

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE CONCRETO REFORZADO



**TESIS PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA POR
ADOLFO BERNABÉ GARCIA SOLOGAISTOA
AL CONFERIRLE EL TITULO DE
ARQUITECTO
GUATEMALA — JULIO DE 2005.**



FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El concreto reforzado es el sistema constructivo más hermoso que la humanidad ha sabido encontrar hasta hoy. El hecho de poder crear piedras fundidas de cualquier forma, superiores a las naturales porque son capaces de resistir tensiones tiene en sí algo de mágico. (Nervi, P. L.)



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

Decano	Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo
Vocal I	Arq. Jorge Arturo González Peñate
Vocal II	Arq. Raúl Estuardo Monterroso Juárez
Vocal III	Arq. Jorge Escobar Ortiz
Vocal IV	Br. Hellen Denisse Camas Castillo
Vocal V	Br. Juan Pablo Samayoa García
Secretario	Arq. Alejandro Muñoz Calderón

TRIBUNAL EXAMINADOR

Decano	Arq. Carlos Enrique Valladares
Secretario	Arq. Alejandro Muñoz Calderón
Examinador	Arq. Jorge Escobar Ortiz
Examinador	Arq. Edgar Antonio León
Examinador	Arq. Héctor Jiménez

ASESORES TESIS

**Arq. Jorge Escobar Ortiz
Ing. Hugo Galindo**

RECONOCIMIENTOS

- A: **Jehová**
Por su bondad inmerecida hacia mi persona.
- A: **Mi Papá y Mi Mamá,**
Por el amor que me han brindado.
- A: **Flor**
Por todo y por siempre,
- A: **Mis hijas.**
Porque han sido un manantial para mi inspiración.

AGRADECIMIENTO:

Cuando analicé el contenido del presente documento, me di cuenta de que todo el proceso de ejecución, fue una experiencia de recopilación, investigación, análisis y selección de datos, de los aspectos más importantes del concreto reforzado o soporte estructural, teniendo siempre presente lo primordial que es su integración con el diseño arquitectónico. Reflexionando sobre lo anterior y estando consiente que durante ese proceso dependí del trabajo y apoyo de otras persona, pongo de manifiesto mi agradecimiento a los grandes maestros de la Arquitectura e Ingeniería, por su contribución a la historia de Construcción de temas tan importantes en su legado escrito y gráfico, que en el presente caso me ayudaron a desarrollar este Texto.

Así mismo y no menos importante quiero dejar testimonio de mi gratitud a mis maestros y asesores Arq. Jorge Escobar e Ing. Hugo Galindo, quienes me apoyaron, orientándome para incluir el material prioritario de este proyecto escrito. Estoy en deuda con ustedes por sus comentarios y sugerencias.

¡GRACIAS!

INDICE

	Pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN.	10
1. OBJETIVOS	11
1.1.- Objetivo General.	11
1.2.- Objetivos Específicos.	11
2. EL CONCRETO	12
2.1 Que es el concreto	12
2.2 Historia del concreto.	13
2.3 Materiales utilizados en la fabricación del concreto	14
2.3.1 Cemento	15
2.3.1.1. Clasificación.	16
A.1. Cemento Pórtland.	16
A.2. Cementos Siderúrgicos en general.	16
A.2-1- Cemento Pórtland Siderúrgicos.	17
A.2.2. Cemento Pórtland de horno alto.	17
A.2.3. Cemento Siderúrgicos sobre sulfatados.	17
A.3. Cementos Puzolánicos.	17
A.3.1. Cementos de Adición.	18
A.3.1.1. Cementos Siderúrgicos Clinker.	18
A.3.1.2. Cementos de Adición proplamente dicho.	18
A.4. Cementos Naturales.	18
A.5. Cementos Zumaya.	18
A.6. Cementos Aluminosos.	19
A.7. Cementos de bajo contenido en Álcalls.	19
A.8. Cementos de bajo calor de Hidratación.	18
2.3.1.2. Empleo de distintos tipos de Cemento.	20
2.3.2 Agregados	21
2.3.3 Agua	22
2.3.4 Aditivos	23

2.3.4.1.	Aceleradores de fraguado.	23
2.3.4.2.	Aceleradores de endurecimiento.	23
2.3.4.3.	Plastificantes.	23
2.3.4.4.	Alreantes.	23
2.3.4.5.	Plastificantes-alreantes.	24
2.3.4.6.	Impermeabilizantes.	24
2.4	Recomendaciones para el uso de materiales en la fabricación del concreto.	24
2.4.1.	Cemento.	25
2.4.2.	Agua.	25
2.4.3.	Agregado fino	25
2.4.4.	Agregado grueso.	26
2.4.5.	Aditivos.	27
2.4.5.1.	Inclusores de aire.	27
2.4.5.2.	Aceleradores y retardadores del fraguado y reactores de agua.	27
2.5	Dosificación de materiales en la fabricación del concreto.	27
2.5.1.	Determinación de la resistencia media.	28
2.5.2.	Fijación del tamaño máximo del árido o agregado grueso.	30
2.6	Mezclado de materiales en la fabricación del concreto.	30
2.7.	Propiedades del concreto fresco.	35
2.7.1.	Consistencia.	35
2.7.2.	Docilidad.	37
2.7.3.	Homogeneidad.	38
2.7.4.	Densidad.	38
2.8.	Transporte del concreto fresco.	38
2.9.	Colocación del concreto en obra y pasos para alcanzar una fundición ideal.	40
2.9.1.	Fundición.	40
2.9.2.	Consolidación.	41
2.9.3.	Uniformidad.	42
2.9.4.	Juntas de Construcción y Juntas de Contracción y Dilatación.	43
2.9.4.1.	Juntas de Construcción.	43
2.9.4.2.	Juntas de Contracción y Dilatación.	44
2.9.5.	Curado del Concreto.	45
2.10	Encofrados o cimbras.	46
2.11	Tuberías y conductos ahogados en el concreto.	48
2.12	Fundiciones.	48
2.13	Otros usos del concreto.	49
2.14	Acero de refuerzo	50

2.15. Condiciones Generales para que el Concreto y el Acero Trabajen adecuadamente.	53
2.15.1. Adherencia.	53
2.15.2. Longitud de Desarrollo.	54
2.15.3. Ganchos Standard.	54
2.15.4. Adherencia por Flexión.	57
3. IDEA GENERAL DEL PROCESO DE DISEÑO ESTRUCTURAL	58
3.1. Materiales y Especificaciones.	58
3.2. Diseño estructural.	58
3.3. Características que nos presenta el concreto al aplicarle diferentes tipos de carga.	59
3.3.1. Resistencia a la Compresión.	60
3.3.2. Resistencia a la Tensión.	60
3.3.3. Resistencia al Corte.	60
3.3.4. Módulo de Elasticidad.	61
3.3.5. Deformaciones Plásticas del Concreto.	61
3.3.6. Contracciones del Concreto.	61
3.4. Acciones externas a la que se somete una estructura de concreto reforzado.	62
3.5. Análisis de estructuras de concreto reforzado.	62
3.6. Dimensionamiento de elementos estructurales de concreto reforzado.	63
3.7. Resistencia del concreto a distintos tipos de cargas y características que presenta al estar sometido a ellas.	63
3.7.1. Elementos sujetos a Carga axial.	63
3.7.1.1. Compresión Axial.	63
3.7.1.2. Tensión Axial.	67
3.7.2. Flexión Simple.	67
3.7.3. Momento Flexionante y Carga Axial.	70
3.7.3.1. Comportamiento y modos de falla de Elementos sometidos a Flexocompresión.	71
3.7.4. Fuerza Cortante.	71
3.7.5. Torsión.	75
3.7.6. Diseño Elástico y Diseño Basado en la Resistencia a la Ruptura.	78
3.7.7. Factores de Seguridad.	81
4. ESTRUCTURAS Y TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL ADECUADA DE CONCRETO REFORZADO.	82
4.1 Cimientos	84
4.2 Columnas.	86

4.3. Muros de Carga.	86
4.4. Vigas.	86
4.5. Marcos.	89
4.6. Losas.	90
4.7. Bóvedas de Entramado o Laminares.	94
4.8. Sistemas de Cascarones.	96
4.9. Estructuras Laminares o Placas Dobladas.	102
4.10. Sistemas Estructurales de Concreto Reforzado Adecuados para Construcciones Verticales	103
4.11. Ventajas y Desventajas del concreto Reforzado sobre otros materiales.	111
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	113
5.1. Conclusiones.	113
5.2. Recomendaciones.	114
6. CONCEPTOS Y SIMBOLOGIA	116
6.1 Conceptos.	116
6.2 Simbología.	118
7. BIBLIOGRAFÍA	120

RESUMEN

El presente documento de Tesis se elaboró con la finalidad de: alcanzar los objetivos, y por ende la solución al problema; servir de inspiración a nuevos trabajos relacionados al tema; y cumplir con el requisito académico, exigido por la Facultad de Arquitectura.

El mismo contiene tres partes esenciales:

- 1. La primera parte lo constituye el título, “Consideraciones Generales sobre Concreto Reforzado”.**
- 2. La segunda está integrada por el Informe de trabajo de Investigación propiamente dicho, con sus subtítulos, los cuales son un resumen de los mismos. En el numeral 1 se establecen los Objetivos, tanto General como Específicos. En el numeral 2, se describe al Concreto u Hormigón, como un material inerte compuesto de cemento, agua, agregados y aire; así mismo sus características propias y las que adquiere la ahogarse en él, una estructura metálica, donde recibe el nombre de Concreto Reforzado. En el mismo se narra sintéticamente la historia del Concreto y las características de los componentes del mismo, así como de su transporte y de los encofrados o moldes para su consolidación y endurecimiento. En el numeral 3, se describen los materiales y especificaciones para su utilización en el proceso de diseño. De igual manera se puntualiza que es una estructura, las cuales sirven para : para encerrar espacios; para salvar claros o para contener empujes. También se presentan las características acción- respuesta de elementos de concreto; las acciones externas a las que se somete una estructura; el análisis de estructuras de concreto reforzado y los factores de seguridad. El numeral 4 plantea las estructuras de concreto y la manera de fabricarlas, de igual manera presenta la tipología estructural adecuada de Concreto Reforzado, siendo los tipos principales: los cimientos, las columnas; los muros de carga; las vigas, en todas sus formas y dimensiones; los marcos con sus componentes horizontales y verticales; las losas, las cuales pueden ser: planas o inclinadas, y por la forma en que se apoyan pueden ser: losas apoyadas en una dirección y losas apoyadas en dos direcciones; Bóvedas de Entramado o Laminares; sistemas de Cascarones; y Estructuras Laminares o Placas Dobladas. Y por último se indican las ventajas y desventajas del Concreto Reforzado sobre otros materiales.**
- 3. La tercera parte se concreta al numeral 5, en el que se plantean las Conclusiones y Recomendaciones.**

INTRODUCCIÓN

La idea para la elaboración de este trabajo de Tesis, surgió de la falta de un libro de fácil acceso en la facultad de Arquitectura para consultar sobre el concreto reforzado, su teoría, y los aspectos generales del mismo. Sobre esta base su contenido es apropiado y está orientado para introducir al estudiante de la facultad de Arquitectura a los conceptos de concreto reforzado en toda su secuencia, desde los materiales que lo conforman, hasta el soporte estructural en las edificaciones, dando énfasis a la importancia de integrar la estructura al diseño arquitectónico; de igual manera se pretende ayudarlos a adquirir conocimientos y herramientas para entender y resolver problemas relacionados con el concreto reforzado.

Esta información no solo es necesaria para complementar los cursos de mecánica y estructuras, sino servirá de auxiliar para el diseño y ejecución de proyectos arquitectónicos que involucren estructuras o elementos de concreto y concreto reforzado. Por consiguiente se ha hecho con el objeto de tener una visión de las diferentes posibilidades en cuanto a materia de concreto reforzado se refiere.

El mismo no pretende ofrecer fórmulas definitivas, sino considerar básicamente los aspectos generales y los elementos básicos del concreto reforzado, para su aprovechamiento en la fase estudiantil y posteriormente en los procesos de planificación y construcción que conlleven una composición armoniosa y una combinación apropiada de elementos arquitectónicos y estructurales.

Generalmente los componentes que se utilizan en un proceso de diseño (estructura-arquitectura), necesarios en las edificaciones, se abordan por separado, en ese sentido se pretende mediante este trabajo, que el estudiante de arquitectura tenga directrices que hagan congruente ese proceso, tomando en cuenta y de manera integral ambos elementos.

Un arquitecto con vocación para construir tiene la capacidad para crear sus propios proyectos, solo necesita de conocer los diferentes elementos y procesos que conlleva el concreto reforzado, así como los sistemas constructivos para proyectar en concordancia un todo arquitectónico, y tener el control del equipo de diseño en general. Si se crea no solo la apariencia externa que comprenden las edificaciones con sus proporciones, materiales, texturas y colores, sino también se conoce y se sabe cual es el efecto del componente estructural, el diseño arquitectónico puede ser técnicamente superior. Esto quiere decir que cuando los diseños y las construcciones se hacen de la manera adecuada se pueden conjugar de modo armonioso el diseño arquitectónico y la estructura y por consiguiente lograr soluciones artísticamente estructuradas.

“La arquitectura debe tener firmeza (durabilidad estructural), comodidad (funcionalidad) y encanto (belleza)”.
Vitruvio.

1.- OBJETIVOS:

Siendo el Concreto Reforzado la forma de construcción más importante y utilizada en nuestro medio, he considerado conveniente y significativo orientar y plasmar este trabajo de Investigación de Tesis hacia dicho Tema. Por consiguiente los objetivos, tanto de aspecto general como específicos que me han impulsado para la realización del mismo son varios , dichos objetivos los describo a continuación:

1.1.- OBJETIVO GENERAL:

Plantear un esquema general concerniente a lo que es el Concreto Reforzado, sus componentes, sus características principales, y su comportamiento para conjugar de modo equilibrado arquitectura y estructura, y lograr de esta manera, soluciones estéticamente estructuradas.

1.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1.2.1.- Mostrar los pasos que nos lleven a un proceso de diseño estructural, utilizando conocimientos elementales de mecánica.

1.2.2. Presentar, al estudiante de arquitectura, el comportamiento de las estructuras de concreto sujetas a diversas acciones.

1.2.3. Facilitar al estudiante de arquitectura un documento de contenido general del principio de la teoría del concreto reforzado, de fácil acceso y como un medio de aprendizaje en el área de estructuras.

1.2.4. Presentar al Arquitecto-Constructor las propiedades del Concreto Reforzado para una aplicación adecuada en sus proyectos, utilizando las estructuras de concreto como parte importante de un sistema integral que incluye además, las diferentes instalaciones y acabados en los diseños arquitectónicos, logrando con estos conocimientos que el Concreto, incorporado en los diseños arquitectónicos, llegue a su rigidez, resistencia y belleza deseada.

2. EL CONCRETO.

2.1 ¿QUÉ ES EL CONCRETO?

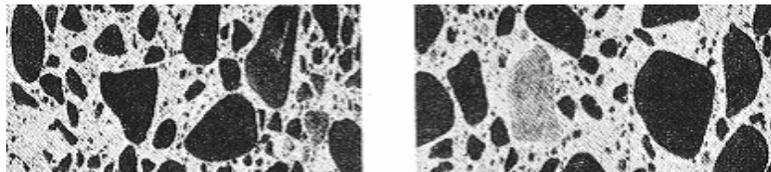
Se llama Concreto u Hormigón, al material artificial utilizado en construcción y que se obtiene de una mezcla de Cemento Pórtland, agua y materiales inertes, unos refinados, como la arena, y otros bastos como el piedrín y/o grava, así como una pequeña cantidad de aire.

El concreto es casi el único material de construcción que llega en bruto a la obra. Este presenta una extensa diversidad de texturas y colores y se utiliza para construir muchos tipos de edificaciones y estructuras, tales como: autopistas, carreteras, calles, banquetas, parqueos, puentes, túneles, presas, muros de contención, pistas de aterrizaje, sistemas de riego, sistemas de canalización, silos, bodegas, factorías, grandes edificios, casas, rompeolas, embarcaderos, muelles e incluso barcos y construcciones submarinas.

Otras características del concreto son su alta resistencia, su costo relativamente bajo y su larga duración. Si se mezcla con los materiales correctos, el concreto puede soportar grandes fuerzas de compresión. Su resistencia a la tensión es baja, pero reforzándolo con acero y por medio de un diseño estructural adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a la tensión como a la compresión.

Cuando se ahoga en el concreto una estructura metálica, de tal modo que ambos materiales, concreto-hierro, actúen juntos para resistir los esfuerzos, recibe el nombre de **CONCRETO REFORZADO U HORMIGÓN ARMADO**, la función principal del concreto es resistir los esfuerzos de compresión, y la función del hierro ó acero de refuerzo es proporcionar la resistencia necesaria, cuando la estructura tiene que soportar los esfuerzos de tensión, tracción o fuerzas longitudinales. En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de varillas de hierro. El hierro que se introduce en el concreto suele ser una malla de alambre o barras de hierro, las cuales pueden ser lisas o corrugadas. El concreto y el hierro forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos.

Su larga duración queda evidente en la conservación de construcciones hechas por los egipcios y romanos hace más de tres mil años.



1

1

Secciones de concreto mostrando pasta de cemento, agregados fino y grueso

Fuente: Instituto de Ingeniería de México.

2.2. HISTORIA DEL CONCRETO.

El Concreto se ha empleado como material estructural desde tiempos remotos. Por ejemplo, en Roma se hacía excelente cemento, combinado de tritus volcánico con cal apagada. Se empleaba tanto en la obra de fábrica como en el concreto que se utilizaba en la construcción de viaductos, edificios y otras obras.

El arte de mezclar y vaciar el concreto en la obra en las épocas antiguas de egipcios y romanos, es el mismo que se utiliza actualmente: vaciando la mezcla en formaletas de madera.

En Inglaterra, en 1,756, John Smeaton, descubre un cemento que fragúa bajo la acción del agua. En 1,842 Joseph Aspden, Inglés, registra la primera patente para la fabricación de un cemento hecho de una mezcla calcinada de caliza y arcilla en ciertas proporciones. Una vez fraguado este producto, tiene el aspecto de la piedra caliza que se explotaba en unas canteras situadas cerca de PÒRTLAND, en la costa sur de Inglaterra, de donde el producto recibió el nombre de *Cemento Pòrtland*. En Estados Unidos se fabricó por primera vez el Cemento Pòrtland en Coplay, Pensylvania en el año de 1,875.

Los romanos fueron probablemente los primeros en emplear el *Concreto Reforzado*, pero de una manera rudimentaria.

Después de la invención del Cemento Pòrtland, no hay datos de que el Concreto Reforzado haya empezado a usarse hasta mediados del siglo XIX. En París, Francois Colnet solicita patente para aplicarlo.

A finales de ese siglo, se empieza a aplicar en la construcción de edificios y estructuras de Ingeniería, y su empleo se generalizó en los siguientes 20 años para la construcción de puentes. La primera construcción con Concreto Reforzado en los Estados Unidos fue hecha por W. E. Ward en 1,875.

En la última década del siglo XIX, se funda la ASTM - American Society for Testing and Materials -, en West Conshohocken, Pennsylvania, USA, Institución que se dedica a la investigación mediante pruebas, de los materiales que se utilizan en la construcción y específicamente reglamenta el uso de materiales usados en la fabricación de concreto reforzado. Posteriormente, en el año de 1,904 se funda el American Concrete Institute, con sede en Farmington Hills, Michigan, USA, Institución que se dedica a normar, para utilizar de mejor forma, el concreto reforzado.

En el transcurso de los últimos años, el empleo del Concreto Reforzado en edificios industriales y comerciales se ha complementado con la construcción de viviendas y edificios públicos.

2.3 . MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO.

Los materiales utilizados en la fabricación del CONCRETO son: pasta de cemento Pórtland, agua y aire, que puede entrar de forma natural y dejar unas pequeñas cavidades o puede introducirse artificialmente en forma de burbujas, y materiales áridos o inertes, los cuales pueden dividirse en dos grupos: materiales finos, como puede ser la arena, y materiales gruesos o bastos, como grava, piedras o escoria.

Se llaman materiales finos si sus partículas son iguales o mas pequeños a 6,4 mm y bastos si son de una tamaño mayor. Según las dimensiones de la estructura que se va a construir, así varía el tamaño de los materiales bastos. En la construcción de estructuras y componentes de pequeño grosor se utilizan materiales con partículas pequeñas, de 6,4 mm. En construcciones de envergadura, como puentes o presas, así como muros de contención, se utilizan piedras de 15 cm de diámetro o más. El tamaño de los materiales gruesos no debe exceder la quinta parte de la dimensión más pequeña de la pieza de concreto que se vaya a construir.

Al mezclar el cemento Pórtland con agua, los compuestos del cemento reaccionan y forman una pasta aglutinadora. Si la mezcla está bien hecha, cada punto de arena y cada fragmento de pedrín o grava quedan envueltos por la pasta y todos los vacíos que existan entre ellos quedarán llenos. Cuando la pasta se seca y se endurece, todos estos materiales quedan ligados formando una masa compacta.

En condiciones normales el concreto se fortalece con el paso del tiempo. La reacción química entre el cemento y el agua, que produce el endurecimiento de la pasta y la compactación de los materiales que se introducen en ella, requiere tiempo. Esta reacción es rápida al principio pero después es mucho más lenta. Si hay humedad, el concreto sigue endureciéndose durante años. Por ejemplo, en condiciones ideales, la resistencia del concreto puede alcanzar 70 kgs/cm² (995 lbs/plg²) al día siguiente de su fundición ; 316 kgs/cm² (4,495 lbs/plg²), una semana después; 420 kgs/cm² (5,973 lbs/plg²), a los 28 días y hasta 590 kgs/cm² (8,391 lbs/plg²), pasados cinco años.

Las mezclas de concreto se describen como una relación entre los volúmenes de cemento, arena y pedrín que se utilizan. Por ejemplo, una mezcla 1:2:3 consiste en una parte por volumen de cemento, dos partes de arena y tres partes de pedrín u otros agregados sólidos. Según su aplicación, estas proporciones se varían para conseguir cambios determinados en sus propiedades, específicamente cuando se quiere variar la resistencia y duración. Estas relaciones cambian de 1:2:3 a 1:2:4 y a 1:3:5. La cantidad de agua que se añade a estas mezclas varía de 1 a 1.5 veces el volumen de cemento. Para lograr un concreto de alta resistencia la cantidad de agua utilizada debe ser baja, sólo la necesaria para humedecer la mezcla. Por consiguiente, cuanto más agua se cargue a la mezcla, será más fácil trabajarla, pero menos resistente será el concreto cuando alcance su fraguado total.

El concreto se puede hacer totalmente hermético y utilizarse para contener agua o resistir la filtración hacia fuera o hacia adentro de la estructura hecha de concreto. De igual forma, se puede utilizar para construir bases

filtrantes, ya que se puede hacer poroso y muy permeable. Del mismo modo puede presentar una superficie lisa y pulida tan suave como el cristal. Si se utilizan agregados pesados, como trozos de acero, se obtienen mezclas densas. También se puede hacer concretos ligeros empleando agregados ligeros especiales y espumas. Estos concretos ligeros inclusive pueden flotar en el agua.

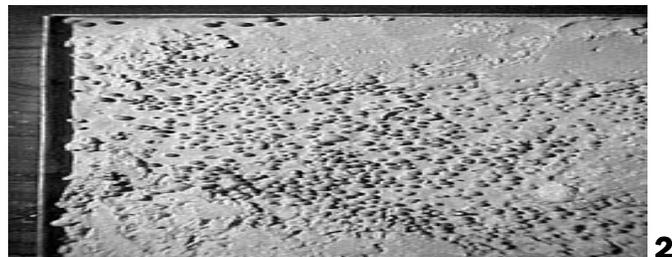
Para pequeños trabajos o reparaciones, la mezcla del concreto se puede hacer a mano, pero sólo las mezcladoras mecánicas garantizan una composición uniforme del concreto. La proporción recomendada para la mayoría de usos a pequeña escala como pisos, aceras, calles, calzadas, patios y piscinas, es la mezcla 1:2:3, o sea una parte de cemento, dos partes de arena y tres partes de pedrín

Cuando la superficie del concreto se ha endurecido necesita un tratamiento especial, ya sea humedeciéndola o cubriéndola con agua o con materiales que retengan la humedad, como: capas impermeables, capas plásticas, sacos húmedos o arena. También hay pulverizadores especiales. Cuanto más tiempo se mantenga húmedo el concreto, será más resistente y durará más.

Cuando hace calor, el concreto ya fundido, debe mantenerse húmedo por lo menos tres días, y en lugares muy fríos no se debe dejar congelar por lo menos, durante la fase inicial de endurecimiento. Para ello se cubre con una lona alquitranada o con otros productos que ayudan a mantener el calor..

2.3.1. CEMENTO:

El cemento es una sustancia de polvo fino, hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua y que se endurece espontáneamente en contacto con el aire.



pasta de cemento

2

Fuente: “*Biblioteca Atrium de la Construcción*”.

2.3.1.1. CLASIFICACIÓN:

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos que, amasados con el agua fraguan, endurecen y son prácticamente estables en contacto con él. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los "Cementos", que se clasifican en: Cementos tipo Pórtland y Cementos especiales, entre los que se encuentran: cementos Siderúrgicos, (cementos Pórtland Siderúrgicos, cementos Pórtland de Horno Alto, cementos Siderúrgicos Sobre-sulfatados), cementos Puzolámicos, (cementos de Adición, cementos Siderúrgicos-Clinker, cementos de Adición Propiamente Dichos), cementos Naturales, cementos Zumaya, cementos Aluminosos, cementos de Bajo Contenido en Álcalis y cementos de Bajo Contenido de Hidratación.

A.1. CEMENTOS PORTLAND:

En la fabricación del cemento se trituran las materias primas mezcladas y se calientan hasta que se funden, formando el "clínquer", que a su vez se tritura hasta lograr un polvo fino.

Los cementos Pórtland son conglomerantes hidráulicos que se obtienen por pulverización del clínquer y sin más adición que la piedra de yeso natural. Se utilizan para todo tipo de construcciones de Concreto y concreto reforzado, y su resistencia es variable. En Guatemala se utiliza el Cemento Pórtland de 4,000 lbs/plg² y 5,000 lbs/plg².



3

A.2. CEMENTOS SIDERÚRGICOS EN GENERAL:

Son conglomerantes hidráulicos preparados con mezclas constituidas fundamentalmente por escoria básica granulada, obtenida de procesos siderúrgicos, clínquer de Pórtland y sulfato cálcico; comprenden las siguientes clases: cementos Pórtland siderúrgicos, cementos Pórtland de horno alto y cementos siderúrgicos sobresulfatados. Al igual que el cemento Pórtland, el uso de estos cementos es general.

3

Fuente: "Biblioteca Atrium de la Construcción".

A. 2.1. CEMENTOS PORTLAND SIDERÚRGICOS:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos por mezcla de clínquer de cemento Pórtland en proporción de un 70% en peso, y el 30 % restante, escoria granulada y sulfato cálcico.

