosión y derrumbes. Este peligro se acrecienta con la magnitud de las precipitaciones y deslizamientos.
- Destrucción de grandes terrenos por explotación sin planeamiento o con uno deficiente, así como malas prácticas operativas y falta de formación profesional.
- Explotación no económica y un uso no sustentable de los recursos naturales no renovables.
- Ocupación de terrenos por infraestructura e instalaciones.
- Emisión de polvo y generación de ruidos.
- Peligro de contaminación de cuerpos de agua por combustibles y lubricantes.
- Destrucción del paisaje, con efectos negativos para el turismo.

- En zonas de irrigación existe el peligro de la destrucción de los sistemas de colección y descarga en las pendientes de los valles.
- En las zonas de explotación y tratamiento desaparecen la fauna y flora.
- Tras un cierre no controlado existe el peligro que la zona de explotación se convierta en un basurero.

Y debido a tales consecuencias se han presenten algunas opciones técnicas encaminadas a limitar los efectos ambientales. Estas han sido clasificadas en medidas previas, paralelas y posteriores a las actividades mineras.

- Medidas previas a las actividades mineras
 - Levantamiento de la línea de base ambiental: la medida preliminar más importante consiste en determinar la situación ambiental existente antes del inicio de las operaciones.
 - Planeamiento de las operaciones: la buena planificación de las operaciones permite limitar considerablemente el impacto ambiental, incluso antes de iniciar las actividades mineras.
 - Capacitación y sensibilización: finalmente, antes de iniciar las labores mineras, debe realizarse una campaña de capacitación y sensibilización ambiental.

- Medidas paralelas a las actividades mineras
 - Uso óptimo de explosivos: el uso óptimo de explosivos reduce considerablemente las emisiones de polvo provenientes de la voladura de rocas consolidadas.
 - Suelo: el suelo debe ser separado y almacenado en un depósito especial para actividades de rehabilitación y revegetación.
 - Aguas: todos los materiales susceptibles de contaminar el agua (combustibles, lubricantes etc.) necesitan un sistema seguro de almacenamiento y un sistema de manejo controlado.

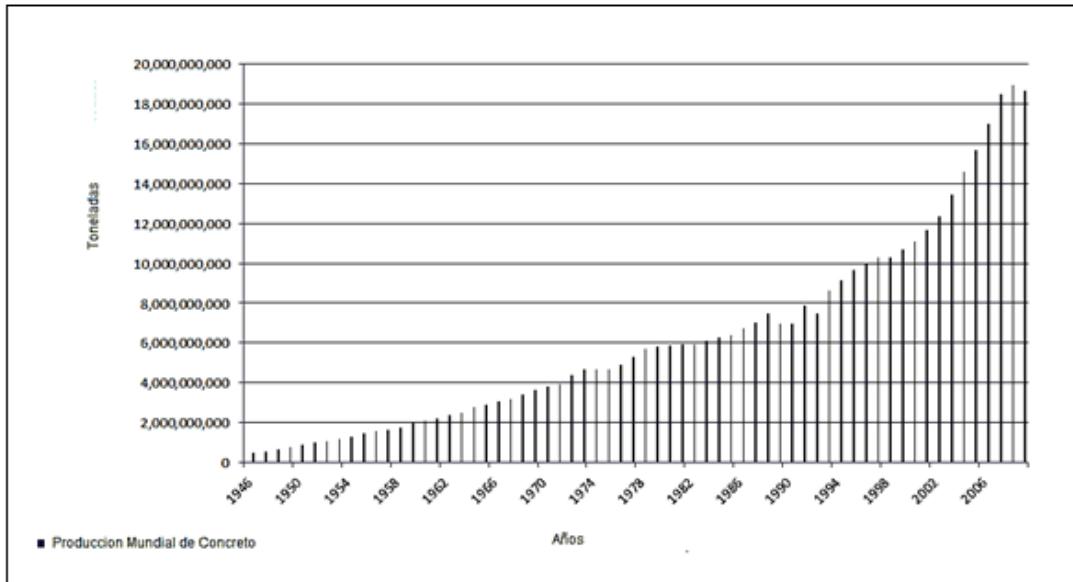
- Medidas posteriores a las actividades mineras: revegetación
 - Medio físico: después de agotar una sección del yacimiento y de haberla rellenado con desmonte de otros frentes de explotación (cuando sea posible), deben emprenderse inmediatamente acciones de rehabilitación.
 - Medio biológico: los botaderos, al igual que los lugares de almacenamiento de residuos industriales y las antiguas zonas de explotación, deben ser revegetadas inmediatamente después del cese de operaciones, usando para ello vegetación autóctona.
 - Suelo: conviene recuperar progresivamente las antiguas áreas de uso agrícola con suelos almacenados anteriormente, o bien restablecer las condiciones naturales y dar otro uso a la zona.

9.1.2. Contaminación

El flujo total de los materiales utilizados en la construcción va ascendiendo, un porcentaje deseable termina en productos deseados, mientras que la mayoría de los materiales sobrantes sin utilizar son regresados al ambiente en forma de desperdicios dañinos, ya sean líquidos, gaseosos o sólidos. Obviamente el desarrollo industrial en los últimos años no consideró una visión de largo plazo del impacto de los subproductos no deseados por la industria concreto y por supuesto Guatemala es parte de estos sucesos.

La producción mundial de concreto al año aproximadamente es de 16,000 millones de toneladas, que contabiliza aproximadamente el 7% de la carga global del dióxido de carbono en la atmósfera. En la figura 31 se muestra la producción de concreto a nivel mundial contabilizada hasta el año 2009. El cemento *Pórtland* no sólo es uno de los materiales más empleados en la construcción, es el responsable de una gran cantidad de gases de invernadero. La extracción de materias primas de las arcillas y calizas, así como combustible como carbón, frecuentemente resultan en una deforestación excesiva y pérdida de suelos. Se estima que globalmente al año se consumen 10,000 millones toneladas de arena, grava y roca triturada. El concreto también requiere grandes cantidades de agua, se estima que el agua de mezclado requerida asciende anualmente a 1 000 millones de metros cúbicos.

Figura 31. Producción de concreto mundial



Fuente: http://www.tececo.com/sustainability.carbon_cycles_sinks.php, Julio 2011.

La producción de una tonelada de cemento requiere aproximadamente de 4 *Giga Joules* de energía y la manufactura del clinker de cemento *Pórtland* descarga aproximadamente una tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera. Entre la producción de cemento los impactos ambientales negativos de las operaciones de producción del mismo ocurren en las siguientes áreas del proceso: manejo y almacenamiento de los materiales (partículas), molienda (partículas), y emisiones durante el enfriamiento del horno y la escoria (partículas, gases de combustión que contienen monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, y óxidos de azufre y nitrógeno).

Los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del horno (alto pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, principalmente potasio y sulfato), y el agua de enfriamiento del proceso (calor residual). El escurrimiento y el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos puede ser una fuente de contaminantes para las aguas superficiales y freáticas. El polvo, especialmente la sílice libre, constituye un riesgo importante para la salud de los empleados de la planta cuya exposición provoca la silicosis. Algunos de los impactos mencionados pueden ser evitados completamente, o atenuados más exitosamente, se debe escoger el sitio de la planta con cuidado.

Debido a los factores contaminantes por la producción de cemento y concreto se han establecido algunas opciones para tener un impacto ambiental estable y aceptable:

- La reutilización de los residuos generados dentro de la producción de concreto como por ejemplo, agua de lavado.
- La reutilización de los residuos de otras industrias, por ejemplo, cenizas, escorias, humo de sílice de vidrio, residuos, arena manufacturada.
- Mezcla de cemento con materiales cementantes suplementarios, como por ejemplo, cenizas volantes, humo de sílice, escoria, piedra caliza de mezcla, etc. durante la producción de cemento o en la planta de producción de concreto. En algunas partes del mundo, además de material complementario local, como la cáscara de arroz o de fibras de bambú se añaden al concreto también.

- Optimización del diseño de la mezcla de concreto, de modo que su desempeño cumple con las especificaciones con el contenido de clinker más bajo posible en el concreto.
- El uso del hormigón reforzado con fibra también conduce a la mejora del medio ambiente. El trabajo de refuerzo tradicional implica gran impacto en los trabajadores.