A.2.2. CEMENTOS PORTLAND DE HORNO ALTO:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos por mezcla de clínquer de cemento Pórtland en proporción de 30% a 70% en peso, siendo el resto escoria granulada y sulfato cálcico.

A.2.3. CEMENTOS SIDERÚRGICOS SOBRESULFATADOS:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos por mezcla de escoria granulada y sulfato cálcico en proporción tal que, el producto resultante contenga del 5 % al 12% de trióxido de azufre, y con una adición de cal, clínquer de Pórtland o cemento Pórtland, en cantidad total no superior al 5%. Debido a su bajo contenido de óxido de hierro, como el cemento La Farge y el Cemento Blanco, no manchan, pero por su costo, a pesar de que tienen alta resistencia, se utilizan para trabajos finos de arquitectura y en acabados.



4

A.3. CEMENTOS PUZOLANICOS:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos de la mezcla de una puzolana y clínquer de cemento Pórtland, con la adición eventual de yeso o anhídrita para regular su fraguado. Estos se emplean en obras de poca importancia, como fundiciones bajo tierra donde no este expuesto a la acción del aire corrientes de agua. Son de color lila pálido, de fraguado y endurecimiento lentos y no desarrollan alta resistencia.

Se entiende por puzolana, *el producto natural de origen volcánico que es capaz de fijar cal a la temperatura ambiente y formar compuestos de propiedades hidráulicas.*

4

A.3.1.CEMENTOS DE ADICIÓN:

⁴ Fuente: “Biblioteca Atrium de la Construcción”.

Son conglomerantes hidráulicos, cuyas resistencias mecánicas, regularidad y homogeneidad pueden ser inferiores a las de los anteriores. Los cementos de adición comprenden las siguientes clases: cementos siderúrgicos-clínquer y de adición propiamente dichos. Se utilizan en obras de poca importancia.

A.3.1.1. CEMENTOS SIDERÚRGICOS-CLINQUER:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos de la mezcla de escoria granulada y clínquer, en proporción mayor de 70% de escoria, siendo el resto clínquer y sulfato cálcico.

A.3.1.2. CEMENTOS DE ADICIÓN PROPIAMENTE DICHOS:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos de la mezcla de clínquer con otras materias que pueden ser inertes o tener propiedades hidráulicas.

A.4. CEMENTOS NATURALES:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos por pulverización de margas calcinadas, con adición posterior de un 5% como máximo, de sustancias no nocivas. Fragan más rápido que los Pórtland, pero más lentos en aumentar su resistencia; su color varía de amarillo pálido a pardo oscuro. Se recomienda para utilizarlos en obras en masa y cajas de seguridad.

A.5. CEMENTOS ZUMAYA:

Los cementos de tipo Zumaya, son conglomerantes hidráulicos resistentes al agua de mar, de fraguado rápido, obtenidos por calcinación de margas, sin adición alguna en crudo ni en frío, análogos a los fabricados en la región cementera de Zumaya. Se recomiendan para construcciones en el mar y fundición de pilotes. En Guatemala tenemos el cemento Tipo V.

A.6. CEMENTOS ALUMINOSOS:

Son conglomerantes hidráulicos obtenidos por fusión de una mezcla de materiales aluminosos y calizos, con un contenido total de Al_2O_3 de 32% como mínimo. Estos Cementos se les denomina también Cementos Rápidos, ya que a las 24 horas alcanzan la resistencia del Pórtland a los 28 días. Se recomiendan para la construcción de carreteras de concreto y para estructuras de concreto en tiempo muy frío. No se recomiendan para grandes estructuras, ya que por la cantidad de calor que generan, pueden formar grandes grietas.

A.7. CEMENTOS DE BAJO CONTENIDO EN ÁLCALIS:

Se entiende como tales todos los cementos a los que se refiere el “Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos”, que además de cumplir las condiciones ya mencionadas para cada uno de ellos, tengan un contenido total de óxido sódico y óxido potásico inferior al 0.60% expresados ambos como óxido sódico.

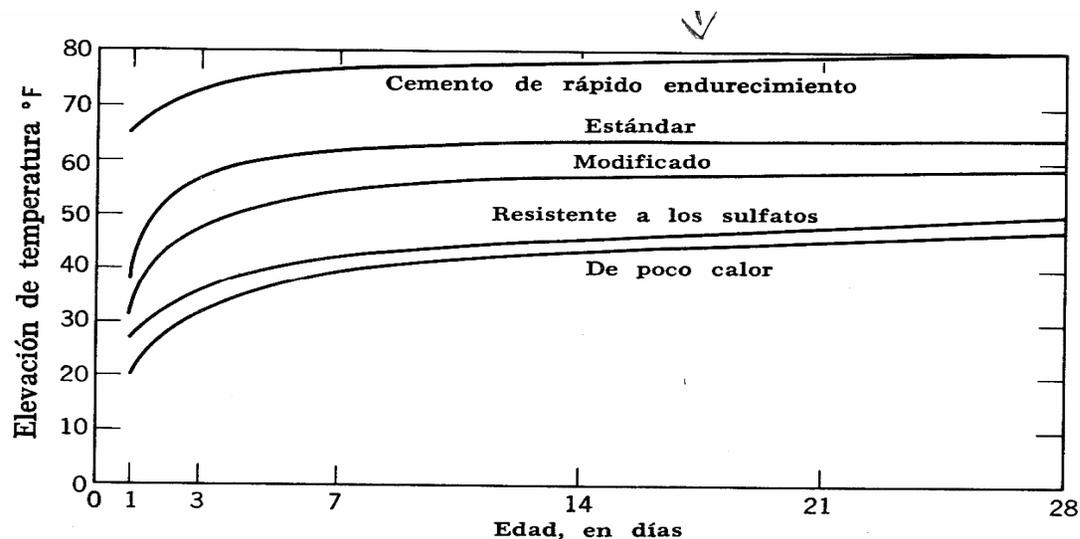
A.8. CEMENTOS DE BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN:

Se entiende como tales todos los cementos que además de cumplir las condiciones mencionadas para cada uno de ellos, no presenten un calor de hidratación superior a 65 y 75 calorías/gramo a los 7 y 28 días, respectivamente.

En general, las características y propiedades del cemento están íntimamente ligadas con su composición química y a su constitución potencial, es decir, a los compuestos químicos del cemento y al estado físico-químico en que se encuentren. Los cuatro principales componentes del cemento son: de carácter básico la cal; y de carácter ácido la sílice, la alúmina y el óxido férrico.

Las características físicas y mecánicas más importantes de los cementos son:

- **Finura de molido,**
- **peso específico,**
- **fraguado,**
- **expansión, y**
- **resistencias mecánicas.**



Elevación de temperatura en el CONCRETO
con los diferentes tipos de cemento, cuando no se pierde calor. (5)

2.3.1.2.. EMPLEO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CEMENTO:

Como norma general diremos que para concreto armado podrán emplearse los cementos Pórtland mencionados en la norma 318-71 del ACI. Así mismo, deben considerarse las siguientes limitaciones:

- No deben mezclarse dos cementos de distinto tipo o clase.
- No se emplearán los cementos con temperatura superior a la normal.
- No deben emplearse los cementos Pórtland en obras que tengan que estar expuestas a acciones químicas agresivas

⁵

2.3.2. AGREGADOS:

⁵ Fuente: "Teoría Elemental del Concreto Reforzado"

Estos constituyen del 60 al 80 por ciento del volumen del concreto. Como áridos ó materiales inertes, ya sea finos o gruesos, pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de la trituración de piedra que reúnan en igual o superior grado, las características que se le exijan al concreto diseñado ó proyectado. No conviene emplear áridos que procedan de rocas calizas blandas, ya que son solubles y expuestas a fisuras por acciones del agua; feldespatos, porque son rocas cristalizadas de color blanco o rosa, que expuestas al agua se descomponen lentamente, quedando convertidas en base arcillosa; yesos, por ser solubles al agua; piritas, por ser rocas escamosas que tienden a resquebrarse; rocas friables, por ser rocas con muchas fisuras que tienden a desmoronarse; y ni rocas porosas, por tener poca resistencia.

El tamaño nominal máximo del agregado, como se dijo anteriormente, no será de más de un quinto de la separación menor entre los lados de la cimbra, de un tercio del peralte de la losa, o de tres cuartos del espaciado mínimo libre entre varillas individuales de refuerzo.

En cuanto a las arenas a utilizar, son mejores las provenientes de ríos, a las extractadas de minas y pueden emplearse en concreto armado, previo lavado con agua dulce.

Con áridos triturados pueden obtenerse concretos más resistentes debido a que la pasta de cemento se adhiere mejor a la piedra por tener la superficie más rugosa. Los áridos deben estar exentos de sustancias perjudiciales tales como, arcillas, limos y materias orgánicas. La forma del grano tiene influencia en la calidad del concreto. Las piedras partidas se acuñan y pueden dejar huecos de no hacerse un asentado enérgico, se necesitará más cantidad de agua para su amasado y colocación, que con piedras de cantos rodados.

La humedad de los áridos tiene mucha importancia en la dosificación de concretos. Al dosificar el agua de amasado de un concreto es necesario tener en cuenta la humedad de los áridos. La densidad de un árido es una buena medida de su calidad; una baja densidad suele corresponder a áridos poco resistentes y porosos.

En el estudio de los concretos se emplea el peso específico real, el elemental y el aparente. *Peso específico real* es la relación entre el peso de una muestra de árido seco y el volumen de la parte sólida de la misma. *Peso específico elemental* es la relación entre el peso de una piedra seca y el volumen elemental o total de la misma. *Peso específico aparente o peso del litro* es la relación entre el peso de una muestra de árido seco y su volumen aparente (varía con la forma del recipiente).

Un concreto será tanto más resistente cuanto mayor sea la compacidad o densidad del árido empleado. *Compacidad* es la relación entre volumen real y volumen aparente de una muestra de árido.



arena



pedrín de 3/4"

(6)



pedrín tamaño variado



pedra para concreto ciclópeo (6)

2.3.3. AGUA:

El agua de amasado y curado no debe contener sustancias perjudiciales en cantidades como para alterar el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto, ni disminuir con el tiempo las condiciones útiles exigidas al mismo; pueden utilizarse todas las aguas que por sus caracteres físicos y químicos sean potables. El agua de mar no debe emplearse en el amasado cuando los concretos van armados. En ningún caso se empleará el agua del mar para curado del concreto.

Aparte de la calidad, la cantidad de agua tiene una influencia decisiva en las características del concreto. El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, jabones, material orgánico, u otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto, o al acero.

6

⁶ Fotos tomadas por el autor.

2.3.4. ADITIVOS:

Se llaman Aditivos o Adiciones a aquellos productos que se incorporan al concreto con objeto de facilitar su preparación y puesta en obra, de regular el proceso de fraguado y endurecimiento, o bien de mejorar algunas de sus características.

Existen productos de adición como aceleradores, plastificantes, aireantes, impermeabilizantes y otros.

2.3.4.1. ACELERADORES DE FRAGUADO:

Entre los aceleradores de fraguado clásicos está el carbonato sódico, cuya dosificación conviene determinar en cada caso, y debe tenerse en cuenta que en pequeñas proporciones, actúa más bien como retardador. Estos no deben emplearse en concreto armado.

2.3.4.2. ACELERADORES DE ENDURECIMIENTO:

El empleo de éstos tiene por objeto reducir el tiempo de desmoldeo o desencofrado; pueden emplearse aceleradores como los carbonatos alcalinos y sulfato sódicos.

2.3.4.3. PLASTIFICANTES:

Los plastificantes son productos de adición que aumentan la ductilidad y trabajabilidad del concreto. Las características que les comunican al concreto son las siguientes:

- **Aumenta la plasticidad de las masas.**
- **Disminuye la tendencia que tienen los áridos gruesos a segregarse durante el transporte del concreto.**
- **Aumenta la ductilidad y, por consiguiente, mejora la facilidad de puesta en obra.**
- **Existe la posibilidad de reducir la cantidad de agua de amasado, para igual ductilidad.**
- **Posibilita un incremento a la resistencia del concreto como consecuencia de la reducción de agua.**
- **Posibilita obtener concretos más baratos, con igual ductilidad, al poder disminuir la cantidad de cemento.**
- **Aumenta la adherencia de concreto a las armaduras.**
- **Aumenta la densidad del concreto.**

2.3.4.4. AIREANTES:

Los agentes aireantes incluyen en la masa de concreto infinidad de burbujas de aire uniformemente repartida y que hacen aumentar la resistencia de los concretos a las heladas y agentes agresivos, resultando más Impermeables. Los agentes empleados son productos orgánicos tales como, resinas o aceites sulfonados. Las características de los concretos aireados son las siguientes:

- **Son más dóciles y trabajables, debido a la acción lubricante de las burbujas de aire**
- **Disminuyen la tendencia a la regresión de los áridos gruesos.**
- **Son más Impermeables.**
- **Tienen resistencia a las heladas.**
- **Tienen mayor resistencia a los agentes agresivos como consecuencia de ser más impermeables.**

Frente a éstas ventajas, los concretos aireados presentan los siguientes Inconvenientes:

- **Tienen menor densidad y menor resistencia mecánica.**
- **En los concretos aireados aumentan algo la retracción.**

2.3.4.5. PLASTIFICANTES - AIREANTES:

Pueden emplearse plastificantes y aireantes simultáneamente siempre que no reaccionen entre sí. Con el empleo de los plastificantes-aireantes pueden obtenerse concretos de más durabilidad, más trabajables y más resistentes que los concretos ordinarios.

2.3.4.6. IMPERMEABILIZANTES:

Existen los impermeabilizantes de masa y los de 'superficie', para el tratamiento posterior de los paramentos de la obra de concreto a impermeabilizar. Los impermeabilizantes de masa no son recomendables debido a las alteraciones que puedan producir en el concreto.

2.4. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE MATERIALES EN LA FABRICACION DEL CONCRETO.

Para la fabricación del concreto cada componente tiene que seguir ciertas recomendaciones:

2.4.1 CEMENTO

De acuerdo a los requerimientos del ASTM C-150, se usará cemento Pórtland Tipo I.

Cemento Pórtland



7

2.4.2. AGUA

El agua para el concreto será fresca y limpia, libre de aceite, ácidos, álcalis, materia orgánica u otra sustancia nociva.

2.4.3. AGREGADO FINO

Debe cumplir las especificaciones ASTM C-3. Debe ser arena de río lavada, sus granos deben pasar tamiz de 3/8" y del 30% al 50%, pasar al tamiz No.4. No debe contener sustancias nocivas e impurezas orgánicas. Cuando estas impurezas originen un color más oscuro que el normal aprobado en una muestra representativa, será causa suficiente para que sea rechazado.

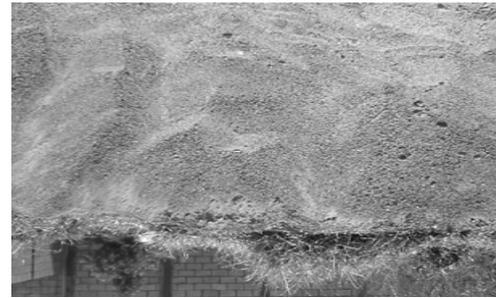
7

Fuente: "Biblioteca Atrium de la Construcción".

agregados finos



arena de río



arena de mina

(8)

2.4.4. AGREGADO GRUESO

Puede ser de grava limpia o roca triturada que se ajuste a los requerimientos ASTM C-33. Se recomienda que tenga una dimensión mínima de $1\frac{1}{2}$ " para cimientos y $\frac{3}{4}$ " para piezas estructurales. El agregado estará exento de álcalis solubles en agua y sustancias que puedan causar expansión en el concreto a causa de su reacción con los álcalis del cemento.



grava de río



pedrín

(8)

8

⁸ Fotografías tomadas por el autor.

2.4.5. ADITIVOS

Entre los aditivos se encuentran los inclusores de aire y los aceleradores y retardadores de fraguado.

2.4.5.1. INCLUSORES DE AIRE:

Los inclusores de aire deben cumplir con las especificaciones del ASTM C-160.. La presencia de burbujas de aire aporta propiedades favorables al concreto, tanto cuando está fresco como cuando se ha endurecido. Cuando está fresco y recién mezclado las burbujas de aire actúan como lubricante; hacen la mezcla más manejable por lo que reducen la cantidad de agua necesaria para hacerla. Este sistema de aire también reduce la cantidad de arena necesaria

2.4.5.2. ACELERADORES O RETARDADORES DE FRAGUADO Y REACTORES DE AGUA.

Los acelerantes o retardantes de fraguado y reactores de agua deben cumplir las especificaciones ASTM - 494.

2.5. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO.

La dosificación es la determinación de las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos, así como la composición granulométrica de éstos para obtener un concreto de cierta resistencia y docilidad conveniente, para la forma de colocación que se vaya a utilizar. Al confeccionar un concreto debemos tener en cuenta tres factores fundamentales: resistencia, docilidad y compacidad. La resistencia requerida va a depender de la relación agua / cemento y de la duración y calidad del curado, así como del tipo de agregado; debido a la diferencias de los agregados y en menor grado a los cementos, mezclas con las mismas proporciones producen, a veces, resistencias menores, por lo que hay que disminuir la relación agua / cemento. La docilidad o manejabilidad del concreto es importante para que el concreto al endurecer no presente agujeros o ratoneras. Para alcanzar una buena compacidad es conveniente un buen proceso de mezclado.

La marcha a seguir para dosificar un concreto puede ser la siguiente:

- **Fijar la resistencia del concreto que proyectamos y determinar la resistencia media correspondiente.**
- **Determinar la relación agua/cemento que corresponde a la resistencia media del concreto.**
- **Fijar el tamaño máximo del árido, según las dimensiones de los encofrados, ó la separación de armaduras.**
- **Estudiar la consistencia más conveniente del concreto.**
- **Determinar la proporción en que han de mezclarse los áridos de que disponemos.**
- **Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarios para obtener un metro cúbico de concreto.**

- Efectuar pruebas para comprobar si el concreto obtenido tiene las características deseadas.

2.5.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MEDIA

La dosificación de los ingredientes del concreto deberá suministrar el cumplimiento de los requisitos de la prueba de resistencia y la trabajabilidad y consistencia adecuadas para permitir que el concreto se trabaje fácilmente.

La dosificación deberá establecerse sobre la base de pruebas de tanteo en el laboratorio, o de la experiencia de campo con los materiales por emplear. Las proporciones deben seleccionarse para producir una resistencia promedio a la edad de prueba designada.

RELACION AGUA / CEMENTO MAX. PERMISIBLE PARA CONCRETO				
Resistencia a compresión Especificada $f'c$ (kg/cm ²)	Concreto sin inductor de aire		Concreto con inductor de aire	
	Relación Absoluta por Peso	Lbs. por saco de cemento	Relación Absoluta por Peso	Lbs. por saco de cemento
175	0.65	32.40	0.54	27.00
210	0.58	29.30	0.46	23.00
245	0.51	25.70	0.40	20.00
280	0.44	22.20	0.35	17.70
315	0.38	19.10	0.30	15.10
350	0.31	15.50	0.00	0.00

9

⁹ Fuente: "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", México, 1996.

La dosificación de mezclas de concreto para resistencias mayores de 300 kg/cm² con inclusor de aire, debe basarse en la Sección 4.2.2. ó 4.2.3, del Reglamento del ACI 318-99

RELACIONES AGUA-CEMENTO MAXIMAS PERMISIBLES PARA EL CONCRETO

Resistencia a la Compresión Especificada a los 28 días, f'c lb/plg. ²	Relación Agua-Cemento permisible Máximo			
	Concreto sin Aire incluido		Concreto con Aire incluido	
	Gals. De agua Por saco de Cemento	Relación Absoluta En Peso	Gals. De agua Por saco de Cemento	Relación Absoluta En Peso
2,500	7.25	0.642	6.25	0.554
3,000	6.50	0.576	5.25	0.465
3,500	5.75	0.510	4.5	0.399
4,000	5.00	0.443	4.00	0.354

10

CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS TAMAÑOS DE AGREGADO GRUESO		
Tamaño máximo nominal del agregado grueso Milímetros	Tamaño máximo nominal del agregado grueso Pulgadas	Contenido de aire total por volumen
10	3/8"	6 A 10
13	1/2"	5 A 9
20	3/4"	4 A 8
25	1"	3.5 A 6.5
40	1 1/2"	3 A 6
50	2"	2.5 A 5.5
75	3"	1.5 A 4.5

10

10

¹⁰ Fuente: "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", México 1996.

2.5.2. FIJACIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO O AGREGADO GRUESO.

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menos agua necesitaremos para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie a mojar será menor. Como consecuencia, podemos reducir la cantidad de cemento y el concreto será más económico para la misma resistencia. En lo que respecta al tamaño máximo del agregado a utilizar en cualquier concreto, este será el que ya mezclado con el cemento, agrado fino y agua, produzca una mezcla que se pueda introducir con facilidad en las esquinas, aristas de la formaleta, y pase con facilidad entre las varillas de hierro de refuerzo, sin permitir la separación de los materiales o que se deposite un exceso de agua libre en la superficie

Para concretos hechos con agregados de peso normal, la relación agua/cemento no deberá exceder el 53% del peso total de la mezcla.

El concreto que se pretenda que sea impermeable y esté hecho con agregado de peso normal, debe tener una relación agua/cemento máxima de 0.48, si va a estar expuesto al agua dulce y de 0.44 para exposiciones de agua de mar.

La resistencia definida a la compresión $f'c$ del concreto hecho con agregado ligero debe ser de por lo menos 260 kg/cm² si va a estar expuesto al agua dulce, y de 280 kg/cm² para exposiciones al agua de mar

2.6 . MEZCLADO DE MATERIALES EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO.

Una vez estudiada la dosificación más conveniente para preparar la masa de concreto, hay que medir los materiales. EL agua se mide en volumen; el cemento y los áridos, en peso; si bien estos últimos pueden dosificarse también en volumen para obras de poca importancia. Antes de que el concreto esté fundido, todo el equipo de mezclado y transporte de concreto deberá estar limpio, deberán retirarse todos los escombros, las cimbras deberán estar adecuadamente revestidas, las unidades de relleno de mampostería que van a estar en contacto con el concreto estarán bien humedecidas, y el refuerzo deberá estar completamente libre de óxido, ó revestimientos perjudiciales. El agua deberá retirarse del lugar de depósito antes de que el concreto se funda.

Cuando la fundición sea sobre concreto "viejo", la superficie del concreto endurecido debe estar libre de finos o de material defectuoso antes de agregar concreto adicional.

El amasado se efectuará en "mezcladoras" y se recomienda verter los materiales en el orden siguiente:

- **Una parte de la dosis de agua**
- **El cemento y la arena simultáneamente**
- **El árido grueso**

- El resto de agua.

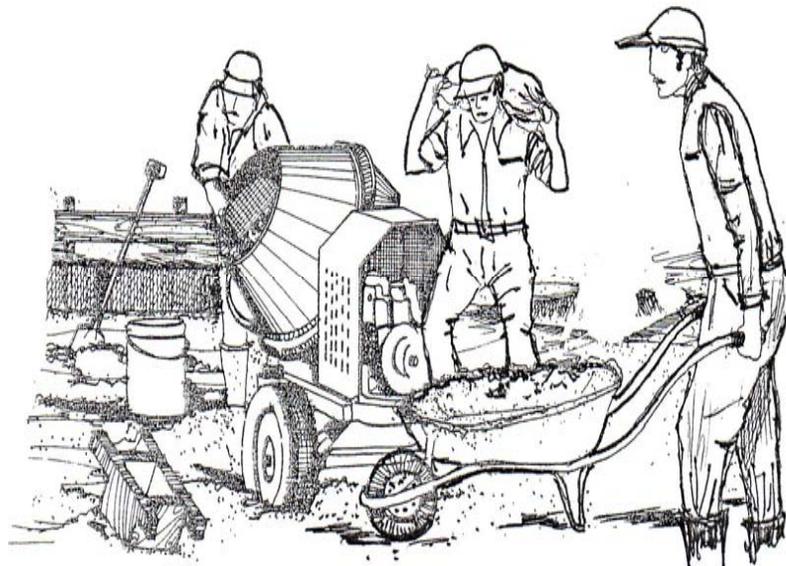
Todo concreto deberá mezclarse hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales, y deberá descargarse completamente antes de que vuelva a cargarse el mezclador. Para el concreto mezclado en obra, el mezclado deberá hacerse en una mezcladora del tipo aprobado. La mezcladora deberá hacerse girar a la velocidad recomendada por el fabricante, y el mezclado deberá continuarse por lo menos durante 1½ minutos después de que todos los materiales estén dentro del tambor. El concreto de una calidad uniforme y satisfactoria requiere que los materiales se mezclen totalmente. Los tiempos de mezclado excesivamente prolongados pueden estropear los agregados, por lo que deben evitarse.



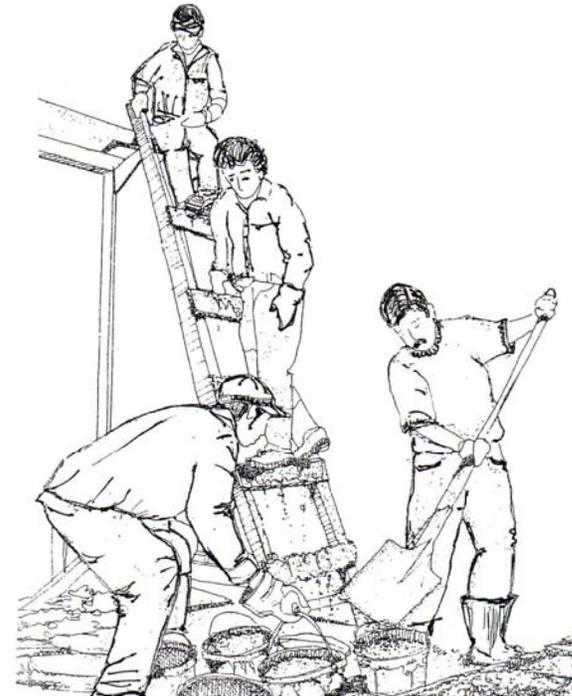
Concreto premezclado (11)

11

¹¹ Foto proporcionada por Mixto Listo



Concreto hecho con mezcladora o concretetera (12)



Concreto hecho con pala (12)

CANTIDADES DE MATERIALES
POR METRO CUBICO DE CONCRETO

CANTIDAD DE MATERIALAES POR METRO CUBICO DE CONCRETO Cuando se emplea agregado grueso de 1 1/2" -2"							
CEMENTO SACOS X METRO CUBICO	ARENA EN KG.	ARENA EN METROS CUBICOS	PIEDRA EN KG	PIEDRA EN METROS CUBICOS	AGUA EN LITROS POR SACO	RESISTENCIA A LA COMPESION	PROPORCION EN PESO
6.00	878.00	0.75	1030.00	0.74	26.50	126.55	1 : 3.43 : 4.03
6.50	827.00	0.63	1052.00	0.75	25.74	140.61	1 : 2.98 : 3.79
7.00	776.00	0.55	1072.00	0.77	24.60	176.76	1 : 2.60 : 3.59
7.50	731.00	0.52	1097.00	0.78	23.57	211.92	1 : 2.29 : 3.43
8.00	691.00	0.49	1128.00	0.81	21.91	246.07	1 : 2.03 : 3.31
8.50	647.00	0.46	1151.00	0.82	20.82	281.22	1 : 1.79 : 3.18

(13)

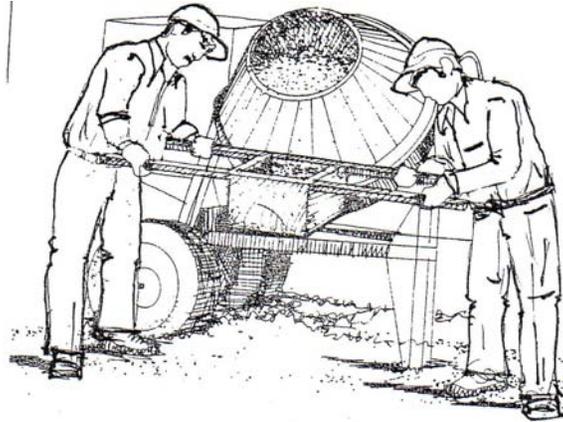
13

Fuente: Especificaciones Generales y Técnicas para Construcción del Ministerio de. Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.

CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO Cuando se emplea agregado grueso de 3/4"							
CEMENTO	ARENA	ARENA	PIEDRA	PIEDRA	AGUA EN	RESISTENCIA	PROPORCION
SACOS X	EN	EN	EN	EN	LITROS	A	EN
METRO	KILO-	METROS	KILO-	METROS	POR	LA	PESO
CUBICO	GRAMOS	CUBICOS	GRAMOS	CUBICOS	SACO	COMPRESIÓN	
6.00	916.00	0.65	992.00	0.70	27.25	105.46	1 : 3.58 : 3.88
6.50	864.00	0.62	1014.00	0.72	26.50	126.55	1 : 3.12 : 3.66
7.00	813.00	0.58	1035.00	0.74	25.74	162.71	1 : 2.72 : 3.47
7.50	768.00	0.55	1060.00	0.76	24.60	176.76	1 : 2.40 : 3.32
8.00	729.00	0.52	1092.00	0.78	22.71	211.92	1 : 2.13 : 3.20
8.50	683.00	0.49	1114.00	0.80	21.20	246.07	1 : 1.79 : 3.18

Fuente: Especificaciones Generales y Técnicas para Construcción del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.

En obras importantes es conveniente emplear instalaciones dosificadoras automáticas y efectuar un control periódico de los materiales, lo que nos proporcionará concretos más uniformes. Si no es posible se dosificará utilizando cubos de madera de 1 pie³. Así mismo se utilizarán 12 carretillas de 11 paladas c/u para 1M³ de arena y 12 caretilas de 10 paladas c/u, para 1M³ de piedrín.



Dosificación de materiales en obra, por medio de un cubo de 1 pie³ (14)

2.7 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Entre las propiedades del concreto fresco u hormigón podemos citar, como más importantes, la consistencia, la docilidad, la homogeneidad y la densidad.

2.7.1. CONSISTENCIA:

Es la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse, y varía dependiendo de una serie de factores, entre los que podemos citar: la cantidad de agua de amasado, la granulometría y forma de los agregados y el tamaño máximo de los mismos.

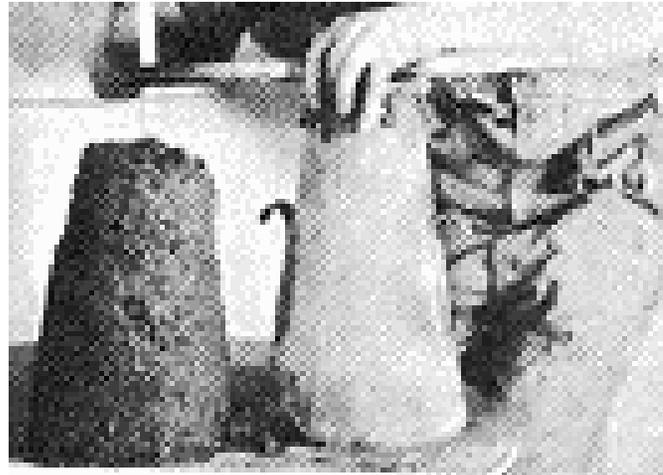
Existen varios procedimientos para determinar la consistencia del concreto, siendo los más importantes el cono de Abrams o prueba de Revenimiento y la mesa de sacudidas.

14

¹⁴ Fuente: Dibujo elaborado por el autor.

EL CONO DE ABRAMS:

Es un molde troncocónico que se rellena con el concreto a ensayar mediante un método normalizado. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca de concreto una vez desmoldada, nos da idea de la consistencia de la misma.



Prueba de Revenimiento (15)

LA MESA DE SACUDIDAS:

Como su nombre indica, sirve para someter a una masa de concreto fresco y forma determinada, a una serie de sacudidas normalizadas y medir el escurrimiento experimentado.

Ninguno de estos procedimientos es adecuado para concretos muy secos. Tampoco deben usarse cuando el tamaño máximo del árido sea superior a 4 mm, en cuyo caso es necesario tamizar previamente el árido por el cedazo de dicha abertura y prescindir del material retenido.

Los concretos se clasifican, por su consistencia en:

- **secos,**
- **plásticos,**
- **blandos y**
- **fluidos.**

CONSISTENCIA DE LOS CONCRETOS						
CONSISTENCIA	Escurrimientos límites en %			Asiento en CMS.		
Seca	0	a	40	0	a	2
Plástica	40	a	70	2	a	5
Blanda	70	a	100	5	a	11
Fluida	100	a	130	11	a	20

¹⁶

La consistencia puede mejorarse, sin necesidad de aumentar el agua de amasado, mediante el empleo de plastificantes.

Para certeza del ejecutor en que se esta llevando a cabo una buena ejecución del proyecto, es necesario que tanto los materiales como el concreto utilizados en el mismo, sean sometidos a las pruebas, conforme a las normas establecidas.

2.7.2 DOCILIDAD:

La docilidad, puede considerarse como la aptitud de un concreto para ser empleado en una obra determinada, o sea que, debe tenerse una adecuada trabazón, y facilidad para eliminar los agujeros de su masa.

La docilidad depende:

- **De la cantidad de agua de amasado.**
- **De la granulometría de los agregados.**

¹⁶ Fuente: Pórtland Cement Assn

- De la forma de los áridos, ya que la docilidad es mayor para áridos redondeados que para los procedentes de machaqueo.
- De la cantidad de cemento, en vista que la docilidad aumenta con la cantidad de cemento, y
- La docilidad puede aumentarse mediante el empleo de plastificantes.

2.7.3 HOMOGENEIDAD:

La masa de concreto debe ser homogénea, para lo cual la mezcla debe efectuarse lo mejor posible, y se cuidará que durante el transporte, no se produzcan segregaciones de los agregados gruesos.

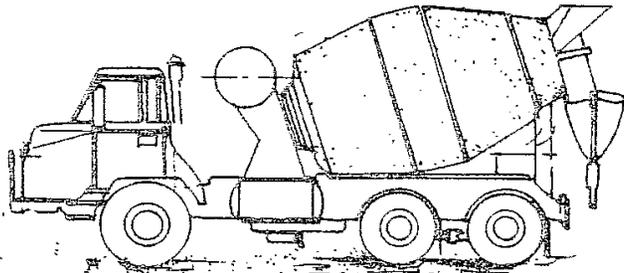
Así mismo debe controlarse la cantidad de agua, ya que aumenta el peligro de segregación al aumentar innecesariamente el contenido de agua, de igual manera hay que controlar el tamaño máximo del agregado, ya que se segregan con más facilidad los áridos gruesos. Otro factor que hay que evitar al máximo son las vibraciones y sacudidas durante el transporte.

2.7.4 DENSIDAD:

Un factor muy importante para la uniformidad del concreto en el transcurso de una obra, es el peso del concreto fresco, es decir la relación entre, los volúmenes de cemento, arena y pedrín utilizados; ésta relación, además de darnos la densidad, y por consiguiente el peso del concreto fresco, nos proporciona su resistencia. Por ejemplo, una mezcla 1:2:3 , como ya se indicó, indica una parte por volumen de cemento, dos partes de arena y tres de pedrín.

2.8 TRANSPORTE DEL CONCRETO:

El transporte del concreto, desde la mezcladora hasta su colocación en obra, puede hacerse por múltiples procedimientos, entre los que pueden citarse las carretillas, cubetas, vagonetas, camiones, por canaletas, por cintas transportadoras y por impulsión.



Transporte de concreto en camión



Transporte de concreto en carretilla

(17)

Pero cualquiera que sea la forma de transporte., es necesario que cumpla con las tres condiciones siguientes:

- **No debe transcurrir mucho tiempo entre el mezclado y la puesta en obra del concreto. Generalmente, dicho intervalo no será superior a una hora cuando se emplean cementos Pórtland corrientes, si bien puede aumentarse cuando se adopten medidas que impiden la evaporación del agua. Nunca se empleará un concreto que haya comenzado a fraguar.**
- **Durante el Transporte no deben segregarse los áridos gruesos, pues el concreto perdería su homogeneidad. Las vibraciones y choques pueden favorecer la segregación, así como una cantidad excesiva de agua de amasado, cuando el concreto se vierta en obra desde alturas superiores a dos metros, convendrá tomar precauciones especiales para evitar la disgregación de la masa, especialmente en elementos de pequeñas dimensiones.**
- **Debe evitarse que el concreto se seque durante el transporte.**

17

2.9. FUNDICIÓN DEL CONCRETO EN OBRA Y PASOS PARA ALCANZAR UNA FUNDICIÓN IDEAL.

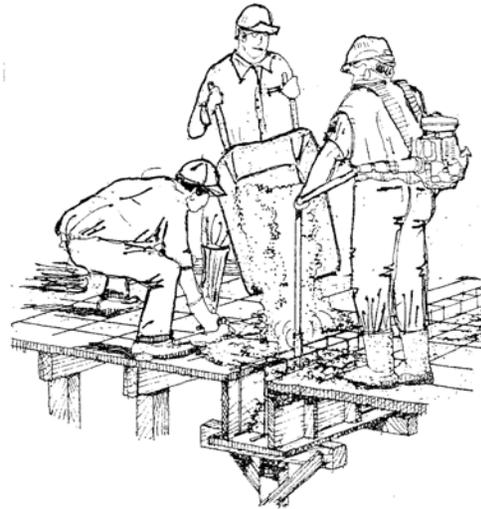
Dibujos elaborados por el autor.

La puesta en obra y consolidación debe efectuarse de tal modo que el concreto resulte homogéneo, compacto y uniforme.

2.9.1. FUNDICIÓN:

Para que la mezcla o mortero sea 'homogéneo' deben evitarse las segregaciones, lo que se consigue generalmente adoptando las siguientes precauciones:

- **La fundición debe efectuarse verticalmente, procurando evitar todo desplazamiento horizontal de la masa, y el vertido no debe efectuarse desde gran altura.**
- **La colocación del concreto se efectuará por estratos horizontales, cuyo espesor dependerá de las características de la masa, la forma del encofrado y los medios de consolidación, pero cada estrato o capa será inferior a 60 cm. Las distintas capas de consolidación serán sucesivas, de modo que el conjunto quede homogéneo, y sin que transcurra mucho tiempo entre cada capa, con objeto de evitar que la masa se seque o comience a fraguar.**



forma de fundición vertical (18)

2.9.2 CONSOLIDACIÓN:

Para que el concreto resulte compacto, debe emplearse el medio de consolidación más adecuado. Los medios de consolidación normalmente empleados y en concreto armado son: por picado, por apisonado y por vibrado, aparte de otros métodos especiales.

- **La consolidación por picado se efectúa mediante una barra metálica que se introduce en la masa de concreto repetidas veces, de modo que atraviese la capa a consolidar y penetre en la capa inferior. Este método se emplea en las obras corrientes de poca importancia con masas de concreto de consistencias blandas y fluidas.**
- **La compactación por 'apisonado' se efectúa, como su nombre lo indica, mediante el apisonado repetido con un plón adecuado. Las capas consolidadas suelen ser de 15 a 20 centímetros de espesor. Se emplea generalmente en estructuras de poco espesor y armadura con mucha superficie horizontal, para concretos de consistencia blanda y plástica.**
- **La consolidación por 'vibración' se emplea cuando se quieren conseguir concretos resistentes, ya que permite el empleo de masas de consistencia seca. El vibrado se efectúa, cuando lo permitan las dimensiones de la obra, cuando se trata de forjados o pavimentos y cuando las piezas sean de pequeñas dimensiones. De una manera general se recomienda emplear el tiempo necesario para que la superficie del concreto quede húmeda. Los vibradores internos o pervibradores, disponen de un dispositivo o aguja que se introduce en la masa del concreto, de manera que quede lo más verticalmente posible. La aguja se debe introducir y retirar lentamente. La separación entre los distintos puntos de inmersión del vibrador debe ser la conveniente para producir en toda la superficie de la masa una humectación brillante. Es preferible vibrar en muchos puntos durante poco tiempo. Esta separación oscila generalmente entre 40 y 60 centímetros y nunca debe ser superior a 75 centímetros. La duración aproximada del vibrado oscila entre 1 y 1.5 minutos, y su frecuencia entre 6,000 y 12,000 períodos por minuto. Los vibradores de superficie disponen de una bandeja a la que está sujeto el vibrador que se mueve por la superficie del concreto a consolidar hasta conseguir una humectación brillante en toda ella. Suelen emplearse en placas y losas de poco espesor (hasta 20 cm). Por último, los vibradores sujetos a los moldes o encofrados, emplean piezas de pequeñas dimensiones donde no es posible introducir los pervibradores.**
- **Entre los métodos especiales tenemos, en primer término la consolidación por 'inyección' para lo cual, una vez colocado el agregado grueso en el encofrado, se inyecta el mortero con aparatos adecuados hasta que rellene los huecos dejados por el agregado. El mortero de inyección ha de tener unas características especiales de plasticidad para rellenar con facilidad todos los huecos.**
- **Otro método es la consolidación por "vacío", que consiste en amasar el concreto con el agua necesaria para su fácil colocación y aspirar después parte del agua, mediante ventosas conectadas a una bomba de vacío.**

- **Por último, en la consolidación mediante “centrifugado”, empleada generalmente en la fabricación de tubos de concreto, debido a la fuerza centrífuga, los agregados más gruesos son desplazados hacia el exterior, y queda en la parte interna una capa más rica en cemento y por lo tanto, más impermeable.**

2.9.3 UNIFORMIDAD:

Para lograr uniformidad en las fundiciones, conviene humedecer los moldes o encofrados antes de la colocación del concreto, pues en caso contrario, los moldes pueden absorber el agua del concreto.

Todos los encofrados deben ser estancos o estar contruidos lo mayor herméticamente posible con el objeto de que no se salga la pasta de cemento. En las piezas que se funden verticalmente, como ocurre con los pilares, tiende el agua a elevarse a la parte superior, donde el concreto resulta más fluido y, por lo tanto, es menos resistente. Esta pérdida de resistencia puede alcanzar valores de 10% a 15%, lo que se debe tener en cuenta en el cálculo o bien puede tomarse la precaución de hacer el concreto algo más seco en las cabezas de los pilares.

Los agregados que se emplean en las obras vendrán con distinto contenido de humedad, y por lo tanto, al dosificar el agua de amasado del concreto debe efectuarse la corrección correspondiente.

La fundición deberá efectuarse a tal velocidad que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios que existan entre las varillas. Una vez iniciada la fundición, ésta deberá efectuarse en una operación continua hasta que se termine lo que está programado a fundir. Todo concreto deberá compactarse cuidadosamente durante la colocación y deberá trabajarse enteramente alrededor del refuerzo y de las instalaciones ahogadas, y dentro de las esquinas de las cimbras. Cuando las condiciones hagan difícil la compactación, o donde esté congestionado el refuerzo, se depositará primero en las cimbras una capa de mortero, que tenga la misma proporción de cemento, arena, y agua que la usada para el concreto, de por lo menos 2.5 cms. de espesor; el mortero debe colocarse inmediatamente antes de depositar el concreto y debe ser plástico, y no rígido ni fluido, cuando el concreto esté ya colocado. El concreto que haya endurecido parcialmente, o que se haya contaminado con materiales extraños, no deberá depositarse en la estructura ni deberá mezclarse agregándole agua. Una vez fundido el concreto, cuanto más tiempo se mantenga húmedo, será más resistente y durará más.

Cuando el supervisor de obra, tenga sospecha que el concreto que se está utilizando en e la ejecución del proyecto, no cumple con los requisitos de resistencia, deberá ordenar cambios, ya sea en las proporciones o en los materiales para aumentar la resistencia y satisfacer los requisitos.

2.9.4 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y DILATACIÓN.

2.9.4.1. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN:

Al interrumpir la fundición de una estructura de concreto, es necesario que las juntas estén alejadas de los puntos donde las armaduras trabajan a fuertes tracciones, y deben colocarse normales o sea perpendiculares a las direcciones de las máximas compresiones.

Es conveniente desprender y retirar la pasta de cemento superficial una vez iniciado el fraguado, mediante un chorro de arena, de agua o de aire, o bien con un cepillo de alambre según el estado de endurecimiento del concreto.

Antes de reanudar los trabajos se limpiará la junta de toda suciedad y material que quede suelto deblendo humedecerse su superficie; la anchura de estas juntas debe ser la necesaria para poder efectuar con facilidad la fundición posterior. Se debe evitar el contacto de masas frescas de concretos preparados con distintos tipos de cementos.

Según el Reglamento del Instituto Americano del Concreto, ACI 318-99, cuando se vaya a hacer una junta, la superficie de concreto debe limpiarse completamente, y remover todos los elementos y el agua que permanezca en ella. Las juntas verticales también deberán humedecerse completamente, y cubrirse con una lechada de cemento inmediatamente antes de colocar el concreto nuevo.

Debe transcurrir cierto tiempo entre el fundido de columnas y el fundido de vigas, trabes o losas que se apoyen en ellas; deberá esperarse que seque el concreto de columnas y muros y que pase del estado plástico al sólido. Las vigas, trabes, ménsulas, capiteles de columnas y acartelamientos se considerarán como parte del sistema de la losa y se fundirán monolíticamente con ella.

Las juntas de construcción en losas, vigas o trabes quedarán localizadas cerca de la mitad de la luz de las mismas, a no ser que exista en ese punto una intersección de viga secundaria con una principal; en este caso, las juntas en las vigas principales se moverán una distancia igual a dos veces el ancho de la viga secundaria.

Cuando se tenga que efectuar una junta en las fundiciones de concreto, se deberá limpiar cuidadosamente la superficie del concreto endurecido y quitar la exudación; así mismo deberán mojarse completamente las áreas donde se llevarán a cabo las juntas y recubrirlas con una capa de pasta de cemento antes de realizar la nueva fundición.

Como ya se dijo, las juntas de construcción deberán ubicarse a $\frac{1}{2}$ de la luz de losas, vigas o trabes; si en ese punto llegara a existir una intersección, las juntas se deberán localizar a una distancia igual a 2 anchos de la viga.

De igual forma, para no afectar la resistencia de la estructura, las juntas que no aparezcan indicadas en los planos, y que en obra sea necesario hacerlas, deberán localizarse de tal manera que no reduzcan considerablemente dicha resistencia.

2.9.4.2. JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y DILATACIÓN:

Debido al endurecimiento del concreto, por hidratación del cemento, va acompañado , generalmente, por variaciones de volumen. Aunque el curado se realice con suficiente recubrimiento de agua, pueden resultar aumentos apreciables de volumen en las condiciones normales de trabajo, el concreto se contrae habitualmente durante su fraguado. Los cambios de temperatura en el aire que le rodea, así como las variaciones de la humedad de la atmósfera producen también cambios de volumen, aún después del endurecimiento del concreto.

Sobre la base de lo anterior en necesario, en las construcciones de concreto reforzado, poner juntas a intervalos suficientes, de modo que no se sobrepase la resistencia del concreto o es su defecto emplear una cantidad suficiente de refuerzo, para distribuir las deformaciones que resulten, de tal modo que estas no afecten en forma significativa a la utilización o al diseño del edificio.

En nuestro medio, en las edificaciones que no sobrepasen los 46 mts. de longitud, la cantidad de armadura que se necesita generalmente para los esfuerzos principales suele ser suficiente para la adecuada distribución de los esfuerzos secundarios debido a la contracción y a las variaciones por temperatura.

En general se recomienda dividir mediante una junta transversal a edificaciones con una longitud mayor a 46 mts. Esta junta debe permitir el movimiento libre de cada una de las partes adyacentes, siendo la separación mínima recomendable de 38mm. En la construcción de vigas y losas dicha junta se puede lograr con dos series de columnas que descansen en un cimiento común.

El armado nunca debe atravesar una junta de dilatación; la independencia entre las dos secciones del edificio debe ser total, y las juntas se deben rellenar con un material elástico.

En la construcción de losas sin vigas principales, las juntas de contracción se colocan generalmente en el centro del pasillo, y las dos secciones de la losa se calculan como en cantilevers.

Aunque la mayoría de los daños causados por los cambios de temperatura y humedad son atribuidos a la contracción, a veces es necesario poner juntas de dilatación entre terminaciones rígidas. Siempre que la dilatación pueda provocar pandeos se deben colocar juntas. Adicional a las juntas necesarias par las contracciones y dilataciones del concreto, se aconseja emplear el llamado armado o refuerzo de temperatura, que no es más que la colocación de hierro de 3/8", en varillas pequeñas en todos los miembros o lugares expuestos a sufrir cambios extremos o bruscos de temperatura. La cantidad del hierro de refuerzo por temperatura depende del área de la sección del miembro y deberá ser aproximadamente del 0.3% de la superficie del concreto.

Así mismo se recomienda que cuando se hagan juntas de construcción, éstas deben hacerse siguiendo líneas horizontales y verticales, uniformes y continuas. De igual manera se recomienda poner juntas de construcción por dilatación, cada vez que en un diseño arquitectónico, visto en planta, se cambie de modulación, de dirección o forma.

2.9.5 CURADO DEL CONCRETO:

Durante el proceso de fraguado y primeros días de endurecimiento del concreto es necesario impedir la pérdida de agua necesaria, tanto para la hidratación del cemento, como para que dicho endurecimiento se lleve a cabo de una manera uniforme, en caso contrario pueden originarse tensiones internas capaces de fisurar el concreto. Para evitarse lo anterior, pueden cubrirse las superficies del concreto con sacos de yute o las bolsas de los quintales de cemento, que se mantendrán mojadas y por consiguiente preservaran la estructura de los rayos solares y agentes atmosféricos. Es frecuente sustituir este método por el regado con agua. El agua empleada en el curado no debe contener sustancias nocivas. El período de curado mínimo debe ser de siete días.

Últimamente se están empleando procedimientos especiales de curado, mediante la impermeabilización de la superficie del concreto, que impiden la evaporación de agua, para lo que se emplean distintos tipos de recubrimientos a base de aceites, resinas y plásticos. Otro método empleado es el de curado al vapor, que se utiliza sobre todo en elementos estructurales prefabricados, pues acelera considerablemente el endurecimiento del concreto, y cuya temperatura está comprendida entre 55° y 75° centígrados. La velocidad de calentamiento debe ser inferior al 20% por hora.

Durante los primeros días de endurecimiento del concreto, aparte de someterlo a un curado adecuado, conviene evitar todas las causas externas que puedan agrietarlo, tales como vibraciones y sobrecargas.

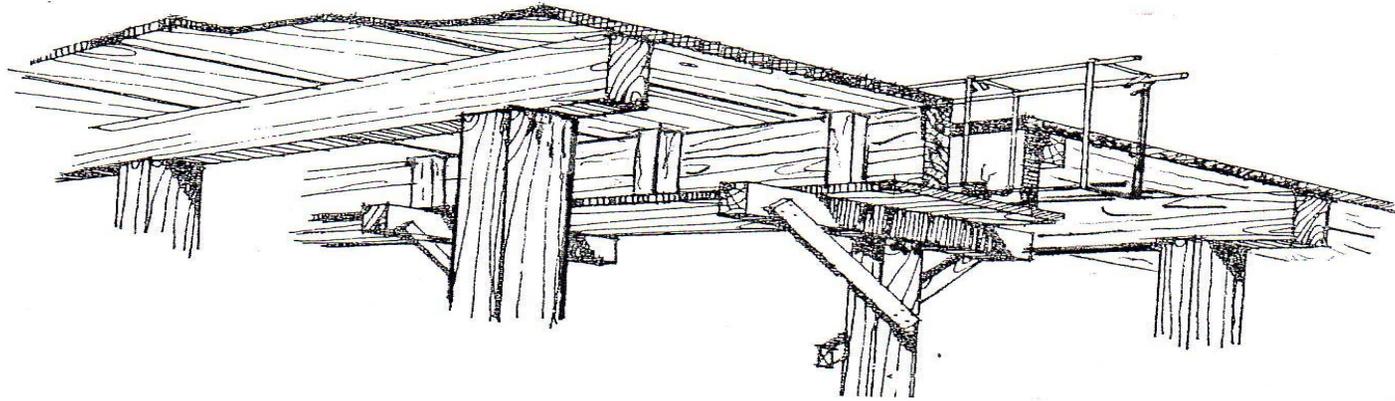
El período de curado mínimo del concreto debe ser de siete días y el período normal de curado es de 28 días.

El concreto, una vez fundido, debe conservarse a una temperatura mayor a 10° C y húmedo por lo menos durante los primeros siete días, después de la fundición, exceptuando el concreto de rápido endurecimiento, el que debe mantenerse húmedo por lo menos tres días.

En clima frío el concreto se debe proteger de heladas o temperaturas muy bajas. En clima cálido, se tomaran precauciones para reducir la temperatura del concreto y evitar la acelerada evaporación del agua.