9.2. Amenazas directas a la infraestructura hecha de concreto

9.2.1. Desastres naturales

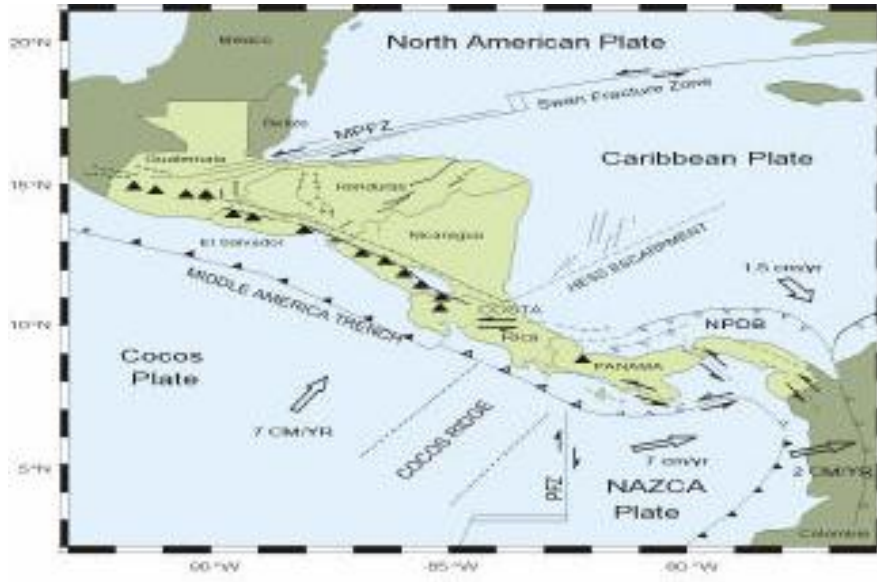
Durante tiempos inmemorables ciertas áreas del mundo han sido víctimas de tragedias o sucesos relacionados con la ira de la madre naturaleza y durante los últimos años también relacionados con la negligencia humana al manejar los avances tecnológicos o científicos. Estos fenómenos o hechos son comúnmente conocidos con su nombre específico dentro del ámbito cultural como desastres naturales. El término desastre hace referencia a las enormes pérdidas humanas y sobre todo materiales que ocasionan en cierta medida por eventos o fenómenos en las comunidades como los terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra, deforestación, contaminación ambiental y otros.

Los desastres no son naturales, sino algunos de los fenómenos que los producen. Donde la naturaleza se encuentra en un proceso permanente de movimiento y transformación, que se manifiesta de diferentes maneras, a través de fenómenos de cierta regularidad como la lluvia en algunos meses del año zonas montañosas, y de aparición extraordinaria y sorprendente, como los temblores de la tierra, las erupciones volcánicas o el desgaste natural del suelo se produce la erosión. En Guatemala las actividades más constantes que actúan son las sísmicas y las volcánicas. Que han causado al pasar de los años pérdidas inimaginables tanto humanas como estructuralmente.

9.2.1.1. Actividad sísmica

La tectónica de Guatemala es el resultado de la interacción de tres placas tectónicas importantes, Norteamérica, Cocos y Caribe, por lo que la amenaza sísmica del territorio está determinada por la actividad de fuentes sísmicas asociadas a diferentes procesos que tienen lugar en los márgenes de dichas placas. Un mapa tectónico general es mostrado en la figura 32. Una de las fuentes principales de sismos es la fosa de subducción, asociada al límite de placas Cocos y Caribe.

Figura 32. Mapa tectónico de Centroamérica



Fuente: metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala.

Dentro de ella cabe distinguir una zona de subducción superficial ($h = 50$ km), localizada a unos 120 km de la costa, donde la placa de Cocos comienza a sumergirse bajo la placa del Caribe, y otra de subducción intermedia y profunda ($h > 50$ km), localizada ya bajo el continente, llegando a profundidades de hasta 250 km. En conjunto, la zona de subducción representa la fuente de los mayores terremotos históricos ocurridos en Centroamérica, incluyendo Guatemala (1917 y 1976) y es la única fuente que tiene dimensiones laterales suficientes para generar un terremoto de magnitud $M_w = 8$ y la más alta frecuencia de eventos de $M_w > 7$ en toda la región.