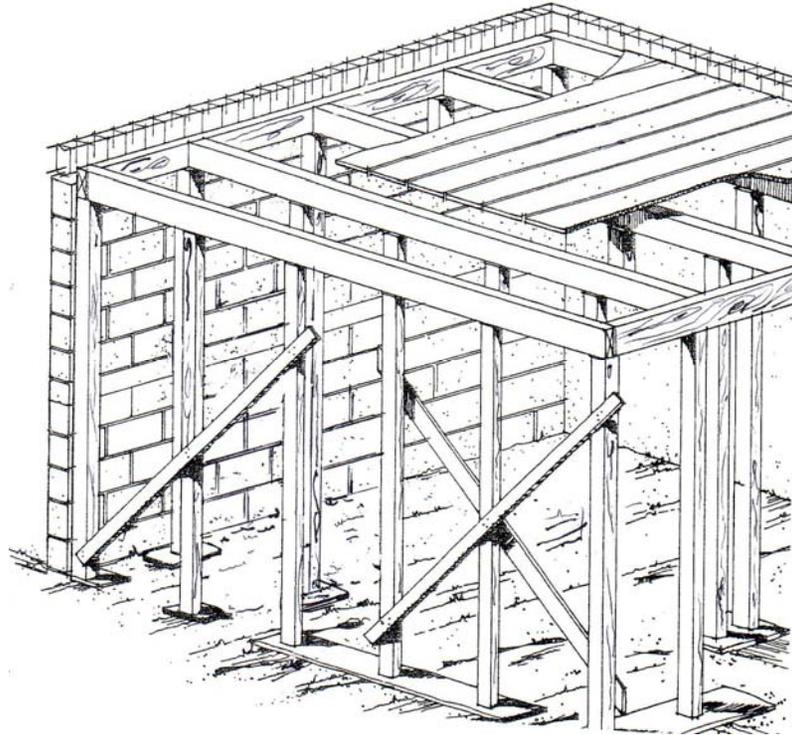
2.10 ENCOFRADOS Y CIMBRAS:

Los encofrados o moldes y las cimbras o armazones son generalmente de madera o metálicos, y deben tener la resistencia y rigidez necesaria para que durante la consolidación y endurecimiento del concreto no se produzcan movimientos perjudiciales.



molde de viga y entarimado para losa

(19)



paraleado y encofrado de losa

(20)

En las juntas de los distintos tableros de los encofrados, deben dejarse aberturas de dimensiones necesarias para que permitan la maniobra de compactación del concreto correspondiente a las capas inferiores de la pieza. La máxima separación de estas aberturas, tanto en vertical como en horizontal, deben ser de un metro.

El desencofrado de los distintos elementos de concreto armado, con procesos normales de endurecimiento, podrá efectuarse en los siguientes plazos:

20

Dibujo elaborado por el autor.

Para vigas fundidas utilizando cemento Pórtland ordinario, se podrán desencofrar a los tres días; las columnas o soportes, a los siete días.

Para vigas fundidas utilizando cemento Pórtland de alta resistencia, se podrán desencofrar a los dos días; las columnas o soportes, a los cuatro días.

Los apeos, fondos y cimbras no se quitarán hasta que transcurra el tiempo mínimo para que el concreto alcance la resistencia para soportar el doble de los esfuerzos que han de aparecer en el momento de desencofrar o descimbrar,. Estos deben retirarse sin sacudidas ni choques, y es conveniente mantenerlos despegados de la pieza de concreto dos o tres centímetros durante unas doce horas, antes de ser retirados completamente.

2.11 TUBERÍAS Y CONDUCTOS AHOGADOS EN CONCRETO:

Las camisas, conductos u otras tuberías que pasan a través de muros, losas o vigas, deberán ser de un tamaño y con una localización tales que no afecten significativamente la resistencia de la construcción. Se puede considerar que las camisas, mangas, conductos o tubos, sustituyen estructuralmente en compresión al concreto desplazado. Los tubos o conductos ahogados, que pasan a través de los miembros, deberán tener dimensiones exteriores no mayores de un tercio del espesor de la losa, muro o viga según donde estén ahogados, ni estarán espaciados no menos de tres diámetros.

Los muros, losas o vigas que contienen camisas, conductos u otras tuberías, su espesor no deberá ser menor de 3 cms., más el ancho total de las camisas, conductos o tubos en cualquier punto. Por lo que estos, deberán ser de un tamaño y con una localización tales que no afecten significativamente la resistencia del miembro estructural.

Todas las tuberías y accesorios deben probarse, como medida para localizar fugas, antes de fundir el concreto. Las tuberías para líquido, vapor o gas se probarán nuevamente después de que el concreto haya endurecido. Las tuberías para drenaje o que no vallan a soportar presiones internas no es necesario probarlas.

El recubrimiento de concreto sobre tuberías y conexiones no deberá ser menor de 2.5 cms.

2.12 FUNDICIONES

Para la fundición de cimientos de pequeños edificios, el concreto se echa directamente en zanjas cavadas en la tierra. Para otros tipos de cimientos y algunos muros, se vierte entre los soportes o encofrados de madera o de hierro, que se eliminan cuando el concreto ha fraguado. En la fabricación de losas prefabricadas, las planchas que forman techos y pisos se montan en el suelo y después se suben con elevadores hidráulicos y se fijan en las columnas a la altura deseada. Las paredes se fraguan en tierra o en la planta correspondiente y se instalan con grúas. Después se fijan las paredes por

sus extremos o entre ellas a las columnas de concreto. El método de fraguar hacia arriba se suele utilizar en la construcción de edificios de una o dos plantas

Para pavimentar carreteras con concreto se utiliza una máquina pavimentadora de estructura móvil. Esta máquina arrastra su estructura con dos guías metálicas separadas. Se echa una capa de concreto entre las dos guías y la máquina va avanzando lentamente. Las guías de los laterales mantienen el concreto en su sitio hasta que éste se seca. Estas pavimentadoras pueden fundir una capa continua de pavimento de concreto de uno o dos carriles. Así mismo, en regiones frías se puede introducir pequeñas burbujas de aire en la mezcla, ya que el aire presente en el concreto endurecido reduce radicalmente los ajustes que derivan de la utilización de productos químicos anticongelantes en calles y carreteras. También previene los daños que producen en los pavimentos las bajas temperaturas. Las burbujas de aire funcionan como diminutas válvulas de seguridad que proporcionan espacio al agua para dilatarse o encogerse dependiendo de los cambios bruscos de temperatura.

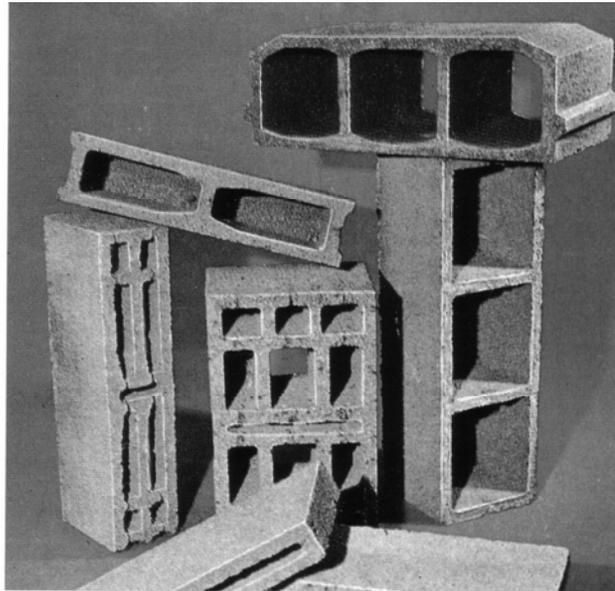
En algunas aplicaciones, como en la construcción de piscinas, canales y superficies curvas, el concreto puede aplicarse por inyección. Mediante este sistema, el concreto se pulveriza a presión con máquinas neumáticas sin necesidad de utilizar encofrados. Así se elimina todo el trabajo de los moldes de hierro y madera y se puede aplicar concreto en lugares donde los sistemas o métodos normales serían difíciles o imposibles de utilizar.

2.13 OTROS USOS DEL CONCRETO

El concreto se utiliza también, en la de construcción de pisos, tuberías, y en la construcción de algunos blocks. Estos últimos son empleados para construir muros de carga y paredes, malecones, bardas o diques; como refuerzo de paredes de ladrillo, o de piedra, así como en muros blanqueados con estuco o yeso; también se utiliza para proteger del fuego a estructuras de acero y a recintos como vanos de escaleras y ascensores, y para construir muros de contención, chimeneas y suelos.

Alrededor del 60% de los productos de concreto para la construcción, como los blocks livianos, se elaboran con agregados ligeros. Los más utilizados son arcillas tratadas, residuos de altos hornos, esquistos micáceos, agregados volcánicos naturales y cenizas. El tamaño de estos blocks, que se utilizan para construir paredes, tanto por debajo como por encima del suelo, suele ser de 15 × 20 × 40 cm. ó 20 × 20 × 40 cms. Y para construir tabiques de 10 × 20 × 40 cms. Estos bloques se colocan de forma horizontal y no suelen ser macizos, para reducir peso y para que se forme una cámara de aire aislante. Se han desarrollado otros tipos de blocks de concreto, unos llenos, que se utilizan en muros de carga, y otros con diseños especiales en una o ambas caras, que se emplean sin revestimiento en casas, centros comerciales, escuelas, iglesias e instalaciones públicas.

La medida de los blocks está ya estandarizada: se pueden conseguir blocks específicos para cualquier trabajo sin tener que cortar y ajustar. También hay moldes para producir blocks con diseños y relieves para paredes interiores y exteriores. Es posible conseguir cualquier color o tipo de textura.



BLOCK DE CONCRETO (21)

2.14 ACERO DE REFUERZO:

Las varillas de refuerzo, que generalmente se conoce como hierro de refuerzo o varillas de hierro, se fabrican de lingotes de acero en varios grados, y también volviendo a laminar rieles viejos, esto se hace tanto en caliente como en frío. Los diferentes aceros, con respecto a sus puntos, límites o esfuerzos de fluencia (f_y) y resistencia última, tienen las siguientes especificaciones:

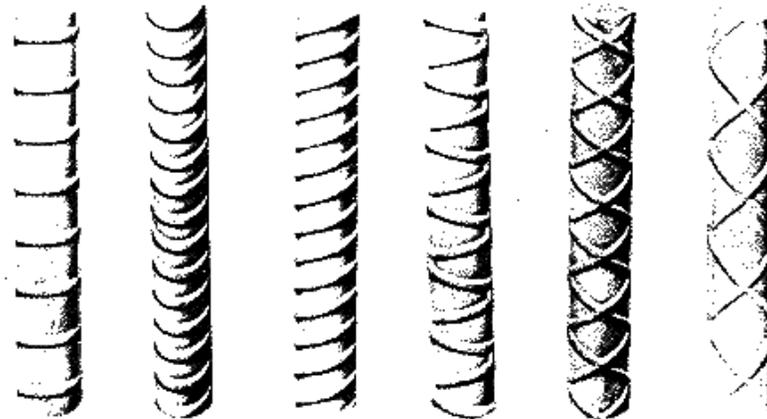
21

Fuente: “*Biblioteca Atrium de la Construcción*”.

ESPECIFICACIONES		
Acero de lingote	Punto de fluencia mínimo <i>f_y</i> lbs./plg ²	Resistencia de ruptura lbs/plg ²
Grado intermedio	40,000	70,000 a 90,000
Grado Duro	50,000	80,000
Grado A 432	60,000	90,000
Grado A 431	75,000	100,000
Acero de riel	50,000	80,000
Acero de riel A 61	60,000	90,000

22

Los números de varillas de hierro más usados varían del No. 2 al No. 12, los cuales corresponden a los diámetros de ¼” a 1½”. Todas las varillas con excepción de ¼” tiene corrugaciones. Las corrugaciones que se forman en la superficie de las varillas de acero al laminarlas, sirven para aumentar la adherencia entre el acero y el concreto. La forma de las corrugaciones varía con respecto al fabricante. La sección estándar de las varillas es circular, y estas se nombran como se dijo anteriormente por números que van del No.2 al No.12, los cuales corresponden al diámetro de la varilla en octavos de pulgadas.



DIFERENTES TIPOS DE VARILLAS CORRUGADAS (23)

PESO, AREA Y PERIMETRO DE LAS VARILLAS				
Designación Ordinaria de la varilla No.	Peso por pie lineal	Díámetro	Área en plg ² de la Sección Transversal	Perímetro en plgs.
2	0.167	0.250	0.05	0.786
3	0.376	0.375	0.11	1.178
4	0.668	0.500	0.20	1.571
5	1.043	0.625	0.31	1.963
6	1.502	0.750	0.44	2.356
7	2.044	0.875	0.60	2.749
8	2.670	1.000	0.79	3.142
9	3.400	1.128	1.00	3.544
10	4.303	1.270	1.27	3.990
11	5.313	1.410	1.56	4.430

(23)

2. 15. CONDICIONES GENERALES PARA QUE EL CONCRETO Y EL ACERO TRABAJEN ADECUADAMENTE:

Para que el concreto y el acero de refuerzo trabajen adecuadamente, es necesario tomar en cuenta la adherencia entre los elementos, la longitud de desarrollo y los dobleces o ganchos de las varillas de refuerzo, así como la adherencia por flexión.

2.15.1. ADHERENCIA:

En un componente de concreto reforzado, es necesario que exista adherencia entre el concreto y las varillas de refuerzo, de tal forma que ambos materiales estén formando uno solo. Cuando el refuerzo está adherido, los esfuerzos en el mismo varían a lo largo del elemento, ya que son proporcionales a la magnitud del momento flexionante. Cuando no hay adherencia entre el refuerzo y el concreto, el esfuerzo en el refuerzo es constante a lo largo del claro.

Los esfuerzos de adherencia se presentan siempre que existe una diferencia de tensión entre dos secciones de una varilla de refuerzo. La adherencia es la resistencia al deslizamiento del refuerzo y se origina de los fenómenos siguientes:

- Adhesión de naturaleza química entre el acero y el concreto.
- Fricción entre la varilla y el concreto, la cual se desarrolla cuando el hierro tiende a deslizarse.
- Apoyo directo de las corrugaciones de las varillas contra el concreto que las rodea.

En las varillas lisas solo se dan los dos primeros factores, por lo que no es recomendable la utilización de este tipo de varillas, ya que tiende a romperse la adhesión. Al no haber adhesión, la mayor parte de la fuerza de tensión pasa al concreto, absorbiendo la varilla esfuerzos de tensión muy pequeños.

Debido a que en una estructura de concreto armado, las varillas de refuerzo están sujetas a esfuerzos de tensión, mientras el concreto está sujeto a esfuerzos de compresión, resulta ineludiblemente un deslizamiento y por consiguiente la tendencia es a un rompimiento de la adherencia entre los dos materiales. Al incrementarse los esfuerzos de tensión en el hierro de refuerzo, se amplía la longitud del área que sufre deslizamiento, área en la cual se va deteriorando la adherencia entre ambos componentes. Por consiguiente la fricción desempeña un papel importante, si la varilla tiene una superficie muy lisa, tiende a salirse del concreto, dejando un agujero liso; si la superficie de la varilla de refuerzo es rugosa la fricción es mayor y hay mayor adherencia y si hay falla, será por fractura del concreto. En el caso de varillas de hierro corrugadas, la adhesión es mayor, ya que las corrugaciones reaccionan contra el concreto, evitando el deslizamiento. En todo caso, el evitar una falla por falta de adherencia dependerá de la clase de concreto, el recubrimiento y el diámetro del hierro de refuerzo, así como de la longitud de anclaje y la longitud de traslape, necesarios.

2.15.2. LONGITUDES DE DESARROLLO:

La longitud de desarrollo es la distancia entre dos secciones de una varilla de refuerzo con fuerzas de tensión diferentes. En la longitud de desarrollo actúan esfuerzos de adherencia que equilibran la diferencia entre las fuerzas de tensión de la varilla. Para el cálculo de la longitud de desarrollo, es necesario conocer el valor de esfuerzos promedio de adherencia u .

La longitud de anclaje debe proporcionarse en todas las secciones donde se presentan esfuerzos máximos y aquellas donde se corta o dobla el acero.

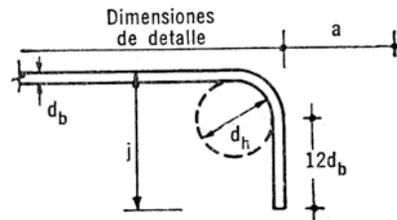
2.15.3. GANCHOS STANDARD:

Cuando no hay espacio suficiente para alojar la longitud de desarrollo requerida, se acostumbra hacer dobleces en los extremos de las varillas, de tal manera que se formen ganchos o escuadras, los cuales deben reunir ciertas características geométricas para denominarse ganchos estándar.

RECOMENDACIONES PARA GANCHOS Y ESCUADRAS ESTÁNDAR

LONGITUDES DE DIAMETROS RECOMENDADO PARA ESCUADRAS O GANCHOS DOBLADOS A 90°

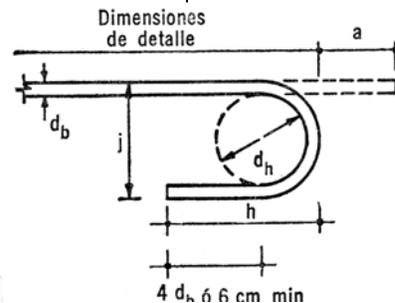
Número de Varilla	Número de Diámetros
2, 2.5, 3, 4, 5	6d
6, 7, 8	8d
9 ó más	10d



(24)

**LONGITUDES DE DIAMETROS RECOMENDADOS
PARA GANCHOS DOBLADOS A 180°**

Número de varilla	Número de Diámetros
2, 2.5, 3, 4, 5	5d
6, 7, 8	6d
9 ó más	8d



(24)

El término “gancho estándar” se refiere a la vueltas semicirculares, vueltas a 90° o 135° y sus respectivas prolongaciones para darle un mayor anclaje a la varilla de refuerzo en el concreto.

Para cualquier estructura de concreto reforzado, deberá usarse solo varilla de hierro corrugada, a excepción de que por cambios de temperatura, se especifique lo contrario. Las varillas lisas se podrán utilizar para refuerzo helicoidal o en estribos y eslabones. Así mismo, las varillas, cuando se funda el concreto, deberán estar libres de herrumbre, lodo, aceite o cualquier recubrimiento que no permita la adherencia.

En los puntos de cualquier estructura donde se den los esfuerzos máximos de tensión, deben evitarse al máximo los empalmes, si se llegan a dar, deberán ser soldados, traslapados y perfectos en todo sentido.

24

Fuente: “Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado”

La longitud de traslape para varillas corrugadas deberá ser, mínimo, de 24 diámetros, para varillas, cuya resistencia de fluencia sea de 40,000 lb./plg.², 30 diámetros para 50,000 lb./plg.², y 36 diámetros para 60,000 lb./plg.². Para varillas lisas la longitud de traslape deberá ser el doble que para las varillas corrugadas.

Cuando sea necesario doblar una varilla de hierro de refuerzo, para hacer ganchos estándar, “tenslones”, estribos, eslabones u otros dobleces, estos se harán en frío, a menos que las especificaciones sugieran otra cosa.

**MEDIDAS RECOMENDADAS PARA GANCHOS
EN CENTÍMETROS.**

No. de la varilla	Escuadras o Ganchos a 90°		Ganchos a 180°		
	a*	J	a*	J	h
2	9	10	10	5	09
2.5	11	13	12	6	10
3	14	15	13	8	10
4	19	21	15	10	12
5	23	27	18	13	13
6	27	32	20	15	15
7	32	37	25	18	18
8	37	42	33	25	23
9	42	49	38	29	26
10	47	59	50	39	32
12	58	71	60	50	40

(25)

No. DE VARILLA Y SU EQUIVALENTE EN PULGADAS

No. De Varilla	Díámetro de Varilla en Pulgadas
2	$\frac{1}{4}$ "
2.5	$\frac{5}{16}$ "
3	$\frac{3}{8}$ "
4	$\frac{1}{2}$ "
5	$\frac{5}{8}$ "
6	$\frac{3}{4}$ "
7	$\frac{7}{8}$ "
8	1"
9	$1 \frac{1}{8}$ "
10	$1 \frac{1}{4}$ "
12	$1 \frac{1}{2}$ "

(26)

2.15.4. ADHERENCIA POR FLEXION:

Debido a que el momento flexionante varía rápidamente, varían también los esfuerzos de tensión en el refuerzo, la variación de esfuerzos del refuerzo, produce esfuerzos de adherencia por flexión.

Esta adherencia se diferencia de la adherencia por desarrollo en que, en la adherencia por desarrollo son esfuerzos promedio en la longitud de desarrollo (l_d), que toman en cuenta tanto el agrietamiento como el efecto del incremento total de esfuerzos de varilla de uno a otro extremo de la longitud de desarrollo; y los esfuerzos por adherencia por flexión, consideran únicamente el efecto local de un cambio rápido en los esfuerzos de las varillas en las secciones de fuerza cortante máxima.

26

²⁶ Fuente: "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado"

3. IDEA GENERAL DEL PROCESO DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

3.1. MATERIALES Y ESPECIFICACIONES:

Como se ha expuesto anteriormente el concreto utilizado en el "concreto reforzado", está compuesto por "agregados" unidos por una pasta hecha de cemento Pórtland y agua. La pasta llena los espacios del agregado y después de fraguado endurece para formar un material estructural sólido.

Existen cinco clases estándar de cemento Pórtland, que van de clase I a clase V. Para las fundiciones en edificios cuando se quiere el fraguado a los 28 días, se utiliza clase I u ordinario, o de cemento clase III, de rápido endurecimiento, cuando se quiere que el concreto adquiera resistencia en unos cuantos días.

El agregado está clasificado en fino y grueso, generalmente el fino es arena y el grueso puede ser grava o piedra triturada; también hay otros tipos de agregados ligeros hechos de esquistos o arcilla inflados y la escoria.

El tamaño y la granulometría del agregado, tienen influencias importantes en la cantidad de cemento y agua requeridos para hacer un metro cúbico de concreto. La cantidad de agua con relación a la de cemento, es el factor más importante que interviene en la resistencia del concreto. Algunas veces se controla el agua especificando la proporción de cemento en función de sacos de cemento por metro cúbico de concreto.

Para el curado del concreto es necesario que no se evapore el agua de la mezcla hasta que el concreto haya adquirido su resistencia. La temperatura también es un elemento importante en la rapidez con que el concreto aumenta de resistencia, las bajas temperaturas disminuyen la rapidez del proceso.

Las pruebas de resistencia del concreto, se harán a los 28 días o, cuando lo indiquen las especificaciones de los planos o, a la menor edad a la que el concreto vaya a soportar toda su carga máxima indicada en los planos.

3.2. DISEÑO ESTRUCTURAL:

Una estructura puede concebirse como un conjunto de partes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. Esta puede ser: encerrar un espacio, como las estructuras para edificios; salvar un claro, como los puentes; o contener un empuje, como los muros de contención, tanques, silos o depósitos. La estructura debe tener un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio, además debe cumplir con la función a la que está destinada con cierto grado de seguridad, mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas.

El proceso de diseño de un sistema principia con la formulación de objetivos y los límites o restricciones que deben tomarse en cuenta. En general, el costo estructural debe ser de un 20% a un 30% del costo total de una obra, para que ésta sea económica.

3.3. CARACTERISTICAS ACCION- RESPUESTA DE ELEMENTOS DE CONCRETO:

Debido a los requisitos del concreto, es preciso conocer las relaciones que existen entre las características de los elementos de una estructura (dimensiones, refuerzo, etc.), las solicitaciones o cargas externas que debe soportar y los efectos que estas producen en las estructuras. En otras palabras es necesario conocer las características acción-respuesta de la estructura estudiada.

Las acciones en una estructura son los esfuerzos o solicitaciones a que está sometida, como por ejemplo: el peso propio, las cargas vivas, las presiones producidas por el viento, las aceleraciones por sismo y los asentamientos, o sea las respuestas en su comportamiento bajo una acción determinada; esta puede expresarse como deformación, agrietamiento, durabilidad, vibración, etc... desde luego, la respuesta es función de las características de las estructuras.

Si se conocen las relaciones entre: acción , elementos de cierta características y respuesta, para todas las combinaciones posibles de acciones y características de una estructura, se tendrá una base para establecer un método de diseño. Este tendrá por objeto determinar las características que deberá tener la estructura, para que su comportamiento sea aceptable al estar sometida a ciertas acciones. Estos métodos permiten determinar en los miembros de cualquier estructura, las acciones internas que se producen, al aplicarles cargas exteriores.

La primera condición a satisfacer de una estructura, es que sea resistente. La resistencia de una estructura se puede definir como: el valor máximo que una acción puede alcanzar.

ACCIONES INTERIORES	CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO	RESPUESTA
Carga Axial	Tipo de concreto	Deformación
Flexión	Tipo de Refuerzo	Agrietamiento
Torsión	Tamaño	Durabilidad
Cortante	Forma	Vibración

(27)

27

3.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Fuente: “Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado”

La Compresión es la tendencia de las partículas de un material a mantenerse unidas. Dependiendo de la mezcla, especialmente de la relación agua-cemento, y de la duración y calidad del curado, pueden obtenerse resistencias a la compresión en el concreto hasta de 703 Kg/cm², o más. El concreto fabricado comercialmente, con agregados ordinarios, varía de 176 a 434 Kg/cm², y lo más común es que tenga una resistencia cerca de 211 Kg/cm², pero debido a las diferencias de los agregados y en menor grado, en los cementos, mezclas con las mismas dosificaciones, producen diferentes resistencias.

La resistencia a la compresión $f'c$, se basa en la obtenida en cilindros estándar de 6plg. a 12 plg., curados en condiciones normales de laboratorio y probados, aumentando la carga en forma especificada a los 28 días. Hay que tomar en cuenta que el concreto en obra no desarrollará tanta resistencia como en el laboratorio que esta en condiciones estándar.

Hay dos formas de calcular la resistencia a la compresión ($f'c$): tomando como base la resistencia de trabajo (DRT) ó tomando la resistencia a la ruptura (DRU), incluyendo en este último el concreto preesforzado. La resistencia especificada para el concreto en obra, debe aumentarse hasta ser mayor que la resistencia a la compresión deseada, debiendo ser de 15% para DRT y de 25% para DRU.

3.3.2. RESISTENCIA A LA TENSIÓN:

La Tensión es la disposición de las partículas de un material a ser separadas. La resistencia a la tensión del concreto es relativamente baja, aproximadamente del 10% al 15% de la resistencia de compresión, esporádicamente el 20%. Esta resistencia es más difícil de medir y los resultados de probeta a probeta varían más que los cilindros de las pruebas de compresión, El módulo de ruptura calculado en una viga estándar cuadrada de 6 plgs. supera en algo a la resistencia a la tensión real. Se usa con regularidad como valor del módulo de ruptura $7.5 \sqrt{f'c}$.

En una viga elástica homogénea sujeta a un momento flexionante, el esfuerzo máximo de compresión es igual al esfuerzo máximo de tensión. Y debido a que el concreto no es capaz de absorber los esfuerzos de tensión, (más que en solo un 10%) es generalmente más económico que el concreto absorba los esfuerzos de compresión, y las varillas de hierro de refuerzo sean las que absorban los esfuerzos de tensión.

3.3.3. RESISTENCIA AL CORTE:

La resistencia al corte es la predisposición de las partículas de un material a correrse al pasar una sobre otra. La resistencia del concreto al corte varía de un 35% a un 80% de la resistencia a la compresión. Con frecuencia se les llama a los esfuerzos de la tensión diagonal, esfuerzos cortantes, lo que en realidad es incorrecto. Sí se tiene presente que rara

vez se presentan dudas respecto a la resistencia al corte, no importará que el término "corte" se use descuidadamente por tensión diagonal.

3.3.4. MODULO DE ELASTICIDAD:

El módulo de elasticidad es la medida de rigidez de un material, entendiéndose por rigidez, la resistencia a deformarse.

Cuando se llega a deformaciones que se producen después de pasar por el esfuerzo máximo, todavía existe bastante resistencia. Las deformaciones que se producen cerca del esfuerzo máximo, son aproximadamente las mismas para todas las resistencias del concreto, siendo esta de aproximadamente 0.002 plg./plg. Normalmente ocurren deformaciones de 0.003 a 0.0045, antes que falle una viga.