La segunda gran estructura a considerar es el sistema de fallas Chixoy-Polochic- Motagua, que se extiende desde la costa del Caribe hasta la frontera con México, y está asociado al límite de placas Norteamérica-Caribe. Algunos ejemplos son el sismo de 1976, de $M_w = 7,5$, en la falla de Motagua, o el de 1816 en Chixoy-Polochic, de M_w estimada entre 7,5 y 7,8. Las fuentes mencionadas tienen un potencial sísmico variable, pudiendo producirse en ellas terremotos de diferentes magnitudes máximas y con distintas leyes de recurrencia. Además, la atenuación también varía entre las distintas zonas, y los movimientos que se generan en ellas son de características bien diferenciadas, tanto en amplitud, como en contenido frecuencial y duración.

Teniendo en cuenta los condicionantes que concurren en la amenaza sísmica de la zona, se ha establecido una metodología basada en la definición de escenarios y la estimación independiente de la contribución de cada uno a la peligrosidad del territorio. Dicha metodología tiene por objetivo estimar los espectros de respuesta asociados a los correspondientes movimientos en cualquier punto del territorio, que serán después comparados con los propuestos en el borrador del Código Sísmico de Guatemala (Normas Estructurales de Diseño y Construcción para la República de Guatemala, AGIES NR-1). El fin último es aumentar el conocimiento de la amenaza y establecer criterios sismorresistentes que sirvan de base para la adopción de una normativa en el país.

9.2.1.2. Actividad volcánica

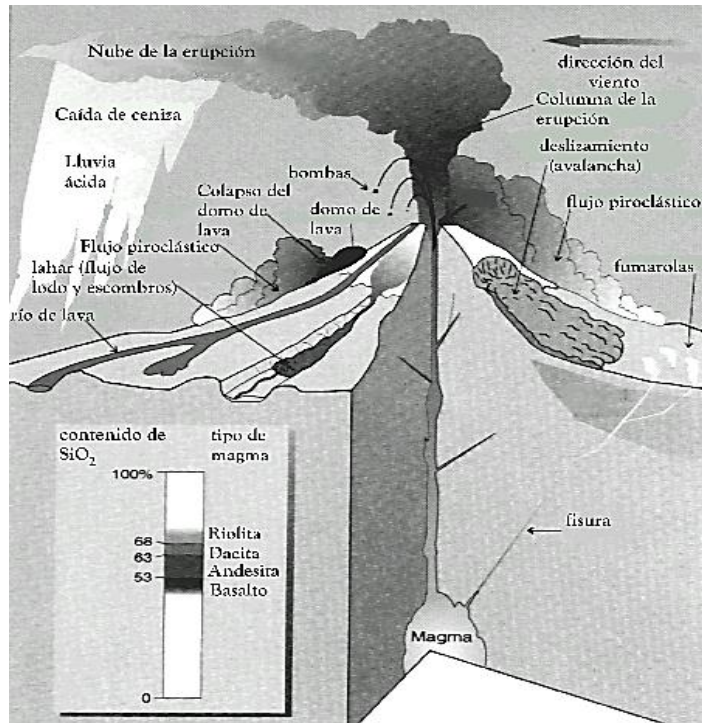
Los volcanes, al igual que los terremotos y la formación de montañas entre otras manifestaciones, tienen su origen en los cambios que ocurren al interior de la Tierra debidos a la forma en la cual ésta libera calor. Por sus propiedades físicas, densidad y comportamiento elástico, la Tierra se divide en: corteza, manto y núcleo. Las propiedades físicas del material (densidad y constantes elásticas) a diferentes profundidades es posible medirlas, indirectamente, por medio del estudio de la propagación de las ondas sísmicas producidas por los terremotos.

La dirección del movimiento relativo y la composición de las placas, oceánicas o continentales dependiendo del tipo de corteza, determinan las características del límite o contacto entre las mismas, que son de tres tipos fundamentales: divergentes o generación de corteza, convergente o destrucción de corteza y transcurrente o conservación de corteza. La situación tectónica para Centroamérica está definida por la interacción de tres placas: Norteamérica, Caribe y Cocos. El tipo de contacto o límite entre ellas es de tipo convergente entre las placas de Cocos y Caribe, y tipo transcurrente entre las placas de Norteamérica y Caribe.