3.3.5. DEFORMACIÓN PLASTICA DEL CONCRETO:

Al introducir cargas con esfuerzos bajos en el concreto, la deformación de éste es aproximadamente elástica, pero esta deformación se incrementa con el tiempo aunque la carga permanezca constante. A esta deformación que aumenta con el tiempo se le llama deformación plástica, y en condiciones ordinarias puede llegar a ser mayor que la deformación elástica. Los factores que tienden a aumentar las deformaciones plásticas son: Las cargas prematuras (cuando el concreto está todavía "fresco"), la relación agua cemento elevada en el concreto y la exposición a agentes desecantes.

A esfuerzos normales de trabajo, las deformaciones plásticas son directamente proporcionales a los esfuerzos unitarios, por lo tanto, las deformaciones elásticas y plásticas son prácticamente proporcionales en los elementos del concreto sin esfuerzo. Sin embargo en la sobrecarga, deja de existir esta proporcionalidad y en el concreto reforzado lo constante del módulo del acero origina reajustes insignificantes con el tiempo. Las deformaciones plásticas son la causa más común de que las flechas aumenten con el tiempo.

3.3.6. CONTRACCIONES DEL CONCRETO:

Cuando el concreto pierde humedad por evaporación, se contrae. Como el agua no sale uniformemente del concreto, la diferencia de humedad produce diferentes grados de contracción y esfuerzos internos. Debido a estas contracciones los esfuerzos pueden ser de consideración, por lo que se insiste en mantener humedad durante el curado. En el concreto reforzado aun las contracciones uniformes producen esfuerzos, los cuales son esfuerzos de compresión en el acero y de tensión en el concreto. La exposición al viento aumenta la contracción, pero la atmósfera bastante húmeda reducirá la contracción, no así poca humedad, lo que aumentará la contracción. La contracción se expresa por lo general, en función del coeficiente de contracción s , el cual se define como el acortamiento por unidad de longitud. Dicho coeficiente varía mucho y sus valores oscilan de 0,0002 a 0.0006. La contracción es otra causa común de que la flecha aumente con el tiempo. Solamente el refuerzo simétrico puede evitar la curvatura y la flexión producida por la contracción.

El procedimiento de dimensionamiento más usual, es el que se basa en los esfuerzos de trabajo, este consiste en determinar los esfuerzos correspondientes a acciones interiores, las cuales se obtienen de un análisis elástico de la estructura.

El procedimiento más utilizado para el dimensionamiento es el denominado “Método Plástico de Resistencia”, o de “Resistencia Última”. En dicho procedimiento, los elementos o secciones se dimensionan para que tengan una resistencia determinada. Este procedimiento consiste en definir las acciones interiores correspondientes a las condiciones de servicio mediante un análisis elástico, y multiplicarlas por un factor de carga, que puede ser constante o variable según los distintos elementos, para así obtener las resistencias de dimensionamiento. El factor de carga puede introducirse también incrementando las acciones exteriores y realizando después un análisis elástico de la estructura.

3.4. ACCIONES EXTERNAS A LAS QUE SE SOMETE UNA ESTRUCTURA:

Las acciones externas o sollicitaciones a que puede estar sometida una estructura son:

- **Cargas estáticas debido al peso propio,**
- **Cargas vivas,**
- **Cargas permanentes, y**
- **Cargas dinámicas causadas por un sismo, por la presión del viento, o por la acción repentina de una carga viva.**

También se consideran como sollicitaciones, las deformaciones de la estructura producidas por: asentamientos, contracciones, flujo plástico y cambios de temperatura.

3.5. ANALISIS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO:

Para lograr analizar una estructura es necesario idealizarla. Se considera además que las propiedades mecánicas de los elementos en dicha estructura, estén concentrados a lo largo de sus ejes. Las acciones externas se aplican entonces a esta estructura idealizada. Estas acciones externas inducen a la formación de acciones internas (momentos, fuerzas) de variable intensidad. El principal propósito del análisis de estructuras es valorar las acciones interiores en las distintas componentes y partes de una estructura.

Entre los análisis más usados y simples tenemos: el análisis elástico, o sea suponer una dependencia lineal entre carga y deformación; el análisis límite, o sea que se supone que al llegar la acción a cierto valor crítico, son independientes de las deformaciones. Existen otros análisis más refinados, con hipótesis más complicadas que los anteriores, que se aproximan más a la realidad.

3.6. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO:

Se entiende por dimensionamiento, la determinación de las propiedades geométricas y medidas de los elementos estructurales y de la cantidad y posición del acero o hierro de refuerzo. Las secciones se dimensionan para que soporten una resistencia determinada. El dimensionamiento se hace basado en las hipótesis de comportamiento inelástico, es decir que se definen las acciones interiores que corresponden a las condiciones de servicio, por medio de un análisis elástico, y se multiplican por un factor de carga constante o variable, obteniendo de esta manera, las resistencias de dimensionamiento. Así mismo puede introducirse el factor de carga, incrementando las acciones exteriores y efectuando posteriormente, un análisis elástico de la estructura.

3.7. RESISTENCIA DEL CONCRETO A DISTINTOS TIPOS DE CARGA Y CARACTERÍSTICAS QUE PRESENTA AL ESTAR SOMETIDO A ELLAS

Las cargas a las que pueden estar sometidos los elementos que conforman una estructura son:

- Carga Axial,
- Flexión Simple,
- Flexión y Carga Axial,
- Fuerza Cortante, y
- Torsión.

3.7.1. ELEMENTOS SUJETOS A CARGA AXIAL:

Como generalmente los elementos que conforman una estructura de concreto reforzado no son aislados sino continuos, éstos no están sometidos exclusivamente a carga axial, ya que por ser continuos, actúa conjuntamente con la carga axial, el momento flexionante; situación por la cual, los reglamentos de construcción recomiendan que cuando se hace un análisis estructural, se incluyan también en el análisis, los momentos flexionantes.

3.7.1.1. COMPRESIÓN AXIAL:

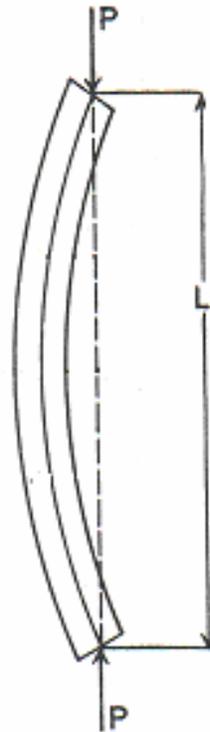
Se puede considerar que la resistencia en compresión axial de un elemento de concreto reforzado se obtiene de la contribución de cuatro factores:

- el concreto del núcleo;
- el acero longitudinal;

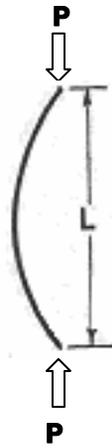
- el concreto de recubrimiento; y
- el refuerzo transversal, que puede ser helicoidal o con estribos.

La contribución a la resistencia aportada por el concreto, tanto el del núcleo como el del recubrimiento, puede valarse como el producto del 85% de la resistencia de un cilindro de control, por el área correspondiente.

La contribución del acero longitudinal, como el producto del esfuerzo de fluencia por el área de acero.



Columna con carga Axial (28)



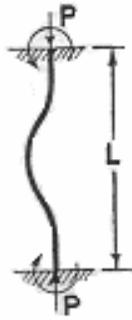
Columna libre de girar en cada extremo



Columna empotrada en un extremo y libre de girar en el otro
Extremos protegidos contra los movimientos externos

29

²⁹ Dibujos elaborados por el autor.



Columna empotrada en sus dos extremos



Columna empotrada por un extremo, con el otro extremo
Libre para poder moverse en cualquier sentido (30)

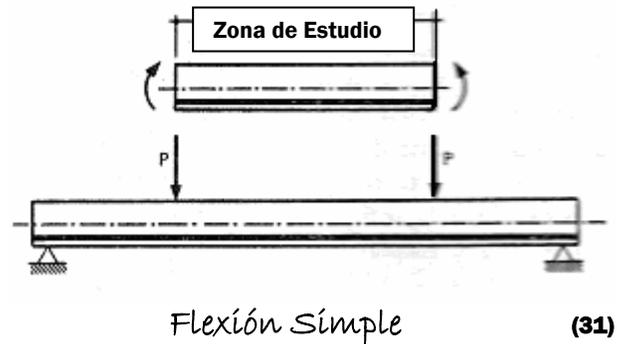
3.7.1.2. TENSIÓN AXIAL:

El concreto es un material sumamente débil a esfuerzos de tensión, y por consiguiente su uso para tal fin es inadecuado, por consiguiente es muy raro que se recurra a elementos de concreto reforzado para que soporten esfuerzos de tensión. Pero en ciertos casos sucede que miembros de una estructura que trabajan normalmente a compresión, tienen que soportar, en ciertos momentos esfuerzos de tensión.

La resistencia a tensión axial de un elemento de concreto reforzado es únicamente la resistencia del acero de refuerzo a sea $A_s f_y$; ya que el concreto se agrieta y no contribuye a la resistencia.

3.7.2. FLEXIÓN SIMPLE:

La flexión simple, se presenta con frecuencia en elementos estructurales, como por ejemplo: losas que trabajan en una sola dirección, vigas o trabes. Es normal que la flexión se presente acompañada de fuerza cortante, más sin embargo, la resistencia a flexión puede calcularse con mucha exactitud desechando el efecto de la fuerza cortante.



³¹ Dibujo elaborado por el autor. Fuente: “Aspectos Fundamentales se Concreto Reforzado”

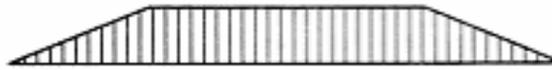


Diagrama de Momento Flexionante



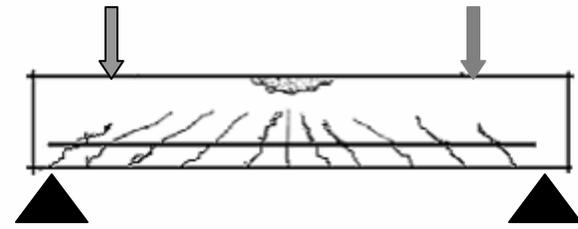
³² Diagrama de Fuerza Cortante (32)

Según la cantidad de hierro con que este reforzada el miembro, este puede fluir o no antes que se alcance la carga máxima. Cuando el hierro de refuerzo fluye, el comportamiento del miembro es dúctil, es decir que se producen deflexiones considerables antes del colapso final, en este caso se dice que el elemento está sub-reforzado; por el contrario cuando la cantidad de acero en tensión es grande, este no fluye antes del aplastamiento, y se dice entonces que el miembro está sobre-reforzado. En el momento en que el miembro estructural alcanza su resistencia cuando el acero empieza a fluir, se dice que el miembro es balanceado.

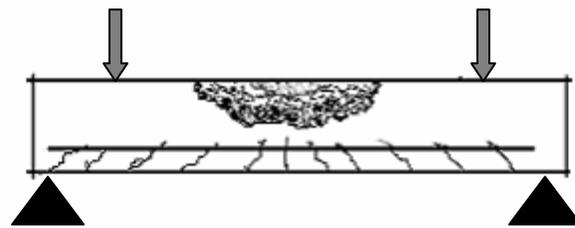
Por consiguiente se puede decir que miembros sub-reforzados, son aquellos donde le valor del índice de refuerzo es bajo y sobre-reforzados, donde el valor, es altos

³² Dibujo elaborado por el autor. Fuente: “Aspectos Fundamentales se Concreto Reforzado”

AGRIETAMIENTO EN LA FALLA DE VIGAS SUJETA A FLEXIÓN



Sub.-reforzada



Sobre-reforzada

(33)

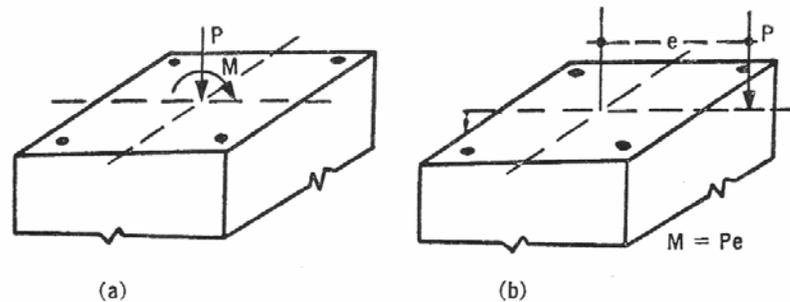
33

3. 7. 3. MOMENTO FLEXIONANTE Y CARGA AXIAL:

Dibujo elaborado por el autor.

Para determinar la resistencia de los elementos sujetos a carga axial y momento flexionante, se consideran únicamente elementos muy cortos en los que no existen problemas de esbeltez. Se presumen conocidas la geometría o diseño de la forma de la pieza o elemento; la cantidad y distribución del hierro de refuerzo, así como la calidad del mismo, definida por su esfuerzo de fluencia f_y ; y la calidad del concreto definida por su resistencia nominal f'_c .

Se puede suponer que la carga axial P , y el momento flexionante M , varían independientemente.



Elementos Equivalentes sujetos a Flexocompresión (34)

(a) Representación esquemática de un elemento bajo la acción de P y M .

(b) Representación de un sistema estáticamente equivalente en el que $M=Pe$.

Un elemento puede alcanzar su resistencia bajo varias combinaciones de carga axial y momento flexionante. Estas varían desde una carga axial, de tensión o compresión máxima, combinada con un momento nulo, hasta un momento máximo aunado a una carga axial nula.

3.7.3.1. COMPORTAMIENTO Y MODOS DE FALLA DE ELEMENTOS SOMETIDOS A

FLEXOCOMPRESION:

Cuando a una pieza o elemento de una estructura se le aplica una carga (P), a una distancia excéntrica (e) constante, esta carga aplicada hace que toda la zona prismática del elemento este sujeta a una carga axial y a un momento flexionante, los cuales van aumentando en igual proporción hasta llega al colapso. Existen dos modos principales de falla en los elementos de una estructura sujetos a flexocompresión:

- Falla en compresión, y
- Falla en tensión.

En el primer caso la falla se produce por aplastamiento del concreto. El acero del lado más comprimido fluye, en tanto que el del lado opuesto no fluye en tensión.

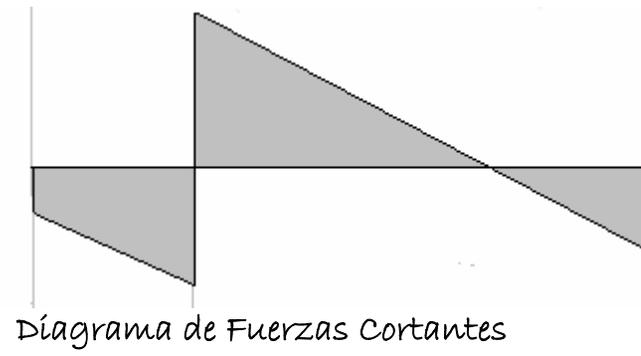
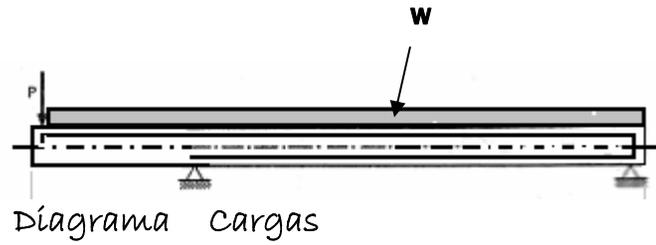
En el segundo caso se produce cuando el acero de un lado fluye en tensión, antes que se produzca el aplastamiento del concreto en el lado opuesto, más comprimido.

El tipo de falla obedece fundamentalmente a la relación entre el momento (M) y la carga axial (P) en el colapso.

3.7.4. FUERZA CORTANTE

En un elemento de concreto donde existe fuerza cortante, se desarrollan esfuerzos de tensión inclinados con respecto al eje longitudinal del miembro. Para absorber estos esfuerzos, se hace necesario un refuerzo transversal, o refuerzo en el alma, el cual puede ser de distintos tipos, como aprovechando parte del hierro de refuerzo principal de flexión, (al doblarlo se forman las llamadas comúnmente “tensiones”) o el más común el “estribo”, el cual puede ser en forma de “U” o cerrado, siendo el más eficiente el que tiene cerrados sus extremos a 135° . Los estribos se pueden colocar verticalmente o inclinados, siendo a 45° la inclinación más utilizada

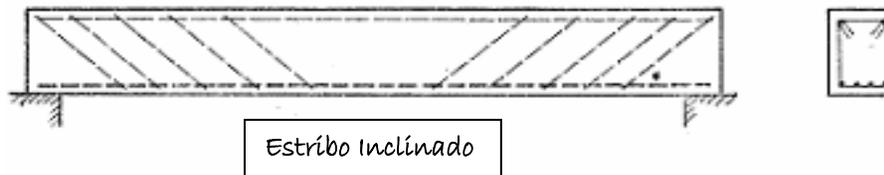
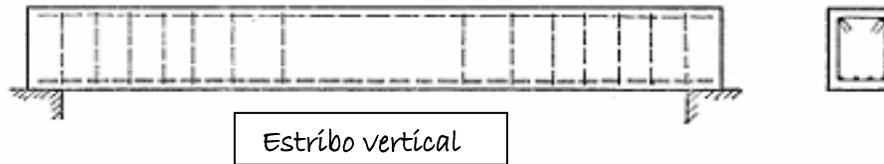
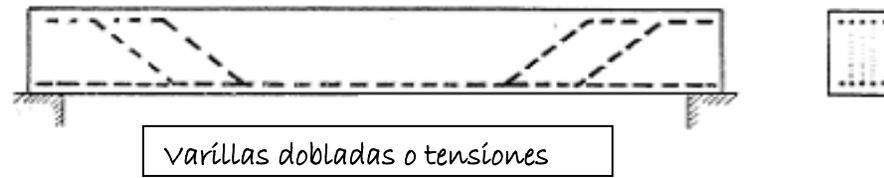
Gráfica de Cargas y Diagrama de Corte de una viga de sección "T" con voladizo



35

Típos de Refuerzo

³⁵ Dibujos elaborados por el autor.



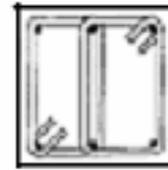
Est.. Cerrado Est.. Cerrado doble Est.. En "U"

³⁶ Dibujos elaborados por el autor.

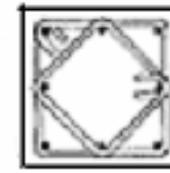
Sugerencias de colocación de estribos



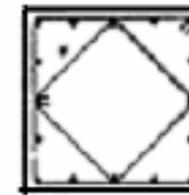
4 varillas
est. sencillos



6 varillas
2 est. por juego



8 varillas
2 est. por juego



16 varillas
2 est. por juego

(37)

3.7.5. TORSIÓN:

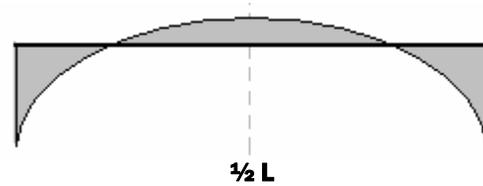
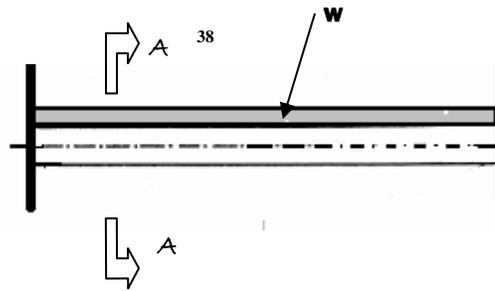
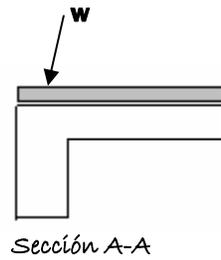
Torsión es el esfuerzo de cortante de rotación que sucede cuando un componente estructural se tuerce en torno de su eje. En las estructuras de concreto reforzado debido a su carácter compacto, las acciones torsionantes se presentan acompañadas con esfuerzos de flexión, fuerza cortante y fuerza normal.

Entre los sistemas estructurales que están sujetos a Torsión tenemos:

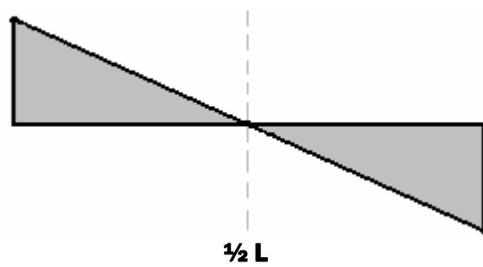
- **Vigas con muros colocados excéntricamente,**
- **Vigas de borde de piso, vigas curvas,**
- **Vigas que soportan marquesinas,**
- **Estructuras reticulares con cargas normales a su plano, y**
- **Marcos con trabes fuera del plano de las columnas.**

No es frecuente encontrar casos de torsión simple, ya que esta se presenta acompañada de flexión y fuerza cortante.

Elemento sujeto a Torsión, Flexión y Cortante



Díagrama de Momento Flexionante



Díagrama de Fuerza Cortante (38)

³⁸ Dibujos elaborados por el autor.

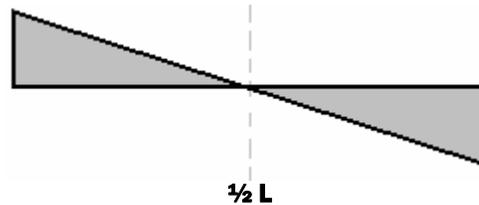


Diagrama de Momento Torsionante

(39)

La falla por torsión ocurre súbitamente para valores pequeños del ángulo de giro, la falla se inicia con una grieta inclinada de tensión en una de las caras mayores de la viga, esta se abre rápidamente y se extiende a las caras menores; la falla ocurre finalmente por aplastamiento del concreto en la cara mayor opuesta.

Desde el punto de vista de torsión, el refuerzo longitudinal no es eficiente si no está acompañado de refuerzo transversal. Dependiendo del refuerzo se distinguen tres tipos de elementos: sub-reforzados, en los que a la hora de la falla por torsión fluyen el acero transversal y longitudinal; sobre reforzados, en los que el concreto se aplasta antes de que fluya el refuerzo; y parcialmente sobre-reforzados, en los que solamente fluye el acero transversal o el longitudinal.

Para calcular la resistencia a la torsión se han desarrollado varias teorías:

- **Teoría Elástica,**
- **Teoría Plástica, y**
- **La Teoría de Hsu.**

La Teoría Elástica fue desarrollada en 1,855 por Saint Venant, esta permite calcular la resistencia de barras prismáticas de material elástico con cualquier sección transversal sujetas a momentos de torsión en los extremos, y se fundamenta en el supuesto de que el concreto es un material completamente elástico.

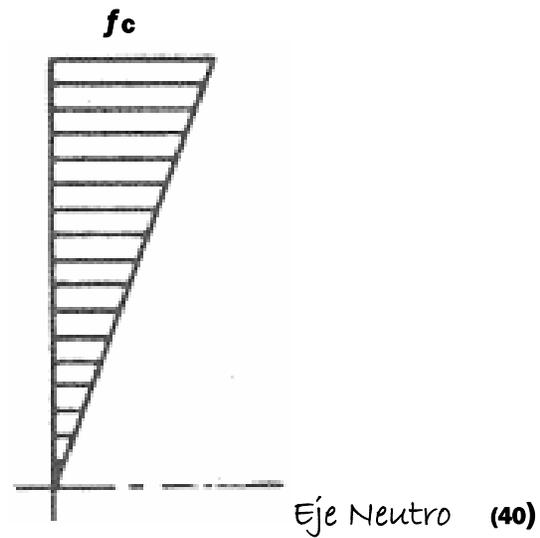
La Teoría Plástica se aplica a miembros de una estructura elaborada con materiales elastoplásticos o plásticos. La aplicación de la teoría plástica a elementos de concreto reforzado, supone un esfuerzo cortante máximo igual a la resistencia en tensión del concreto, y se fundamenta en que el concreto es un material completamente plástico.

La Teoría de Hsu se desarrolló a partir del análisis del comportamiento de una viga simple que falla súbitamente para valores pequeños de ángulo de giro, es decir que es una falla de tipo frágil. Esta teoría se basa en que la falla en una estructura de concreto reforzado, ocurre por flexión en la superficie de falla, la cual se idealiza por un plano inclinado a 45° respecto al eje longitudinal del elemento y se supone que la falla ocurre por una componente del momento de torsión, que produce flexión en la sección de falla.

3.7.6. DISEÑO ELÁSTICO Y DISEÑO BASADO EN LA RESISTENCIA DE RUPTURA:

El diseño Elástico basa su teoría en que los esfuerzos de trabajo (DET) y la distribución de esfuerzos elástica es en la línea recta.

⁴⁰Distribución supuesta de los esfuerzos de compresión en vigas
(Esfuerzos de Trabajo) En Línea Recta

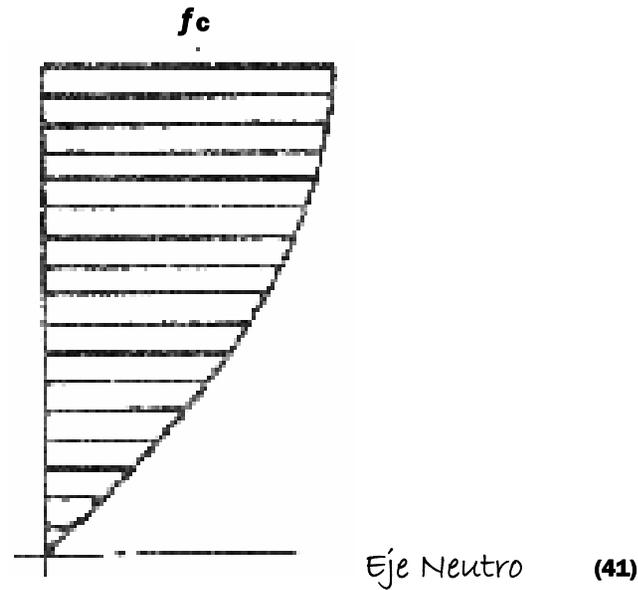


El diseño basado en la resistencia de ruptura, fundamenta su teoría en que los esfuerzos de compresión en las vigas, a la falla tienen una distribución parabólica, que va de 0 en el eje neutro a la resistencia de ruptura f_c , en la fibra extrema.

⁴⁰ Dibujo elaborado por el autor. Fuente: "Teoría Elemental del Concreto Reforzado."

Lo que si en necesario tener en cuenta es que todas las estructuras se diseñarán de acuerdo con algún método de análisis elástico aprobado.

Distribución supuesta de los esfuerzos de compresión en vigas
(Resistencia a la Ruptura) Parabólica



Ambos métodos, (diseño basado en esfuerzos de trabajo DET, o método basado en la resistencia de ruptura DRU) tienen igual legalidad.