Los principales productos en una erupción son: gases, lava y fragmentos sólidos calientes o en estado incandescente. El tipo de magma y la cantidad de gases son los que determinan el tipo de erupción. Las lavas tienen más o menos los mismos constituyentes y lo que las diferencia y determina, son algunas de sus propiedades (como color y viscosidad), y la cantidad presente de dióxido de silicio SiO_2 . Al aumentar la concentración de éste, aumenta la viscosidad. Las temperaturas medidas en ríos de lava van desde $900\text{ }^\circ\text{C}$ a $1,200\text{ }^\circ\text{C}$. En Guatemala las lavas más fluidas son la del Pacaya, seguidas por las del volcán de Fuego y finalmente las del volcán Santiaguito.

La liberación o expansión de los gases disueltos en el magma, debido a una disminución en la presión, es la fuerza que impulsa el magma hacia arriba. Los principales gases liberados por la actividad volcánica son: vapor de agua (90%), dióxido de azufre SO_2 , monóxido de carbono CO y sulfuro de hidrógeno HS . Las concentraciones de los mismos varían de un volcán a otro, y en un mismo volcán durante las diferentes etapas o fases en una erupción. A todo el material sólido fragmentado de diferente tamaño y forma, que es lanzado durante una erupción, se le denomina en general piroclastos. Los productos volcánicos más frecuentes se muestran en la figura 33.

Figura 33. **Productos de la actividad volcánica**



Fuente: www.insivumeh.gob.gt/geofisica, julio 2011.

Durante la evolución del planeta, el vulcanismo fue la fuente del agua y los gases que dieron origen a los océanos y la atmósfera, ambos vitales para el surgimiento de la vida. Por otra parte, su actividad representa una amenaza o peligro para las poblaciones cercanas. En Guatemala, los volcanes forman una barrera topográfica muy importante, modelan el clima, crean suelos fértiles y son fuentes de recursos minerales y energéticos (Geotermia).

Todo esto ha contribuido a que existan importantes centros de población en sus alrededores. Con el fin de ayudar a disminuir o evitar los daños producto de la actividad de los volcanes, la Unidad de Vulcanología del INSIVUMEH cuenta con sistemas de vigilancia en los volcanes activos y realiza estudios para evaluar los peligros asociados a cada uno de ellos.

La vigilancia o monitoreo consiste en medir en forma constante y sistemática los cambios que ocurren en un volcán. Entre éstos se tiene: la actividad sísmica, la deformación del terreno debida a cambios en la inclinación, hundimiento o elevación del suelo, y los cambios de temperatura y contenido químico en fumarolas, fuentes termales y en los gases liberados. La evaluación del peligro o amenaza volcánica consiste en estudiar la historia eruptiva de cada volcán para conocer comportamiento en el pasado, la frecuencia y tipo de erupciones, distribución, tamaño y propiedades de los depósitos del material expulsado.

CONCLUSIONES

1. El concreto y derivados del cemento son y seguirán siendo los materiales más usados en el siglo XXI, y por lo cual, en la actualidad se requiere racionalizar la producción y mejorar la calidad y durabilidad de éstos, a efecto de obtener el rendimiento socio-económico más alto por metro cúbico de concreto al costo medio-ambiental más bajo.
2. Para entender las características positivas y las áreas de oportunidad de la industria, se debe abordar su evaluación a través del análisis del ciclo de vida del concreto, midiendo los impactos de las materias primas consumidas y la energía incorporada para sus procesos completos. Con miras a mejorar el producto cada vez más.
3. Al pasar de los años la industria del concreto para poder quedarse dentro de un rango aceptable y superior a las demás relacionadas con la construcción, ha debido ampliar y actualizar su tecnología, en materiales, los productos utilizados en la construcción. De esta forma, Guatemala se ha beneficiado con la fabricación y utilización de los mismos, que ya se han considerado como los más comunes y tradicionales utilizados en la construcción.

4. Como se ha podido observar al pasar de los años, existen muchas variables que dentro de la industria y en la rama de la ingeniería se deben considerar al momento de la producción y aplicación de este material de construcción, se debe de integrar obligatoriamente el uso de normas o reglamentos que sean aptos a nivel nacional, ya siendo propios o un equivalente a normas y reglamentos internacionales.
5. En estos últimos años se ha difundido bastante el uso de elementos prefabricados y el concreto premezclado, para distintos usos estructurales, que han representado varias ventajas en tiempo y en economía; y así mismo, se ha ampliado el uso de aditivos o admixturas, para mejorar propiedades tanto del cemento, del concreto fresco y al concreto seco.
6. En la medida que se tenga un mayor conocimiento y conciencia por parte de los profesionales de la construcción, se podrá tener en un futuro estructuras más durables en aquellas áreas de gran agresividad al concreto. Así se pueden optimizar recursos y lograr estructuras con mantenimientos menos frecuentes y costosos a los actuales.
7. Con base en dar respuesta a las necesidades de resistencia y durabilidad de un concreto, fundamentalmente, se hace imprescindible la búsqueda de un material lo más compacto posible. En efecto, la máxima compacidad asegura las mejores propiedades mecánicas y es el mejor agente de cara a conseguir una mayor vida útil en el concreto, lo cual debe lograrse con la mínima cantidad de cemento.

8. Mejorar el ciclo de vida del concreto usando materiales que mejoren su desempeño, como el caso de los complementos y sustitutos del cemento portland, derivados de cadenas de desecho de otras industrias como la de generación de electricidad y la productora de acero. Disminuyendo la necesidad de extracción y haciendo útiles a materias normalmente de desecho.

9. Debido a la problemática ambiental deben surgir respuestas que busquen minimizar su impacto, algo que se puede proponer a través de la introducción de subproductos de origen industrial y agroindustrial, debidamente estudiados y formulados, como componentes de cementos y concretos. De hecho, al incluirlos en matrices cementantes se puede disminuir el consumo de clinker, lo que significa una disminución del gasto energético y por ende de emisiones contaminantes.

RECOMENDACIONES

1. El desarrollo de los nuevos proyectos de ingeniería debe ser integral, es decir, que contemple aspectos técnicos, económicos y ambientales; así como la evaluación del proyecto, la tecnología del concreto y el impacto ambiental. Los retos y desafíos planteados en este trabajo tienen el objetivo de que en el presente y en el futuro se realicen acciones concretas para lograrlos.
2. El desarrollo tecnológico, el control de calidad, reducir el impacto ambiental de la construcción y la economía de recursos, son conceptos que deben entenderse y crear una conciencia real de las acciones y repercusiones por transformar el ambiente de forma inteligente con ingeniería civil bien planeada, con una construcción llevada a buen término, pero sobretodo, con un compromiso social, y elemento clave para resolver este desafío es la educación y capacitación.
3. El reto de la tecnología del concreto es proyectar estructuras de concreto reforzado capaces de lograr vidas útiles superiores a las actuales. En Guatemala se debe impulsar esta investigación y aplicarla en el mediano plazo, con el objetivo a largo plazo de lograr efectivamente un desarrollo sustentable en la infraestructura nacional, y en general, en la industria de la concreto y de la construcción.

4. Es conveniente para el mejor entendimiento del profesional realizar una recopilación actualizada de las normas con relación al concreto utilizadas en Guatemala y de esta manera, seguir integrando la información técnica de las normas con la teoría de los materiales, los métodos constructivos y la cultura.
5. Promover la optimización de recursos a partir del diseño específico de cada elemento para que tengan la forma que corresponde a un trabajo específico, como en la prefabricación.
6. El uso de adiciones y aditivos abre un mundo de posibilidades en las aplicaciones del hormigón, por lo que, ahora y cada vez más, son una buena opción a considerar en cada caso concreto del proceso de dosificación de mezclas.
7. Difundir los trabajos de investigación y los avances tecnológicos en el campo, como medios de vinculación entre las instituciones de enseñanza, las constructoras y en la industria del cemento y el concreto, intentando enriquecer el conocimiento y las prácticas técnicas propias.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGREGUA-AGRECA. [en línea]. <http://www.agregua.com>. [Consulta: junio 2011]:
2. ————. . *Catálogo de productos, Biblioteca de Productos*. Guatemala: AGREGUA-AGRECA, 2009.
3. American Concrete Institute. *Building code requirements for structural concrete. Código ACI 318-08, and commentary (ACI 318R-08)*. USA: ACI, 2008. 471p.
4. ANIPPAC, [en línea]. <http://www.anipacc.org.mx/2005/seccion04>. [Consulta: julio 2011].
5. ARCOS, José. *Prefabricados de hormigón*. España: KRONSA INTERNACIONAL, 2007. 99 p.
6. *Book of Standars, Normas C-33, C-39, C-78, C-91, C-109, C-131, C-150, C-251, C-494, C-595, C-1157, Cement, Concrete and Concrete Aggregates Committees*. USA: ASTM, 2009.