41

Dibujo elaborado por el autor. Fuente: "Teoría Elemental del Concreto Reforzado."

3.7.7. FACTORES DE SEGURIDAD:

Debido a que la calidad de materiales no es uniforme, sino que varía; así como a posibles variaciones de medidas, o a posibles sobrecargas, o a esfuerzos no calculados o por errores en las simplificaciones o aproximaciones de los procesos de cálculo, los miembros estructurales se proyectan o diseñan para que tengan alguna resistencia de reserva.

Esta resistencia de reserva es la que se conoce como medida o factor de seguridad (U). Que se obtiene dividiendo el esfuerzo último entre el esfuerzo al que va hacerse trabajar el material. Este factor de seguridad se utiliza en los cálculos que toman como base la deformación elástica (en línea recta), o sea que el factor de seguridad es la relación de la carga que produciría la falla o colapso sobre la carga de servicio o trabajo.

Para las cargas totales se especifica que la carga de ruptura se debe obtener de los valores de servicio usando la relación: $U = 1.5 C.M. + 1.7 C.V.$, donde C.M. es la carga muerta y C.V. es la carga viva.

Existen otros factores llamados factores ϕ , estos factores tienen los valores siguientes:

- para cálculo de flexión $\phi = 0.90$;
- para tensión diagonal adherencia y anclaje $\phi = 0.85$;
- para miembros con refuerzo helicoidal que trabajan a compresión $\phi = 0.75$; y
- para miembros con estribos que trabajan a compresión $\phi = 0.70$.

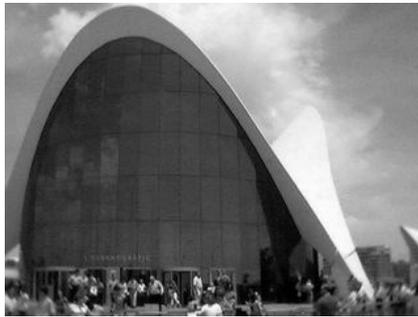
Los factores ϕ se refieren a:

- las variaciones en materiales;
- mal dimensionamiento en el proceso de la construcción;
- aproximaciones en la etapa de cálculo; y
- otras asuntos en los que no se puede tener control.

4. ESTRUCTURAS Y TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL ADECUADAS DE CONCRETO REFORZADO:

El concreto reforzado funciona eficientemente como elemento estructural, tanto a tensión como a compresión, debido a la adhesión de naturaleza química entre el hierro de refuerzo y el concreto; sobre la base de lo anterior y debido a los procedimientos constructivos usados en su fabricación, las estructuras de concreto reforzado tienen ciertas características que las hacen diferentes de las estructuras de otros materiales.

Debido a que el concreto se fabrica en forma plástica, al hacerlo se obliga a usar moldes que lo sostengan, mientras adquiere resistencia suficiente, para sostenerse por sí mismo, esta característica, aunque parece negativa, da ciertas ventajas como la "moldeabilidad", propiedad que permite elegir, cualquier tipo de forma y construir estructuras como los cascarones (Paraboloides Hiperbólicos).



Ejemplos de Estructuras de Concreto en forma de Paraboloides Hiperbólicos. (42)

Otra característica es la facilidad con que se puede lograr continuidad en estas estructuras, el monolitismo es consecuencia natural del concreto reforzado.

Existen dos procedimientos para fabricar estructuras de concreto reforzado: "In situ" o sea en el mismo lugar; y prefabricadas, estas últimas pueden ser pre y postensadas. El primer procedimiento obliga a una secuencia determinada de operaciones, además es necesario muchas veces construir obras falsas y transportar el concreto de su lugar de elaboración a su posición final. Con el segundo procedimiento, se economiza la obra falsa y se pueden realizar varias etapas a la vez.

⁴²Fuente: "Biblioteca Atrium de la Construcción".

El concreto pre y postensado ha eliminado muchos obstáculos en cuanto a la envergadura y las cargas que soportan las estructuras de concreto para ser factibles desde el punto de vista económico.

La función básica del acero pretensado es reducir las fuerzas longitudinales en ciertos puntos de la estructura. El pretensado se lleva a cabo tensando acero de alta resistencia para provocar fuerzas de compresión al concreto. El efecto de esta fuerza de compresión es similar a lo que ocurre cuando se quiere transportar una fila de ladrillos horizontalmente; si se aplica suficiente presión en los extremos, se inducen fuerzas de compresión a toda la fila, y se puede levantar y transportar toda la fila, aunque no se toquen los ladrillos de la parte central. Estas fuerzas compresoras se inducen en la estructura de concreto pretensado por medio de la tensión de los refuerzos de acero antes de que se endurezca el concreto, aunque en algunos casos el acero se tensa cuando ya se ha secado.

En el proceso de pretensado, los tendones de acero se tensan antes de verterle concreto. Cuando el concreto se ha endurecido alrededor de estos refuerzos tensados, se sueltan las barras de acero; éstas se encogen un poco y provocan fuerzas de compresión al concreto.

En el postensado, el concreto se vierte alrededor de los tendones de acero, pero sin que entre en contacto con él; cuando el concreto se ha secado se ancla un extremo del refuerzo de acero al concreto y se presiona por el otro extremo con equipo hidráulico. Cuando la tensión es la requerida, se ancla el otro extremo del refuerzo y el concreto queda comprimido.

Actualmente en Guatemala se elaboran elementos de concreto prefabricado y se utilizan en: estabilizadores de talud ecológicos, muros de contención, contrafuertes, planchas de muros, tierra armada, losas, losas pretensadas, losas de casetones, losas de viguetas pretensadas, losas de viguetas y bovedilla, losas de viguetas de alma llena y bovedilla, losas de viguetas y molde LK y LK₂, casas prefabricadas. Bardas, columnas, columnas con casetones, vigas, vigas T, vigas I, gradas y graderíos, planchas de cerramiento, pasarelas, barreras, bóvedas, puentes de más de 40 mts., pilotes y ataúdes.

Estos procedimientos presentan el inconveniente de costos adicionales como los costos del transporte de elementos prefabricados, del montaje de los mismos y además se pierde la facilidad para lograr la continuidad de la estructura.

Como se dijo anteriormente, uno de los elementos más utilizados para la solución a problemas arquitectónicos lo constituye el concreto reforzado; en ese sentido la utilización de sistemas flexionados de concreto reforzado controlados con recursos técnicos se hace necesario.

Estos recursos técnicos pueden ser: el uso del voladizo; la rigidización de las condiciones de apoyo; el dimensionamiento proporcionado de las secciones resistentes; el proporcionamiento adecuado de los componentes del concreto; la eliminación de las cargas muertas innecesarias, (como por ejemplo: utilizando concretos livianos o utilizando

losas nervuradas o reticulares, el cambio de dimensionamiento de la sección transversal del elemento horizontal, la utilización de vigas sección I o sección T.).

Los tipos anteriores conllevan a una tipología estructural adecuada de concreto reforzado para encerrar o cubrir espacios. Los principales tipos estructurales utilizados son:

- **Los cimientos**
- **las columnas;**
- **los muros de carga;**
- **las vigas, en todas sus formas y dimensiones;**
- **los marcos con sus componentes horizontales y verticales;**
- **las losas, las cuales pueden ser: planas o inclinadas, y por la forma en que se apoyan pueden ser: losas apoyadas en una dirección y losas apoyadas en dos direcciones;**
- **Bóvedas de Entramado o Laminares;**
- **Sistema de Cascarones; y**
- **Estructuras Laminares o Placas Dobladas.**

4.1 CIMIENTOS

Los cimientos son los elementos estructurales que soportan y dan estabilidad a una edificación. Su diseño, depende en gran medida de la naturaleza del suelo y las circunstancias geológicas del subsuelo. así como de las transformaciones realizadas por el hombre en los mismo. Cuando el suelo es inestable, la cimentación debe tener una profundidad suficiente para alcanzar zonas de materiales sólidos. Si se encuentra una capa rocosa firme a poca distancia bajo la superficie, el tamaño del cimiento no tiene que ser muy grande. En la medida que se encuentren rocas y suelos más débiles, el tamaño del cimiento sobre el que se distribuirá el peso de la edificación deberá ser mayor.

Los cimientos por su profundidad se clasifican en profundos y superficiales. Los cimientos superficiales se encuentran a poca distancia bajo la base del edificio, como el cimiento corrido, para pequeñas edificaciones, y las losas continuas y las zapatas, para edificaciones de mayor magnitud. Los cimientos profundos se extienden a varios metros bajo el edificio, como los pilotes y los pozos de cimentación o cimientos de zapatas rígidas. . Como ya se dijo, la selección del tipo de cimentación para un edificio determinado dependerá de la firmeza del suelo, la magnitud de las cargas y la profundidad del nivel de las aguas subterráneas.

Los cimientos más económicos son: el cimiento corrido, que se utiliza en la construcción de casas o edificaciones pequeñas y de un nivel; las zapatas, las cuales pueden ser: cuadradas, rectangulares, armadas en un sentido, armadas en dos sentidos, inclinadas y escalonadas empleados para la construcción de edificios en zonas cuya superficie no presenta dificultades especiales. Las zapatas consisten en planchas de concreto situadas bajo cada columna de la estructura y una plancha continua (zapata continua) bajo los muros de carga.

Las cimentaciones de Losa continua se acostumbra utilizarlas en casos en los que las cargas del edificio son tan grandes y el suelo tan poco resistente que las zapatas por sí solas cubrirían más de la mitad de la zona de construcción. Consisten en una losa de concreto reforzado, que soporta el peso proveniente de las columnas. La carga que descansa sobre cada zona de la losa no es excesiva y se distribuye por toda la superficie. En las cimentaciones bajo edificios de gran envergadura, las cargas se pueden repartir por medio de nervaduras o muros cruzados, que rigidizan la losa.

Los pilotes se emplean en zonas en las que las condiciones del suelo próximo a la superficie no son buenas y se colocan agrupados en pilares. Los pilotes se introducen a determinada profundidad dentro de la roca o suelo y cada pilar se cubre con una capa de hormigón armado. Un pilote puede soportar su carga tanto en su base como en cualquier parte de su estructura por la fricción que se produce en la superficie del mismo. La cantidad de pilotes que debe incluirse en cada pilar dependerá de la carga de la estructura y la capacidad de soporte de cada pilote de la columna. Los cimientos de zapatas rígidas se utilizan cuando hay un suelo apropiado para soportar grandes cargas, bajo capas superficiales de materiales débiles como arena o tierra de relleno. Este tipo de cimiento consiste en unos pilares de concreto reforzado construidos en forma de cilindros que se excavan en los lugares sobre los que se asentarán las vigas de la estructura. Estos cimientos soportan las cargas del edificio en su extremo inferior, que generalmente tiene forma de campana.

4.2. COLUMNAS:

Una columna es un miembro estructural lineal, habitualmente vertical, que sirve de apoyo a los componentes horizontales, por consiguiente está sometido a Esfuerzos de Compresión a lo largo de su eje.

Dependiendo de su longitud y por consiguiente su relación de esbeltez (relación de la sección transversal y la altura) las columnas pueden ser: cortas o largas, siendo el comportamiento estructural de cada tipo diferente. Una Columna Corta sujeta a una carga excesiva, no se flexiona sino falla por ruptura, mientras que una Columna Larga tiende a pandearse, o flexionarse, por consiguiente las columnas deben diseñarse no sólo para trabajar a esfuerzos de compresión, sino también a esfuerzos de flexión.

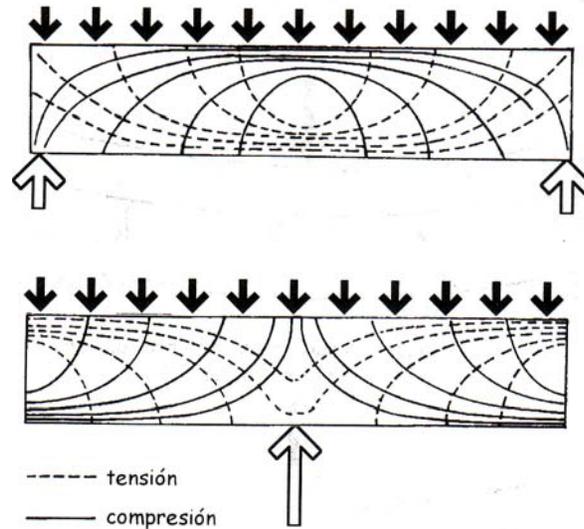
4.3. MUROS DE CARGA:

Un Muro de Carga es un componente estructural continuo en una dirección, sujeto a compresión y por consiguiente distribuye continuamente cargas verticales, las cuales se propagan gradualmente a los cimientos. Cuando las construcciones tienen varios niveles, los muros de carga no solo llevan el peso propio, y el del piso de encima, sino también el peso acumulado de todos los niveles superiores, por eso es que en las construcciones generalmente se utilizan marcos estructurales para soportar las cargas de muros, tabiques y pisos. La utilización de muros de carga se recomienda cuando la carga esta relativamente distribuida de manera uniforme.

4.4. VIGAS:

Las vigas son los miembros estructurales, generalmente colocados en forma horizontal, a las que se les aplican cargas perpendiculares a lo largo del eje, a estas cargas se les conoce como Cargas de Flexión. Es el elemento estructural típico, sometido a esfuerzos de flexión y la solución más común para transmitir cargas verticales y horizontales a los miembros de carga.

La Flexión es el resultado de aplicar cargas perpendiculares a lo largo del eje de la viga, dando como resultado un arqueamiento de la misma o deflexión de la viga lo que causa un estiramiento o Tensión en la cara inferior de la viga y un acortamiento en la cara superior, provocando por consiguiente en dicha cara esfuerzos de Compresión. Ambos esfuerzos, Tensión y Compresión, se presentan en paralelo dando como resultado adicional a los esfuerzos Cortantes. Los factores que afectan la deflexión de un viga simplemente apoyada son: La luz, el ancho, el peralte, la localización de la o las cargas, la forma de la sección transversal, y por consiguiente la forma longitudinal y el material.



43

El uso principal de una viga es servir de apoyo a otro elemento estructural, la losa. Por la forma en que están apoyadas las vigas pueden ser:

- **Vigas simplemente apoyadas;**
- **Vigas en Voladizo o en Cantilliver, la cual tiene un extremo apoyado y el otro libre;**
- **Vigas doblemente empotradas;**
- **Vigas Continuas o con varios apoyos;**
- **Vigas combinadas de los tipos anteriores; y**
- **Viguetas.**

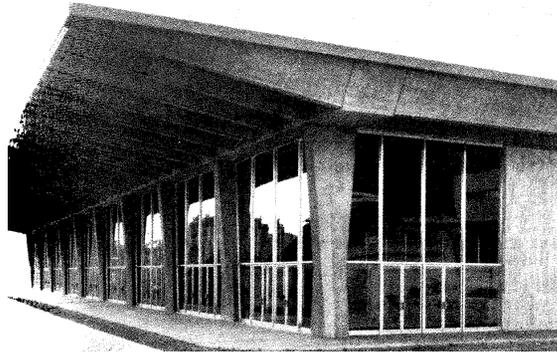
La viga simplemente apoyada, es la que más se deforma, debida a que su conexión tiene rotación sin restricción, aunque la traslación se restringe.

⁴³ Fuente: "Comprensión de las Estructuras en arquitectura".

En cuanto a las vigas en voladizo o en Cantiliver, estas se utilizan estructuralmente para reducir las deformaciones en los elementos de la estructura y arquitectónicamente cuando la funcionalidad del espacio lo demande.

Para lograr un mayor grado de eficiencia en las vigas en voladizo, y una menor deformación de los elementos estructurales, es decir que el momento negativo sea casi igual al momento positivo del centro de la luz, la longitud del voladizo debe ser igual a la longitud de la luz interior dividido entre la $\sqrt{8}$ que es igual a 2.8284. Por lo tanto se dice que la longitud ideal del voladizo debe ser igual a $1/3$ de la longitud de la luz de la viga interior.

En algunas ocasiones no se aplica bien el concepto de viga en voladizo, ya que se le da este nombre a vigas salientes, es decir a vigas que tienen varios apoyos y que salen del último apoyo articulado, mientras que en la viga en voladizo el último soporte debe ser fijo.



ESTACION DEL FERROCARRIL, SAVONA,
NERVI. MARQUESINA EN VOLADIZO DE 7.5 MTS (44)



ENTRADA A IBM, YORKTAWN, VIGAS Y
MARQUESINA EN VOLADIZO. (44-A)

La viga doblemente empotrada, es la restrictiva, es decir la más rígida de todas y por consiguiente menos deformable, ya que no puede girar en sus apoyos.

La viga continua, es una viga simple que está desarrollada en varios apoyos fijos.

Las Viguetas son vigas colocadas en una dirección y cuyo espaciado es muy corto y para que su uso sea más eficiente y más económico se recomienda que se coloque en la dirección de la luz más corta.

⁴⁴ Fuente: “ Estudio Paperback” - 44-A. Fuente: “Creadores de Arquitectura Contemporánea”.

El entramado de vigas da origen a la retícula de vigas, que no es más que el cruce de vigas en sentido longitudinal, con vigas en sentido transversal, habitualmente de la misma sección. El espaciado o luz entre las vigas del entramado, por lo general es uniforme o guardando cierta relación. Por la forma en que se intersectan las vigas en un entramado las retículas pueden ser:

- Retículas ortogonales o perpendiculares; y
- Retículas oblicuas o en forma de rombos.

La retícula de vigas oblicuas tiene la ventaja sobre la retícula ortogonal que logra un efecto de semiempotramiento en los apoyos, lo que le brinda mayor rigidez al sistema.

El reticulado se utiliza arquitectónicamente para embellecer la cubierta de un espacio; y estructuralmente para cubrir espacios mayores, donde NO se quieren, o no se pueden utilizar apoyos intermedios, ya que cada nudo o intersección de vigas actúa como apoyo intermedio lo que hace que cada viga de la retícula actúe como apoyo intermedio; o cuando no se quieren utilizar vigas muy peraltadas, ya sea por costo o porque el diseño arquitectónico lo demande.

Para alcanzar el grado óptimo de eficiencia en un entramado de vigas, la longitud de vigas en ambos sentidos deben ser iguales, ya que así trabajan de la misma forma.

4.5. MARCOS:

Los marcos están conformados por miembros verticales, las columnas, y por miembros horizontales, las vigas. Tanto los miembros verticales, como los horizontales tienen continuidad entre sí, trabajando como un solo elemento. Al trabajar el marco como un elemento único, las deformaciones, producto de las cargas, se comparten, lo que conlleva a una reducción de las mismas. Los marcos por el tipo de apoyo que tienen pueden ser:

- Empotrados; y
- Articulados.

Los marcos con los apoyos articulados son más eficientes en cuanto a la distribución de *Momentos*, pues en la base del apoyo el Momento resistente (M), es igual a 0, por lo que la sección resistente es menor, en cuanto a los marcos empotrados, por estar restringidos los apoyos al giro, el Momento resistente (M) en los apoyos es distinto a 0, por lo que la sección resistente es mayor.

Los marcos generalmente se utilizan amarrados con otros marcos por medio de vigas, lo que origina los marcos múltiples, los que al combinarlos con losas dan origen a espacios, dichos espacios pueden ser espacios horizontales o espacios verticales. Cuando se intersectan los miembros o elementos de una estructura en sentido vertical y horizontal se originan las uniones continuas de los miembros flexionados o sujetos a flexión; estas uniones reciben el nombre de nudos.

4.6. LOSAS:

La losa es un elemento sujeto a flexión que distribuye la carga o cargas horizontalmente en una o más direcciones, pero dentro de un solo plano (comportamiento de placa), cuya resistencia a la flexión es similar a la de una viga. Las losas se clasifican generalmente por la forma en que están soportadas, lo cual determina su comportamiento de flexión. En ese sentido las losas pueden ser:

- **Losas apoyadas en una dirección.**
- **Losas apoyadas en dos direcciones.**

Las losas apoyadas en una dirección o en un sentido, están soportadas de manera continua por dos apoyos paralelos ya sean vigas o muros, y la resistencia a la flexión es principalmente en una dirección.

Las losas apoyadas en dos direcciones, están soportadas continuamente en los cuatro lados por medio de vigas o muros y la resistencia a la flexión es en los dos sentidos. Cuando el bastidor de soporte es cuadrado la losa apoyada en dos direcciones trabaja más eficientemente, si el bastidor de apoyo se alarga su comportamiento se va haciendo más parecido a la losa apoyada en un sentido.

Estructuralmente las losas apoyadas en dos sentidos tienen mayor capacidad de soporte y pueden ser menos peraltadas que una losa simplemente apoyada, lo que generalmente implica menos costo.

A este tipo de losas se le conoce también como losas macizas bordeportante, o apoyada en los bordes, y se pueden armar en uno o dos sentidos, dependiendo de la proporción del espacio a cubrir. Las cargas siempre se transmiten en dos sentidos, siendo mayores las del lado más corto, y menores las del lado mayor. De lo anterior se deduce lógicamente que cuando el lado mayor es muy largo (relación mayor de 2 a 1), el refuerzo se hará en el sentido corto, debido a que, en el sentido largo casi no trabaja.

Cuando las losas están soportadas únicamente en los puntos de las columnas se denominan Losas Planas, las cuales soportan una concentración alta de esfuerzo cortante alrededor de las columnas., por consiguiente las losas planas deben ser muy reforzadas, sobretodo al rededor de las columnas, o incrementando la parte superior de la columna, formando un capitel. Generalmente este tipo de estructura es menos costoso, por lo que se prefiere para utilizarlo en luces cortas, cuando las cargas vivas son grandes o para cubrir espacios de forma irregular, donde la utilización de vigas se hace problemática

Al igual que en las vigas, en las losas se utilizan los mismos métodos para reducir las deformaciones, como el uso del voladizo, el acartelamiento, o incremento o reducción del peralte donde lo demande o sea la racionalización en la distribución del volumen resistente y la rigidización en la condiciones de apoyo.

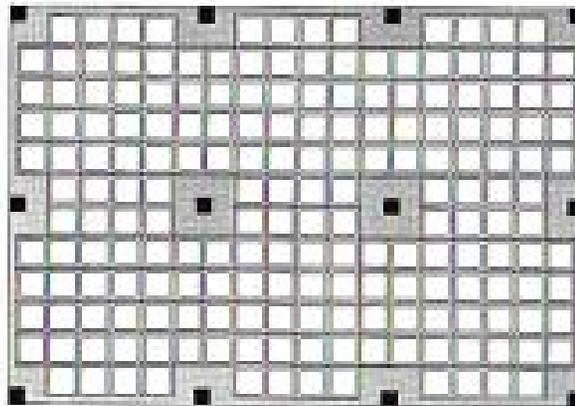
Para reducir el peso así como la utilización de materiales y por consiguiente el costo, se utilizan las losas nervadas o nervuradas, estas pueden ser:

- Nervadas en una dirección, por medio de viguetas; y
- Nervadas en dos direcciones o losas reticulares.

En las losas nervadas en una dirección las viguetas trabajan integralmente con la losa en la parte superior. Para la construcción de las viguetas, se puede utilizar block vacío o moldes tipo U; así mismo se pueden utilizar viguetas prefabricadas, las cuales tienen tres diferentes separaciones, dependiendo de la carga a soportar.

Las losas nervadas en dos direcciones se le llama losas reticulares, estas se comportan de manera similar a las vigas reticuladas con la diferencia que la losa conforma una parte continua e integral del sistema. La retícula más barata es la retícula cuadrada, e independiente de la proporción de la retícula, esta se extiende en los dos sentidos, evitando la retícula alrededor de las columnas, para aumentar así, la resistencia al corte.

LOSA NERVURADA EN DOS SENTIDOS



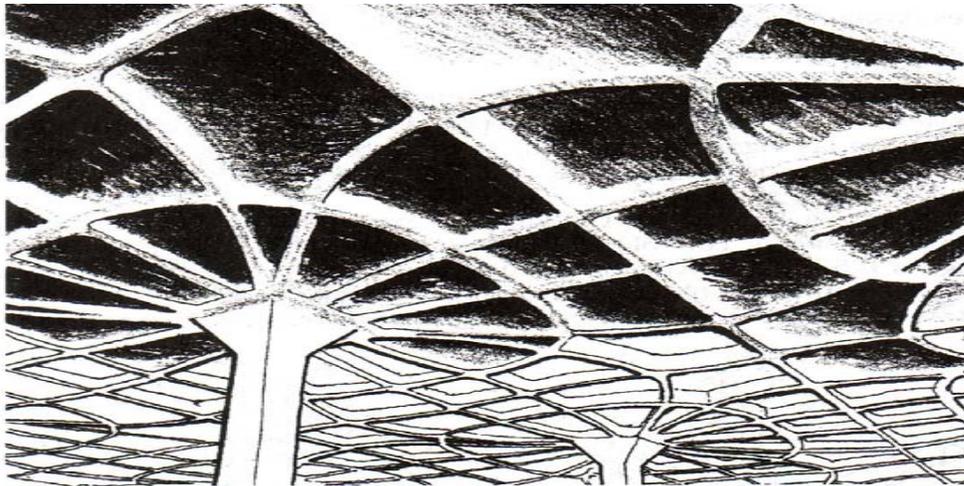
(45)

Para la construcción de losas reticulares, se utiliza formaleta de madera, de fibra de vidrio o de metal, utilizando la que más barata salga, dependiendo de la magnitud de la obra, o del número de veces a utilizar el mismo molde. Generalmente el tipo de acabado es de concreto expuesto, por lo que se espera siempre en estos casos muy buenas fundiciones.



FORMALETA DE MADERA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LOSAS RETICULARES (46)

Otra alternativa arquitectónica lo constituye la losa con viguetas isostáticas, es decir que las nervaduras siguen las líneas isostáticas o líneas del esfuerzo principal el cual es curvo, dando como resultado una losa reticular de patrón curvado.