7. AVÁLOS, Marcos; SCHATAN Claudia. *Condiciones de competencia en el contexto internacional cemento, azúcar y fertilizantes en Centroamérica*. México: EGAP, 2004. 94 p.
8. AYALA, Carlos. *La Modernización de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala: Digi-Cifa/Usac, 1996. 53 p.
9. BARRIENTOS Lizbeth. [en línea]. http://www.viajeaguatemala.com/especiales/c_historico/index3.thm. [Consulta: junio 2011].
10. BELTRANENA, Emilio. *La tecnología del concreto en el siglo 21, perspectivas para Guatemala*. Guatemala: ICCG, 2008. 19 p.
11. CARDIM, Arnaldo. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento*. España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos de Barcelona, 2007. 296 p.
12. CEMPRO. *Hoja técnica cemento blanco*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.
13. ————. *Hoja técnica cemento CFB para fabricantes*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.

14. ——— . *Hoja técnica cemento escorpión*. Guatemala: Cementos Progreso, 2006. 1 p.
15. ——— . *Hoja técnica cemento estructural 5800 psi*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.
16. ——— . *Hoja técnica cemento La Cantera*. Guatemala: Cementos Progreso, 2006. 1 p.
17. ——— . *Hoja técnica cemento La Montaña 4000*. Guatemala: Cementos Progreso, 2006. 1 p.
18. ——— . *Hoja técnica #1 cemento UGC*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.
19. ——— . *Hoja técnica #1 cemento Pegablock*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.
20. ——— . *Hoja técnica cemento tipo V*. Guatemala: Cementos Progreso, 2008. 1 p.
21. ——— . *Hoja técnica cemento tropical 4000*. Guatemala: Cementos Progreso, 2006. 1 p.

22. ————. [en línea]. http://www.cempro.com/main.php?id_area=61. [Consulta: junio 2011].
23. ————. *Revista AGROBOSQUES Día del Arbol*. Guatemala: Cementos Progreso, Mayo 2010. 17 p.
24. Cementos Progreso, *Retroperspectivas. Edición especial 100 años*. Guatemala: Cementos Progreso, 2004. 69 p.
25. CEPREDENAC / SICA. *Marco estratégico para la reducción de la vulnerabilidad y los desastres en Centroamérica. Declaración de Guatemala II*. Guatemala: CEPREDENAC / SICA, 1999. 6 p.
26. COGUANOR. [en línea]. <http://www.coguanor.gob.gt/index.php?id=0>. [Consulta: julio 2011].
27. CRESPO ESCOBAR, Santiago. *Materiales de construcción para obra civil*. España: ECU, 2009. 512 p.
28. DÍAZ, O'Reilly. *Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida*. México: IMCYC, 2007. 6 p.
29. ENFEDAQUE, A. *Estudio numérico de la influencia de la unión fibra-matriz en las propiedades Mecánicas del GRC*. España: ETS, 2007. 11 p.

30. GAYNOR, Richard D. *Ready Mixed Concrete*. USA: NRMCA Publication 186, 2003. 10 p.
31. GONZÁLEZ, Carlos; ROMERO, Antonio. *Condiciones generales de competencia en Guatemala*. México: CEPAL, 2006. 57 p.
32. FlixFlowSkin, [en línea]. <http://www.mitecnologico.com/ic/Main/PropiedadesYCaracteristicasDeConcretosEspeciales>. [Consulta: julio 2011].
33. HÄBERER, Hans. *Guía de manejo ambiental para minería no metálica*. Perú: MINEM, 2003. 53 p.
34. HEGGER J; HORSTAMN M; VOSS S, *Ejemplos de aplicación para hormigón armado con fibras textiles*. México: PHI 2008. 53 p.
35. HERNÁNDEZ, O; MENDOZA, C. *Durabilidad e Infraestructura: retos e impacto*. México: UNAM, 2005. 14 p.
36. ICCG. [en línea]. <http://www.iccg.org.gt/>. [Consulta: julio 2011]
37. IMCYC. *Materiales para la Construcción*. México: IMCYC, 2009. 20 p.

38. ISWA. *Manual de formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo*. Basilea: UNEP, 2002. 10 p.
39. LLOPIZ, Carlos Ricardo. *Losas de hormigón armado*. México: Diana, 2001. 467 p.
40. MACROMIX. [en línea]. <http://www.macromix.com.gt>. [Consulta: junio 2011].
41. Ministerio de Energía y Minas, *Caracterización de la minería en Guatemala*. Guatemala: MEM, 2004. 31 p.
42. Mixto Listo, *Hojas técnicas premezclado blanco y premezclado con resistencia a la congelación y deshielo*. Guatemala: CEMPRO, 2008. 4 p.
43. ————. *Hoja técnica premezclado convencional*. Guatemala: CEMPRO, 2008. 3 p.
44. ————. *Hoja técnica premezclado fluido*. Guatemala: CEMPRO, 2008. 2 p.

45. ————. *Hoja técnica premezclado vivienda en serie*. Guatemala: CEMPRO, 2008. 2 p.
46. ————. *Hojas técnicas premezclado para pavimentos molde fijo y deslizable*. Guatemala: CEMPRO, 2008. 2 p.
47. P MOLINA, Enrique. *Metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 2000. 10 p.
48. MONSALVO VÁZQUEZ, Raúl. *La industria del cemento y sus tecnologías*. México: UPIIESA, 2004. 45 p.
49. NESSER. [en línea]. [http:// www.forcogua.com/](http://www.forcogua.com/). [consulta: junio 2011].
50. OLVERA, Alfonso. *El Ferrocemento y sus aplicaciones*. México: Alfa Omega, 2002. 604 p.
51. PAL1970. [en línea]. http://pal1970.blogspot.com/2009/08/puente-el-inciense_06.html [Consulta: junio 2011].

52. PERRIE, Bryan. *Nuevos desarrollos en la tecnología del concreto*. USA: PHI, 2008. 53 p.
53. PreCon. *Especificaciones técnicas, sistema de viga T, muro de contención, columna prefabricada, planchas-losas + molde LK, barrera New Jersey, pilotes*. Guatemala: PreCon, 2009. 27 p.
54. PreCon. [en línea].
<http://www.preconweb.com/precon/cms/index.php?id=2,19,0,0,1,0>.
[Consulta: junio 2011].
55. PROCRETO. [en línea]. <http://www.procreto.guat.ws>. [Consulta: junio 2011].
56. RAPIMIX. [en línea]. <http://rapimix.blogspot.com/>. [Consulta: junio 2011].
57. RODRÍGUEZ, Mario. *Modernos sistemas de concreto prefabricado*. México: UNAM, 2009. 6 p.
58. Revista 35, *Aniversario cultura de Guatemala vol. III*. Guatemala: UFM, 2008. 215 p.

59. SANTAELLA, Luz. *Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo (CCR)*. España: UMNG, 2000. 15 p.
60. TAFUNELL Xavier, *La industria del cemento en Latinoamérica 1900-1930*. España: Universitat Pompeu Fabra, 2003. 61 p.
61. Top Brands, *Cementos Progreso*. Guatemala: indd, 2007. 3 p.
62. _____ .*Mixto Listo*. Guatemala: indd, 2007. 2 p.
63. Tú eres la ciudad, Municipalidad de Guatemala. [en línea]. <http://mu.muniguate.com/index.php/component/content/article/34>. [consulta: junio 2011].