Losa nervurada que sigue líneas isostáticas

(47)

Para el diseño de losas hay que tomar en cuenta lo siguiente:

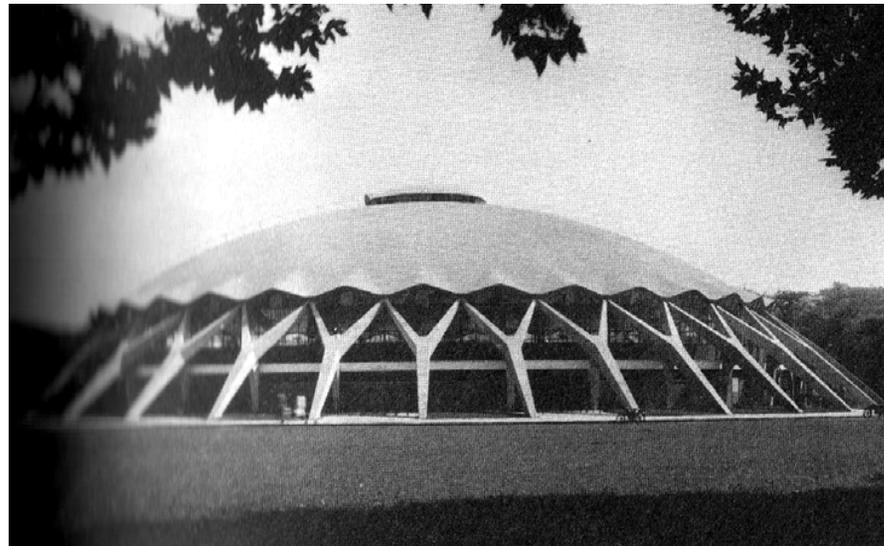
- **El peralte de cualquier losa no deberá ser menor de 9 cms., ni menor al perímetro de la losa dividido entre 180.**
- **La separación entre varillas de hierro de refuerzo, deberá ser menor al triple de la altura del peralte de la losa.**
- **En las esquinas exteriores de una losa en voladizo, se colocará varillas de hierro de refuerzo, diagonal al refuerzo normal, tanto en la parte superior como inferior de la losa.**

4.7. BOVEDAS DE ENTRAMADO O LAMINARES.

Una bóveda entramada está conformada por arcos oblicuos diagonalmente en planta, formando un plantilla de rombos o diamantes. La construcción entramada en concreto reforzado consiste en fundir en el lugar elementos cortos o tramos unidos formando ángulos, dando origen a un patrón en forma de canasta. Las bóvedas entramadas pueden ser:

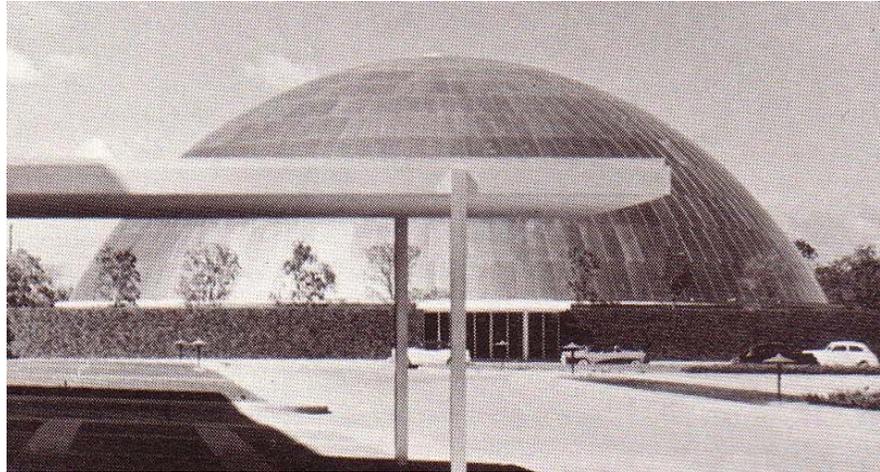
- Cilíndricas; y
- Cupulares.

Aunque la madera y el acero se utilizan para la fabricación de este tipo de bóvedas, se emplea también el concreto reforzado para construir bóvedas de tipo entramado y nervurado. Dentro de los ejemplos más sobresalientes de domos entramados en concreto reforzado se encuentra: El pequeño palacio de los deportes, construido en Roma en 1957 por Pier Luigi Nervi y A. Vitelozzi; la sala de diseño del Centro Técnico de la General Motors. Y los hangares de Nervi, en el que sobresale el Hangar de Orvieto.



PEQUEÑO PALACIO DE LOS DEPORTES, ROMA, NERVI ⁴⁸

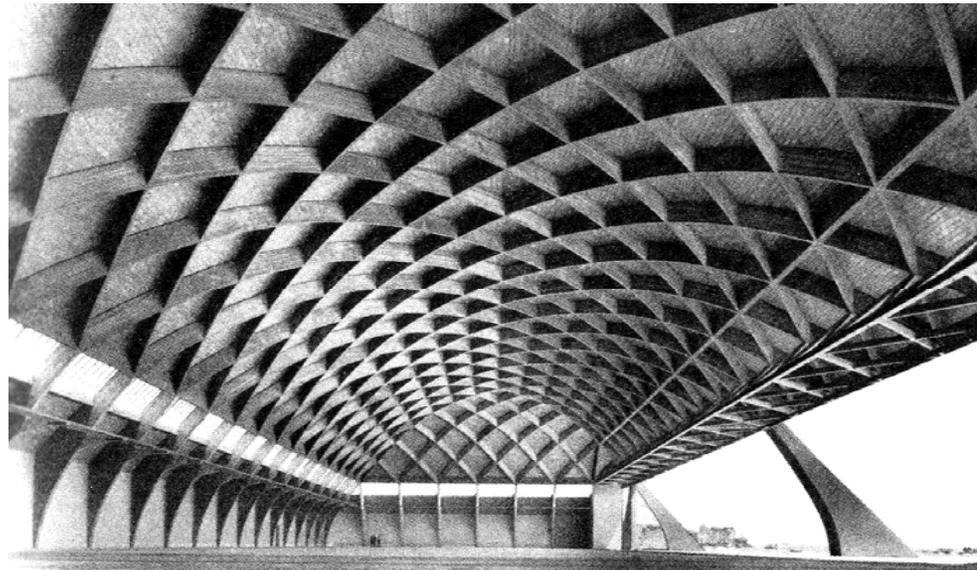
⁴⁸ Fuente: “Estudio Paperback”



CENTRO TÉCNICO DE LA GENERAL MOTORS, SALA DE DISEÑO.

(49)

49



HANGAR DE ORVIETO, VISTA INTERIOR, NERVI.

(49-A)

⁴⁹ -Fuente: Foto de Ezra Stoller. (49-A) Fuente: "Estudio Paperback"

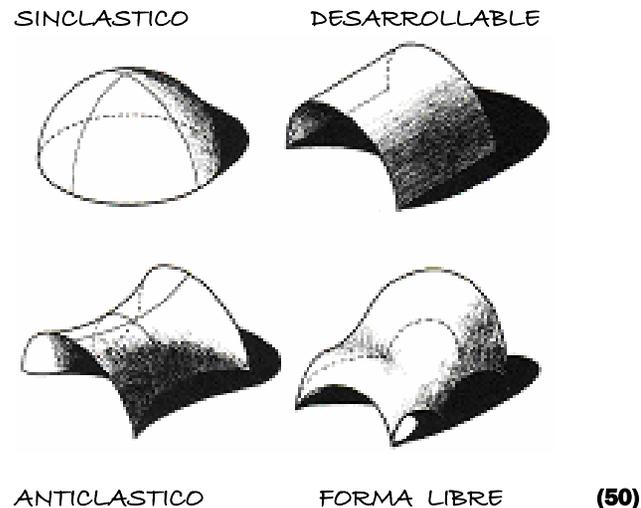
4.8. SISTEMAS DE CASCARONES

Un cascarón es una estructura de poco espesor y curva que trasmite las cargas a los apoyos por tensión, compresión, y cortante. A diferencia de las bóvedas tradicionales, los cascarones tienen capacidad para resistir esfuerzos de tensión. Debido a que el concreto reforzado es uno de los materiales estructurales más moldeables la mayoría de cascarones arquitectónicos se construyen de este material, aunque se puede utilizar madera contrachapada, metal y plásticos reforzado con vidrio.

Los cascarones, por distribuir las cargas de manera uniforme, son estructuras muy eficientes al utilizarlos como techos, pero por ser muy delgados, tienen poca capacidad para resistir la flexión local provocada por cargas concentradas significativas.

Por su ⁵⁰forma los cascarones se clasifican en:

- De forma Sinclástica;
- De formas Desarrollables;
- De formas Anticlásticas; y
- De forma Libre.

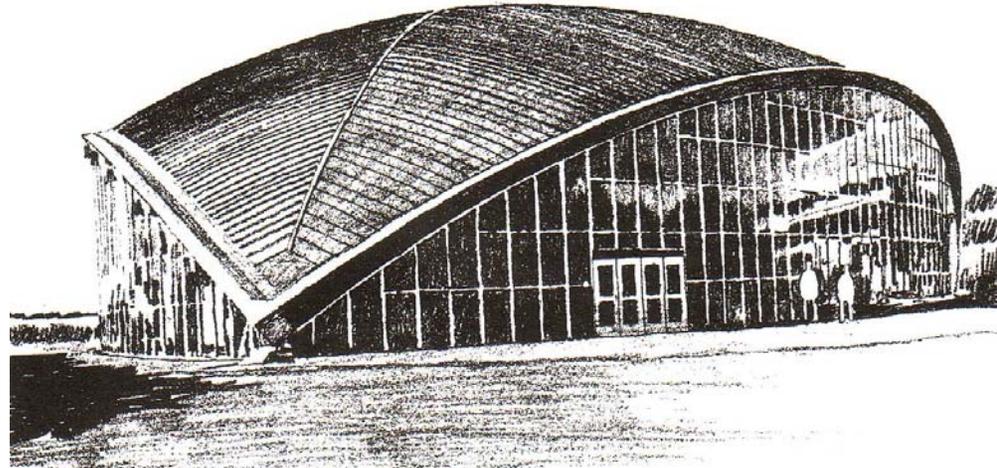


⁵⁰ Fuente: “Comprensión de las Estructuras en Arquitectura.”

Los cascarones de forma sinclástica o domos, son doblemente curvados y en cada dirección tienen una curvatura similar, ya que su superficie se genera girando un arco de un círculo alrededor de un eje vertical. El domo más común es el esférico. Y los esfuerzos actúan en dos sentidos, unos a lo largo de las líneas de arco y otros a lo largo de las líneas de aro.

Por su forma estos se subdividen en:

- **Domos hemisféricos;**
- **Domos Elípticos; y**
- **Domos Parabólicos.**

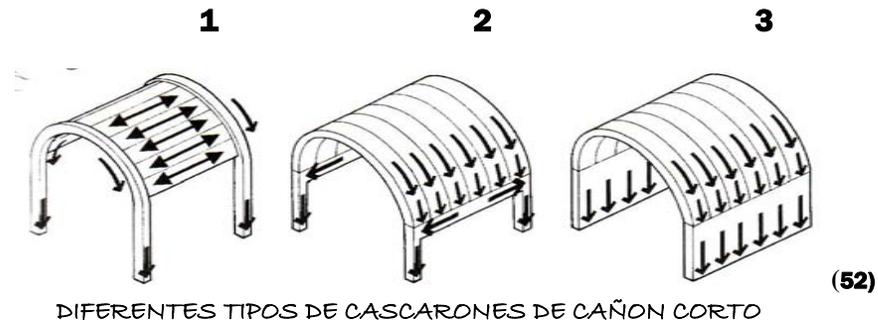


Auditorio Kresge, domo formado por un octavo de esfera con tres puntos de apoyo (51)

Los cascarones de formas desarrollables, como conos y cilindros o de cañón, solo tienen una curva y son rectos en un sentido y curvos en el otro, así mismo se pueden formar al doblar una placa plana. Las formas más utilizadas son las semicirculares y las parabólicas. A diferencia de las bóvedas de cañón los cascarones desarrollables tienen capacidad para resistir esfuerzos de tensión, por lo que solo se tiene que apoyarse en las esquinas o extremos, salvando claros tanto a lo largo del eje longitudinal, como en el sentido de la curvatura. Por su longitud los cascarones de cañón pueden ser:

- Cascarones de cañón corto; y
- Cascarones de cañón largo.

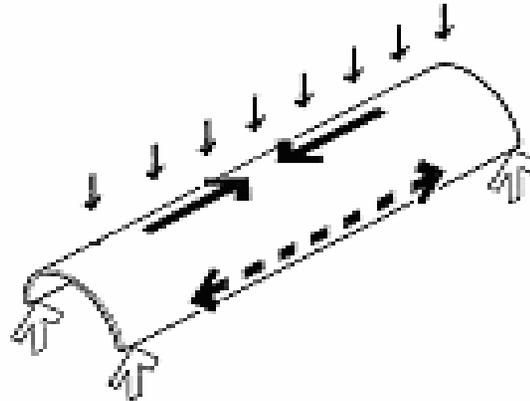
Los cascarones de cañón corto, tiene las dimensiones en planta más cortas a lo largo de los ejes longitudinales. Estos se pueden comportar ya sea como: 1) losas salvando claros entre los arcos de los extremos, 2) como una serie de arcos adyacentes salvando claros entre las vigas de borde, o 3) una combinación de ambos.



Los cascarones de cañón largo, tiene las dimensiones en planta más largas a lo largo de los ejes longitudinales y se comportan como vigas largas en el sentido longitudinal. En este tipo de estructuras la proporción de la altura con respecto a la luz a cubrir, afecta a la eficiencia y a los esfuerzos tanto de tensión como de compresión. Teóricamente, la proporción altura-luz a cubrir ideal para minimizar el volumen del concreto y el hierro de refuerzo, lo que permite un espesor del cascaron más delgado, es la que se aproxima a 2.00. En un cascaron de cañón largo sometido a una carga uniformemente distribuida, los esfuerzos de tensión y compresión son siempre perpendiculares entre sí.

52

Fuente: “Comprensión de la Estructuras en Arquitectura”.



CASCARON DE CAÑON LARGO (53)

Para evitar que una estructura de cascaron se deforme es necesario rigidizar los extremos y los bordes longitudinales, lo que hace resistir el empuje que provoca hacia fuera, esto se logra engrosando los extremos a manera de arcos, agregando varillas de conexión para resistir el empuje lateral o utilizando muros de carga en los extremos para mantener la forma, dar soporte vertical y resistir el empuje hacia fuera. Cuando el diseño conlleva una configuración de cascarones de cañón múltiples, el empuje, de los cascarones adyacentes, hacia fuera se equilibra, solo el empuje de los extremos libres del primero y del último se tienen que resistir, esto se puede hacer colocándole una pestaña perpendicular al cascarón, la que le dará una resistencia lateral al mismo y así evitar que se deforme.

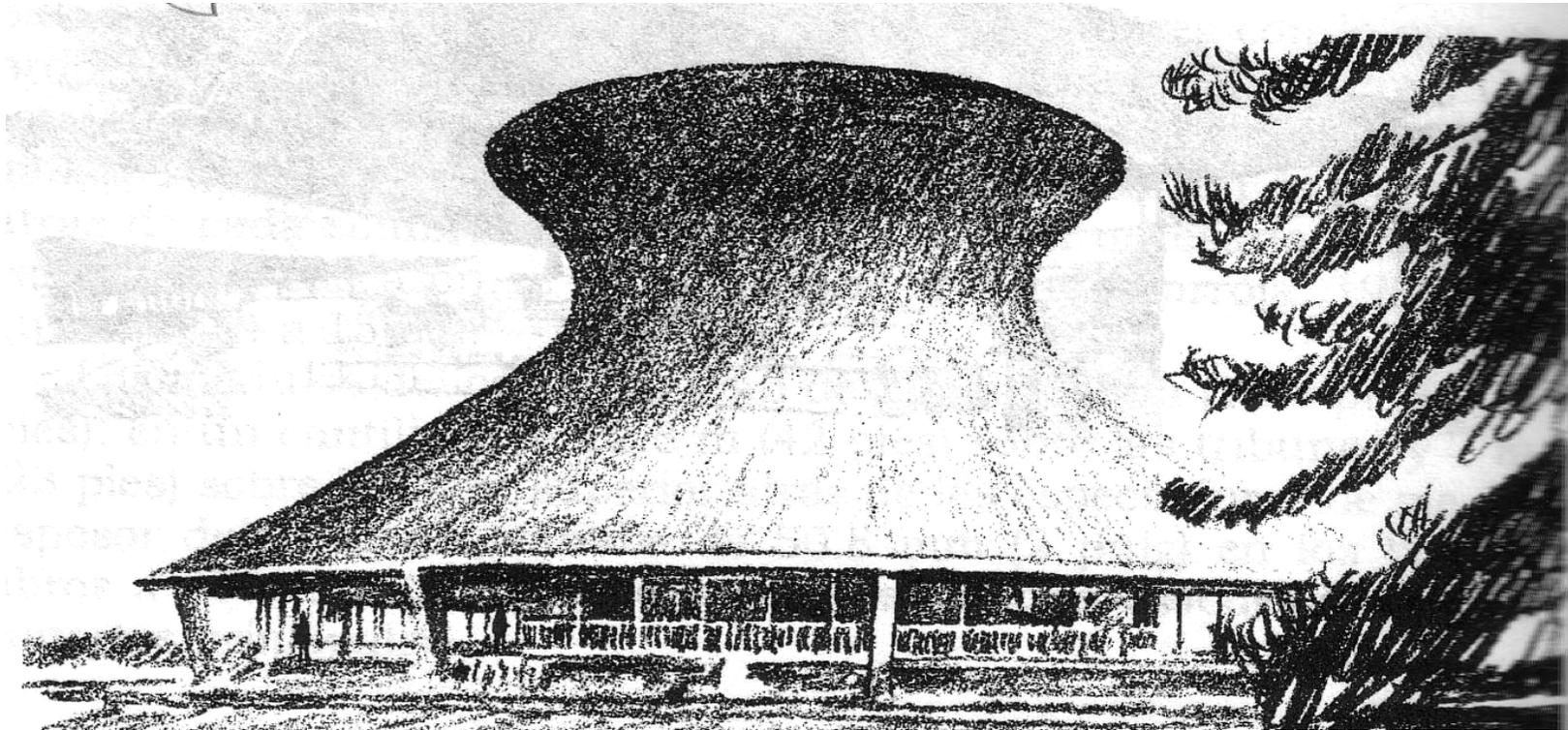
Los cascarones de cañón, como se indicó, se pueden construir en varias formas cilíndricas y cónicas, es decir curvadas solo en una dirección, y pueden ser: continuas, discontinuas, doblado en forma transversal, de forma libre, aunque también se pueden intersectar.



Los cascarones de formas anticlásticas tienen forma de silla de montar que incluyen los conoides, los paraboloides hiperbólicos e hiperboloides, poseen doble curvatura, presentando una curvatura opuesta en cada sentido. Los conoides se producen moviendo el extremo de una línea recta a lo largo de una línea curva, generalmente un arco circular o una parábola, y el otro extremo a lo largo de una línea recta o una curva muy suave. Los paraboloides hiperbólicos se generan moviendo una parábola convexa a lo largo de una parábola cóncava de igual curvatura, así mismo la misma superficie se puede producir moviendo una línea recta sobre una trayectoria recta en un extremo y otra trayectoria recta que sea oblicua a la primera. Los hiperboloides se producen rotando una línea recta, oblicua en un ángulo, respecto a un eje vertical, cualquier sección vertical que parta ente eje será una hipérbola.

Los esfuerzos que se producen en este tipo de estructuras, por lo general, van en la dirección de la curvatura; la compresión a lo largo de la curvatura convexa, actuando como arco, y la tensión a lo largo de la curvatura cóncava, actuando como en suspensión.

⁵⁴ Fuente: “Comprensión de la Estructuras en Arquitectura”.



PLANETARIO MCDONNELL, San Luis, MO, CASCARON HIPERBOLOIDE

(55)

Los cascarones de forma libre, no se derivan de cálculos matemáticos. Estos se diseñan para responder a consideraciones estéticas y funcionales que exija el proceso arquitectónico, pero complementándose con un resultado estructural satisfactorio. Generalmente los cascarones irregulares o de forma libre, se construyen y se analizan de manera similar a los cascarones regulares a los que más se aproximen.

55

Fuente: "Comprensión de las Estructuras en Arquitectura.



TERMINAL AEREA DE LA TWA, Aeropuerto Internacional Kennedy,
CASCARON DE FORMA LIBRE

(56)

4.9. ESTRUCTURAS LAMINARES O PLACAS DOBLADAS:

La resistencia y rigidez de una superficie plana y delgada se puede incrementar al doblarla, a la vez esto incrementa su peralte, lo que la hace tener una resistencia mayor a la flexión, evitando así su deformación. Sobre la base de lo anterior se puede decir que una estructura laminar o placa doblada no es más que una estructura plana doblada con una forma determinada, la cual trasmite cargas, a través de una superficie de poco peso y espesor, a los apoyos, principalmente por tensión, compresión y cortante.

56

Fuente: Foto de Ezra Stoller.

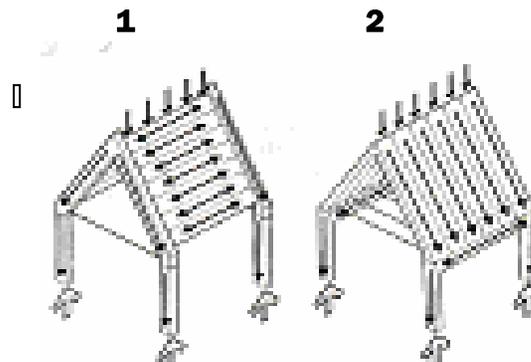
Este tipo estructural es adecuado utilizarlo en techos donde las cargas se distribuyen de manera uniforme, siéndole concreto reforzado uno de los elementos mas utilizados por su resistencia a la flexión y por moldeabilidad lo que lo hace adaptable a cualquier tipo de forma. La rigidez de estas estructuras se origina de su geometría doblada y por la altura de sus dobleces, entre mas alto sea el dobléz de las placas, mayor será su resistencia a la flexión. Así mismo, entre mayor sea la pendiente de las placas, menor serán los esfuerzos de tensión y compresión en los bordes y por consiguiente las placas dobladas pueden ser mas delgadas. Cuando los dobleces inclinados son de poca altura, trasmiten mayores esfuerzos, pero son más eficientes para cubrir. Su eficiencia es casi similar a la de los cascarones, con lo ventaja de que en las placas dobladas su construcción es plana. El comportamiento estructural es similar al de los cascarones de cañón.

Por su dimensión sobre el eje longitudinal las placas dobladas pueden ser:

- **Placas dobladas cortas; y**
- **Placas dobladas largas.**

Las placas dobladas cortas, vistas en planta, son más cortas sobre el eje longitudinal, están generalmente apoyadas en las esquinas y por su construcción se pueden comportar de dos maneras:

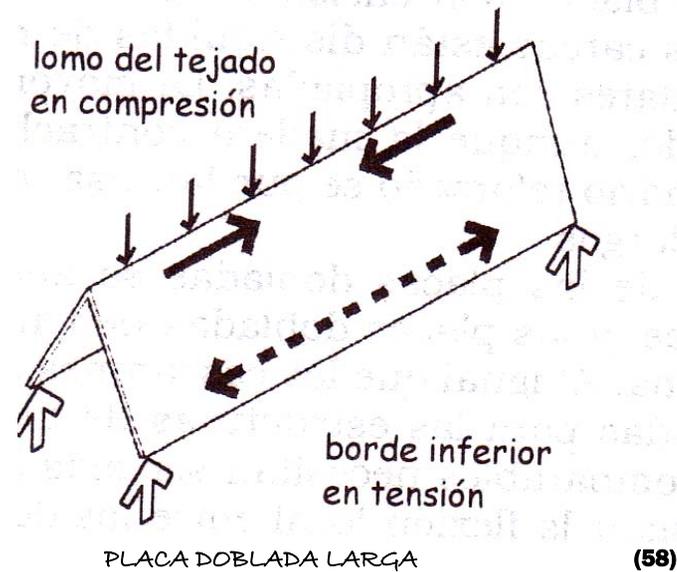
- 1. Cuando las placas funcionan como losas apoyadas en marcos de tres articulaciones, los cuales rigidizan los extremos.**
- 2. Cuando las placas dobladas se comportan como una serie de marcos adyacentes de tres articulaciones, apoyados y rigidizados por vigas laterales.**



PLACAS DOBLADAS CORTAS

(57)

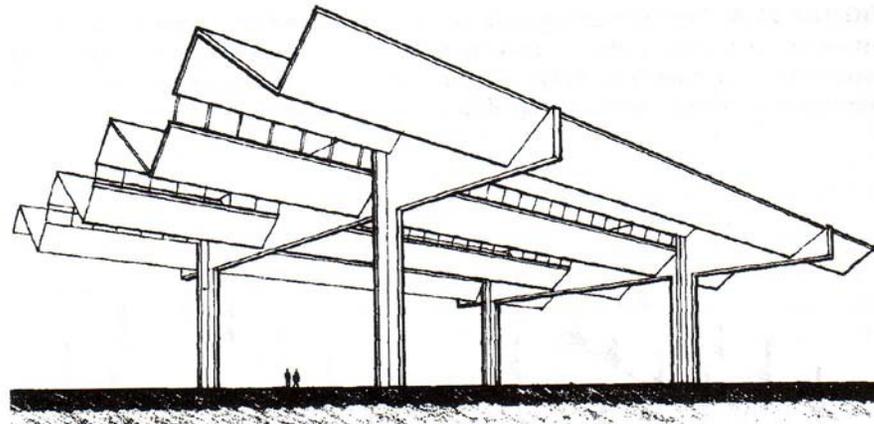
Las placas dobladas largas, tienen la dimensión en planta, mas larga en el sentido longitudinal, y están apoyadas, por lo general, en las es esquinas. Su comportamiento es como el de una viga larga, por lo que los esfuerzos de flexión de las placas dobladas largas son similares a los de una viga; en la parte superior, a todo lo largo de su longitud, esta sometida a esfuerzos de compresión, y en la parte inferior a esfuerzos de tensión.



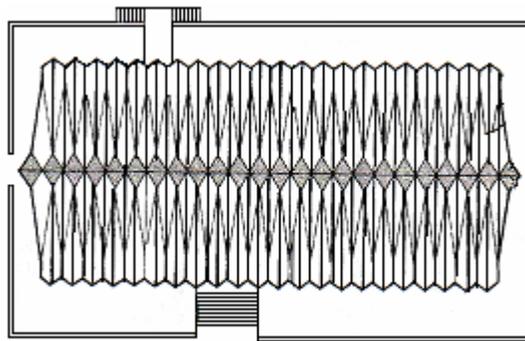
(58)

Por la forma de sus paneles las placas dobladas pueden ser:

- Paralelas; y
- Ahusadas o alternadas.

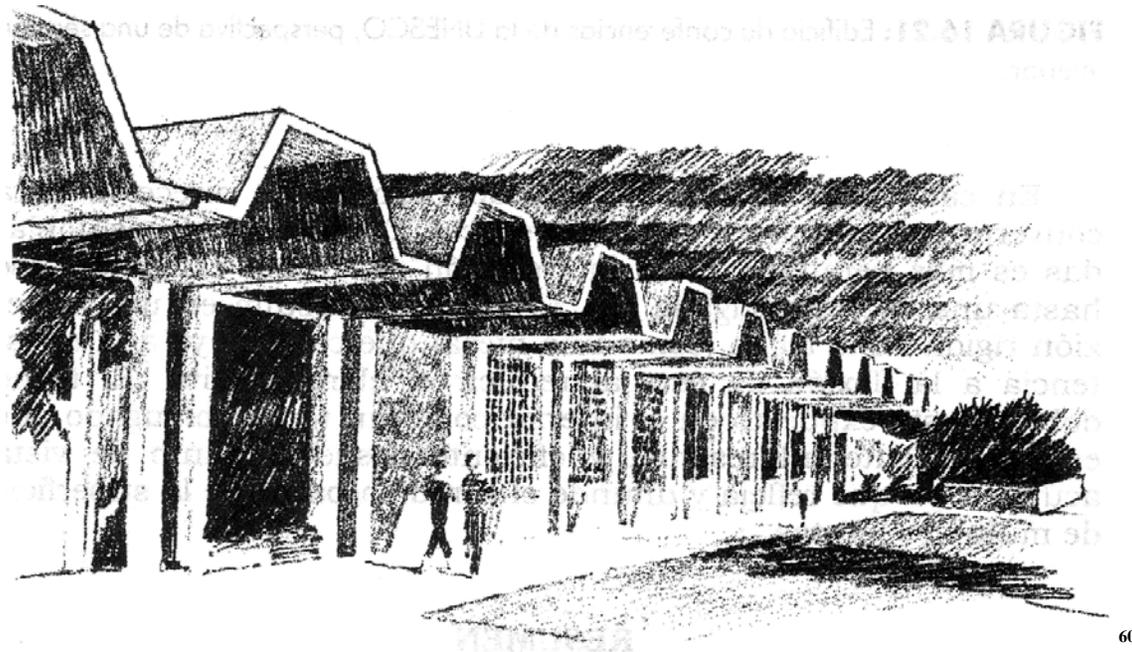


PLACA DOBLADA PARALELA., EN SECCIÓN DE Z. (59)



EDIFICIO DE LAS OFICINAS CENTRALES DEL A.C.I.
PLACA DOBLADA AHUSADA (59)

**Entre los diseños arquitectónicos que tipifican el doblar de placas se tienen:
Para placas dobladas paralelas: La escuela primaria Avocado, construida en Homestead, Florida en 1963, diseñado por el Arq. Robert Browne; el edificio de la UNESCO, construido en París, en 1958, diseñado por los arquitectos Breuer & Zehrffuss.**

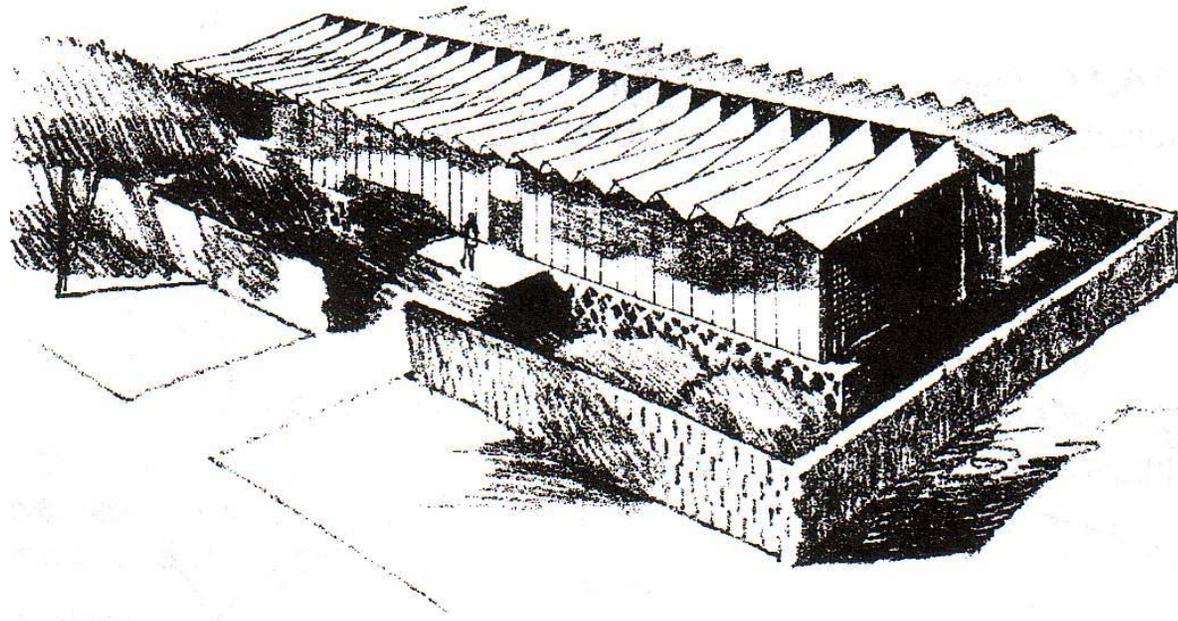


ESCUELA AVOCADO

60

⁶⁰ Fuente: “Comprensión de las Estructuras en Arquitectura”:

Para placas dobladas ahusadas o alternas: El edificio de las oficinas centrales del American Concrete Institute, construido en Detroit en 1957, diseñado por Yamasaki, Lewinweber y Asociados.



EDIFICIO DE LAS OFICINAS CENTRALES DEL A.C.I.

(61)

4.10. SISTEMAS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO ADECUADOS PARA CONSTRUCCIONES VERTICALES.

El crecimiento horizontal desmedido de las ciudades, y por consiguiente la carestía del espacio urbano, dio origen al crecimiento vertical, aspecto que se vio solucionado con las estructuras verticales.

Las estructuras verticales se caracterizan por su altura y porque transmiten las cargas verticales, desde el último nivel, las cuales se van acumulando nivel por nivel, hasta llegar a los cimientos de donde se transmiten al suelo.

El diseño estructural de las mismas debe tener la suficiente integración entre sus elementos para absorber también las cargas horizontales producidas por el viento y los sismos.

Se consideran estructuras verticales a las que sobrepasan los 75 mts. de altura, y éstas funcionan como una viga flexionada en voladizo o cantiliver, la cual está empotrada en el suelo por medio de los cimientos. El sistema de la conducción de las cargas verticales está definido por la localización de los apoyos, ya sean estas columnas o muros. Sobre ésta base se pueden precisar cuatro sistemas definidos y las combinaciones que entre éstos se puedan dar.

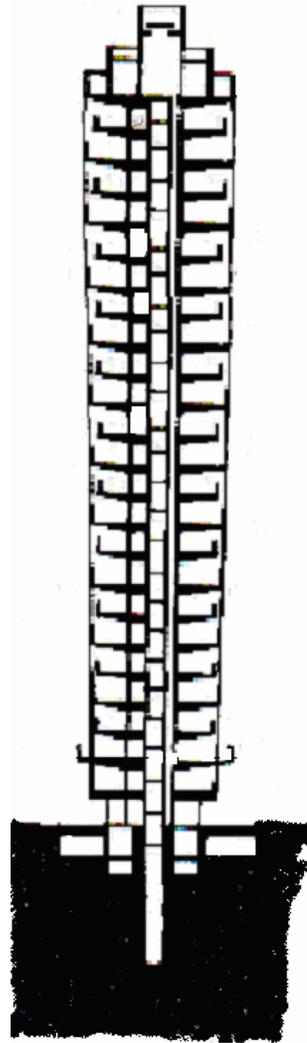
Los cuatro sistemas de apoyo definidos para éste tipo de estructuras son:

- **Sistema Reticular;**
- **Sistema Perimetral;**
- **Sistema de Núcleo Central; y**
- **Sistema de Muros de Corte.**

En el sistema reticular los apoyos se encuentran repartidos, en planta, de manera modular; las luces entre columnas van de pequeñas a moderadas y para contrarrestar las cargas horizontales hay que rigidizarlo con elementos estructurales adicionales. El sistema perimetral es el que tiene los apoyos en el perímetro de la plantas; las luces entre columnas van de moderadas a grandes y para contrarrestar las cargas horizontales es más rígido que el anterior sistema. En el sistema de núcleo central, el apoyo se encuentra centralizado en planta, y todos los entrepisos quedan en voladizo. Y por último el sistema de muros de corte, es similar al perimetral, con la ventaja de que adicional cumple con una función estabilizador.

Estos sistemas, así como sus combinaciones transmiten las cargas a los apoyos, de ellos a los cimientos y de los cimientos al suelo.

Por considerar este tipo de soluciones arquitectónicas-estructurales, como vigas cantiliver, o vigas empotradas en voladizo, se recomienda ir disminuyendo la sección del edificio conforme va “creciendo”, así mismo es preferible, que el diseño en planta sea una figura geométrica regular, con un volumen único en elevación. Si se llega a adosar otra estructura con diferente volumen o altura, debe ser completamente independiente uno del otro, utilizando juntas de construcción.



62

Estructura Vertical de Concreto reforzado,
En el centro esta actuando como viga en voladizo empotrado en el cimiento

⁶² Dibujo elaborado por el autor.



Edificio Seagram, New York, diseñó Mies Van Der Rohe. 63

⁶³ Fuente: “Creadores de arquitectura Contemporánea”

4.11. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO REFORZADO SOBRE OTROS MATERIALES:

Para incorporar inteligentemente la estructura al diseño arquitectónico es necesario considerar las propiedades físicas principales, así como las ventajas y desventajas que ofrecen los diferentes materiales. En ese sentido, se hace necesario racionalizar la utilización de materiales mediante soluciones lógicas, funcionales y económicas, es decir utilizando sistemas donde la estructura y el diseño arquitectónico se integren completamente, evolucionando ambos, paralelamente durante el proceso de diseño.

El arquitecto en el momento de diseñar, está consiente de que debe incorporar una estructura a su diseño arquitectónico; basado en lo anterior también esta consiente de los diferentes claros a cubrir y por consiguiente de peraltes, profundidades o alturas, así como del espaciamiento de los elementos estructurales; esto le da el fundamento para escoger uno o varios materiales para la solución estructural de su diseño, la cual puede cambiar durante el proceso.

Entre los materiales más utilizados en nuestro medio, para la solución de estructuras se tienen los siguientes:

- La madera;
- El acero;
- La mampostería; y
- El Concreto reforzado.

El concreto reforzado, como se dijo anteriormente, por sus dos componentes: el concreto, el cual resiste la compresión; y el acero o hierro de refuerzo, colocado donde ocurren los esfuerzos de tensión, y donde el concreto tienda a fisurarse o agrietarse, permite su utilización en elementos resistentes a la flexión y pando. Por consiguiente el concreto reforzado tiene la ventaja que es el único material estructural que se puede utilizar para cimientos, columnas, muros, vigas y losas. Así mismo presenta una extensa diversidad de texturas y colores, alta resistencia, costo relativamente bajo y larga duración.

Igualmente, por su moldeabilidad se le puede dar cualquier forma deseada, mediante la utilización de formaletas o cimbras que actúan como moldes hasta que el concreto adquiere la resistencia prevista. Por consiguiente otra de las ventajas que ofrece el concreto sobre otros materiales utilizados para la construcción de edificaciones es su moldeabilidad, lo que le permite además, utilizar sistemas de fabricación in situ, ventaja que también ofrecen la madera para estructuras ligeras y la mampostería únicamente para muros de carga. Debido a que es fácilmente moldeable y por

consiguiente permite una construcción relativamente fácil en el lugar de obra, la utilización de concreto reforzado minimiza el tiempo de construcción, ventaja que también presenta la madera.

Otra ventaja que ofrece el concreto reforzado es que es resistente al fuego, por consiguiente su utilización permite construcciones y estructuras a prueba de incendios, esta característica también la presentan los muros de mampostería.

Debido a su resistencia tanto a la compresión como a la tensión, el concreto reforzado nos presenta la ventaja de utilizar sistemas sin vigas en el techo o en losas de entrepiso, así como la colocación irregular de columnas o muros de carga. Otra ventaja es que permite, mediante la utilización de sistemas de concreto sin nervaduras, minimizar el peralte de losas utilizadas en entrepisos o techos, ventaja que no presenta otro material estructural.

De igual manera el concreto reforzado es un material fácilmente modificable, lo que permite prever ampliaciones futuras, ventaja que ofrece también, la madera, el acero y la mampostería. Los elementos estructurales de concreto reforzado prefundido, permiten la construcción en lugares de clima extremo, ventaja que también ofrece la madera y el acero.

También la utilización del concreto reforzado nos permite formar uniones entre sus elementos muy rígidas, aspecto que también presenta el acero. Al igual que las estructural de acero, las estructuras de concreto reforzado pretensadas o postensadas nos permiten salvar claros o luces largas, reduciendo así el número de apoyos.

La utilización de concreto reforzado no es adecuado utilizarlo en estructuras muy altas, ya que por el proceso constructivo, aumenta el tiempo de ejecución. Así mismo, debido al volumen que demandan estas estructuras y por consiguiente a su peso, incrementan la carga muerta sobre la cimentación. De igual manera para luces “largas” es relativamente pesado.

Generalmente las estructuras de concreto presenta un acabado muy “frío”, por lo que con mucha frecuencia hay que utilizar algún tipo de acabado para recubrirlo; de igual manera, debido a la utilización de formaletas, el costo puede verse incrementado; este se puede disminuir, diseñando una formaleta reutilizable.

Sobre la base de lo anterior podemos concluir que la elección del material a utilizar para solucionar nuestro diseño estructural va a depender de:

- El diseño arquitectónico y su integración con la estructura;**
- El costo de los materiales y la mano de obra para construir la estructura;**
- El tiempo de ejecución y proceso constructivo que conlleve;**
- Las ventajas ó bondades que presenten los materiales (resistencia, facilidad de obtención del material, tecnología que utiliza.);**
- Integración con el entorno; y**
- Tiempo de vida útil del material.**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES:

- 1. El concreto reforzado absorbe esfuerzos de tensión así como tiene gran capacidad de resistir a cargas de compresión y frente a agentes externos y atmosféricos es resistente, por consiguiente durable, de igual manera, tiene la capacidad de tomar cualquier forma deseada, aunque esta sea complicada.**
- 2. Debido a las características y bondades que presenta el concreto reforzado, es uno de los materiales de construcción más interesantes y adecuados para la construcción de estructuras tradicionales, así como de los diseños arquitectónicos más audaces.**
- 3. Diseñando adecuada e inteligentemente un proyecto, utilizando como material estructural el concreto reforzado, la estructura puede llegar a ser el edificio en sí, y no solo el soporte del mismo, aspecto fundamental que sólo el concreto reforzado posee.**
- 4. Comparado con otros materiales constructivos, el concreto reforzado tiene un costo relativamente bajo.**
- 5. Para lograr diseños inteligentemente proyectados y bajo costo, es necesario que el diseño arquitectónico y el diseño estructural de concreto reforzado conformen uno solo.**
- 6. Por las propiedades características de las estructuras de concreto reforzado, se puede concluir que éstas son monolíticas y por consiguiente adecuadas para solucionar cualquier tipo de problema arquitectónico-estructural.**

5.2. RECOMENDACIONES:

- 1. Todo plano de estructuras, presentado para aprobación o utilizado para cualquier proyecto, deberá especificar claramente la resistencia $f'c$, del concreto, y la resistencia de fluencia f_y , del hierro a utilizar.**
- 2. Se debe establecer siempre una unidad en el proceso de planificación y ejecución de un proyecto, integrando el diseño arquitectónico, con el diseño estructural y con el sistema de ejecución.**
- 3. Cuando se hagan juntas de construcción, éstas deben hacerse siguiendo líneas horizontales y verticales, uniformes y continuas. Así mismo, se recomienda evitar cambios drásticos en la configuración vertical, en los diseños arquitectónicos, así como se deben evitar los cambios repentinos en la distribución vertical de la rigidez y resistencia. De igual manera cada vez que en un diseño arquitectónico, visto en planta, se cambie de modulación o forma, se recomienda hacer una junta de construcción.**
- 4. Para evitar la deformación torsional, el centro de rigidez del edificio diseñado, debe coincidir con el centro de masa.**
- 5. Cuando en un diseño existan columnas largas y cortas en el mismo nivel, se recomienda convertir las columnas largas en cortas, introduciendo al diseño vigas adicionales para evitar concentración de la fuerza cortante en las vigas cortas.**

- 6. El concreto reforzado, elaborado y fundido in situ, es adecuado para luces pequeñas y moderadas. Las vigas de concreto pre y postensado, se recomiendan para luces mayores, así como para la construcción de medianos o grandes puentes.**

- 7. El concreto reforzado en vigas W y T puede alcanzar luces hasta de 24 mts. de longitud, por lo que su utilización es recomendada para edificaciones como bodegas, fábricas, angares y otros.**

- 8. Para el uso de estructuras más versátiles o diseños arquitectónicos en los que la estructura se quiere transformar en arquitectura, se recomienda utilizar estructuras laminares o placas. Cuando se tenga que resolver un problema arquitectónico, en el cual se tenga que cubrir un gran espacio, sin apoyos intermedios, es adecuado la utilización de estructuras laminares, ya que estas conforman el espacio en sí, sirviendo como cubierta y en algunos casos definiendo el espacio arquitectónico en su totalidad .**

- 9. Las vigas en voladizo o en Cantiliver, se recomienda utilizarlas estructuralmente para reducir las deformaciones en los elementos de la estructura y arquitectónicamente cuando la funcionalidad del espacio lo demande.**

- 10. Para hacer más funcionales los espacios e incorporar el diseño estructural a la arquitectura y cuando la solución del diseño arquitectónico sea un edificio de varios niveles se recomienda: Para luces pequeñas o moderadas, y en donde los apoyos intermedios no estorben, utilizar el sistema estructural reticular; para luces moderadas y grades, en donde se requieran áreas libres de apoyos utilizar el sistema estructural de apoyo perimetral o el de muros de corte, y para espacios en donde se requiera un área totalmente libre y un máximo de iluminación, se recomienda la utilización del sistema estructural del núcleo central.**

6. CONCEPTOS Y SIMBOLOGÍA

6.1 CONCEPTOS:

Los conceptos utilizados en el presente trabajo de Tesis se definen a continuación:

Ábaco: Aumento del peralte de una losa plana, por requerimiento estructural, alrededor de la columna, capitel o ménsula.

Aditivo: Material que se añade al concreto para modificar sus propiedades, adicional al cemento, agua y agregados.

Agregado: Material Inerte que se mezcla con el cemento y el agua para producir el concreto.

Agregado ligero: Agregado para producir concreto ligero, seco y suelto pesa menos de 70 lbs. por pie cúbico.

Agua superficial: Agua que contiene un agregado, adicional a la retenida por absorción.

Área Efectiva del Concreto: El área de la sección localizada entre el centro del refuerzo a la tensión y la cara de compresión de un miembro estructural que trabaja a flexión.

Área Efectiva del Refuerzo: Área obtenida multiplicando el área de la sección transversal recta del refuerzo por el cos. del ángulo formado por esta dirección y aquella para la que se va a determinar la eficacia.

Capitel de Columna: Ampliación del extremo de una columna, diseñada y construida para que trabaje integralmente con la columna y la losa plana.

Carga muerta de servicio: Es el peso muerto que fue calculado para ser soportado por una estructura, o un miembro de ésta.

Carga viva de servicio: Carga viva especificada por el reglamento general de construcción.

Concreto: Mezcla de cemento Pórtland, arena, pedrín y agua.

Concreto estructural ligero: Concreto que contiene agregado ligero en lugar del agregado convencional.

Concreto prefundido: Elemento de concreto simple o reforzado fundido en un lugar diferente al que va a ocupar finalmente.

Concreto preesforzado: Estructura de concreto reforzado en la que se originan esfuerzos de tal magnitud y distribución que contrarrestan las cargas de servicio a la que fue diseñada.

Concreto reforzado: Concreto que contiene hierro de refuerzo y se calcula presumiendo que el hierro y concreto trabajan juntos para resistir los esfuerzos.

Elemento o miembro sujeto a flexión: Elemento o miembro estructural formado por una parte de concreto prefundido y otra de concreto fundido en el lugar, conectados de tal manera que los elementos componentes actúan entre sí como un solo elemento sujeta a flexión.

Esfuerzo: Intensidad de fuerza por unidad de área.

Lechada: Mezcla de agua y cemento, cuya proporción no debe ser mayor de 5 ½ galones de agua por saco de cemento.

Losa plana: Losa de concreto reforzada en dos o más direcciones, generalmente sin vigas.

Pedestal: Elemento vertical que trabaja a compresión y cuya altura sea menor a tres veces su dimensión transversal menor.

Pretensado: Método de preesfuerzo en el que el acero se estira antes de fundir el concreto.

Postensado: Método de preesfuerzo en el que el acero se estira después de que ha endurecido el concreto.

Refuerzo: Varillas de hierro introducido al concreto y que satisface los requerimientos del reglamento general de construcción.

Resistencia del concreto a la compresión ($f'c$): Resistencia especificada del concreto a la compresión en lbs. /plg².

Resistencia o punto de fluencia (f_y): Resistencia a la tensión, o resistencia mínima especificada a la fluencia o esfuerzo de fluencia del hierro de refuerzo en lbs. /plg².

Supervisor de obra o supervisor de construcción: Profesional de la construcción, encargado de velar por que en el proyecto que se está ejecutando se cumpla con el diseño que aparece en planos y las especificaciones indicadas en los mismos.

Tendón de acero: Hierro de refuerzo estirado que se utiliza para preesforzar el concreto.

Tendón de acero adherido: Hierro de refuerzo que se adhiere al concreto ya sea directamente o por medio de lechada.

Tendón de acero libres: Varillas de hierro de refuerzo que pueden moverse con relación al concreto que los rodea.

Varilla corrugada: Varilla de hierro de refuerzo, que satisface los requisitos mínimos en sus corrugaciones.

Varilla lisa: Varilla de hierro sin corrugaciones, en construcción se utiliza únicamente varilla lisa No. 2 o \emptyset ¼", a excepción que los planos indique otra cosa.

6.2. SIMBOLOGIA:

ASTM	American Society for Testing and Materials, que traducido al español es la “Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, fue fundada en West Conshohocken, Pennsylvania, USA, hace un siglo, cuando un grupo de Ingenieros y científicos trabajaron juntos en la industria del ferrocarril. Actualmente tiene más de 30,000 miembros. Esta sociedad de técnicos y expertos representa a productores, usuarios, consumidores, gobiernos y académicos de alrededor de 100 países. Como su nombre lo indica se dedica a hacer pruebas de diferentes materiales y a normalizar y estandarizar su utilización. Su dirección electrónica es: www.astm.org/cgl, y se le puede escribir a ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, Pennsylvania, 19428-2959, USA.
ACI	American Concrete Institute, o Instituto Americano del Concreto, fue Fundado en 1,904 con sede en Farmington Hills, Michigan, USA. El ACI es una institución técnica y educativa con 16,000 miembros y 96 confraternidades en 34 países. Se dedica a producir documentos, reportes, guías, especificaciones , códigos y normas para el mejor uso del concreto. Su dirección electrónica es: www.aci-int.org.
DRT	Resistencia de trabajo.
DRU	Resistencia a la ruptura.
P_o	Resistencia.
U	Resistencia de reserva o factor de seguridad
f'c	Resistencia del concreto a la compresión.
f_y	Esfuerzo de fluencia del acero.
v	Esfuerzos tangenciales.
f_x	Esfuerzo normal definido en dirección paralela.
f_y	Esfuerzo normal definido en dirección perpendicular.
f_w	Esfuerzo al que va hacerse trabajar el material.
u	Esfuerzo promedio de adherencia.
V_{max}	Esfuerzo cortante.

k	Constante que depende del tipo de varilla de hierro de refuerzo.
A_g	Área total del concreto o área total de la sección.
A_c	Área del núcleo del concreto.
A_s	Área del acero de refuerzo longitudinal.
p_s	Porcentaje volumétrico del refuerzo helicoidal.
d_b	Diámetro de varilla de hierro.
l_d	Longitud de desarrollo
b	Lado menor del rectángulo, ancho o base de la sección transversal
h	Lado mayor o el peralte total de la sección.
d	Peralte efectivo de viga
E	Módulo secante de elasticidad.
w	Índice de refuerzo.
P	Carga axial.
V	Fuerza cortante de la sección o corte unitario.
Q	Momento estático.
M	Momento flexionante, que actúa en la región considerada.
I	Momento de inercia de la sección transversal del elemento.
V_c	Corte que absorbe el concreto.
V'_u	Corte a cubrir con el estribo.
A_v	Área de refuerzo transversal .
s	Espaciamiento entre estribos
K_p	Coefficiente que depende de la relación entre el lado mayor y lado menor del rectángulo.
C.M.	Carga muerta
C.V.	Carga viva.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Reglamento de construcción de ACI para el Concreto Reforzado, (ACI 318-99)
Detroit
Año 1999
- ACI Código de Diseño de Hormigón Estructural (ACI 318-99)
Año 1999
- OCÉANO/CENTRUM Biblioteca Atrium de la Construcción
Ediciones Atrium, S.A.
Barcelona, España
Año 1,997
- ESCOBAR, JORGE Introducción a la Tipología Estructural
Segunda Edición
Guatemala
Año 1997
- MOORE, FULLER Comprensión de las Estructuras en Arquitectura
Primera edición en español,
Editorial McGraw-Hill, Interamericana de Editores S.A. de C.V.
México
Año 2,000
ISBN-970-10-2800-7
- PIER LUIGI, NERVI Estudio Paperback
Editorial Gustavo Gill
Barcelona
Año 1982.
- KIDDER FRANK
PARQUER HARRY Manual del Arquitecto y del Constructor
3ra. Reimpresión
Noriega Editores
UTEHA
México, DF.
Año 1997
- EERO SAARINEN Creadores de la Arquitectura Contemporánea
3ª. Edición al español
Editorial Hermes S.A.
México-Buenos Aires

WAKABAYA-MINOW
Año 1999
Diseño de Estructuras Sismorresistentes
2da. Edición
Editorial McGraw-Hill
Interamericana de México
Año 1996

ACI
Shear, Diagonal Tension, and Torsion (Annotated)
Bibliography No. 4
Detroit
Año 1962.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN
Año 1996
Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal . DESARROLLO URBANO DEL D.F México

ACI
Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado
(ACI-318-99)
Traducción al Español por la Comisión de Diseño Estructural en Hormigón Armado y albañilería
perteneiente a la corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción
AÑO 1999

COMITÉ ACI 214
Práctica Recomendada para la Evaluación de Resultados de Ensayes de Compresión de Concreto en el
Campo" (ACI-214-65) Traducción al Español del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
México
Año 1968

DÍAZ DE COSSIO, R.
Tensión Diagonal en Miembros de Concreto de Sección Circular
Revista Ingeniería
Abril , Año 1965

TAMBERG, K. G.
Aspectos de Torsión en Diseño de Estructuras de Concreto **Publicación Especial No. 18**
Instituto Americano de Concreto
Año 1999

HALL, A. D
Ingeniería de Sistemas
C.E.C.S.A.
México
Año 1,969

JORDÁ, R.
Resistencia del Concreto a Esfuerzos Combinados
Tesis Profesionales
Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Puebla.

ROBLES, T.
Manual de Diseño de Obras Civiles, Sección H, Concreto Reforzado
México
Año 1970

GONZÁLES CUEVAS, O. M.
Manual de Diseño de Concreto Reforzado, Volumen 1, Flexocompresión y Cortante
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
Año 1970

FERGUSON, PHIL M.

Teoría Elemental del Concreto Reforzado

Compañía Editorial Continental, S.A.

México-España-Argentina-Chile, Tercera impresión en español

Junio, Año 1972

GONZÁLES

Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado

ROBLES

Editorial LIMUSA

CASILLAS

México

DÍAZ DE COSSIO

Año 1974.



IMPRIMASE

Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo
Decano

Arq. Jorge Escobar Ortiz
Asesor

Adolfo Bernabé García Sologalstoa
Sustentante