



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

GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2

Luis Francisco Carrillo Gutiérrez

Asesorado por la Inga. Evelyn Maribel Morales Ramírez

Guatemala, marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADA A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

LUIS FRANCISCO CARRILLO GUTIÉRREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOVAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Oswaldo Romeo Escobar
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS,

por permitirme alcanzar otra meta trazada en mi vida.

MI MADRE

Ambrosia Gutiérrez Vda. de Carrillo

MIS HERMANOS

Carlos, René, Vilma, Pablo, Dolores, Beatriz

MIS TÍOS:

Audelia, Pilar, Valeria, Dionisia, Alejandra, Venancio, Valerio

MIS COMPAÑEROS

del Instituto Nacional Experimental Lic. María Magdalena Ponce de Véliz
del Instituto Nacional Experimental PEMEM II, ZONA 1
de la Escuela Normal de Maestras para Párvulos Dr. Alfredo Carrillo Ramírez
de la cátedra de física de la Escuela de Formación de Profesores EFPEM

MI FAMILIA EN GENERAL

MI ASESORA

Inga. Evelyn Maribel Morales Ramírez

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de mayo de 2008.


Luis Francisco Carrillo Gutiérrez

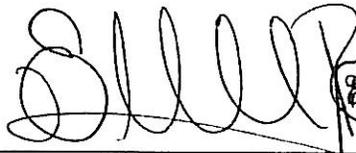
Guatemala enero de 2009

Ingeniero
Hugo Montenegro
Coordinador Área de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Respetable Ing. Montenegro

Por este medio le informo, que he revisado el trabajo de graduación del alumno Luis Francisco Carrillo Gutiérrez titulado "GUIA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2", el cual cumple satisfactoriamente los contenidos programados del laboratorio, por lo que la doy por aprobada.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente



Evelyn Maribel Morales Ramírez
Ingeniera Civil
Col. 8216

Ingeniera. Evelyn Maribel Morales Ramírez
Asesora



Guatemala,
6 de febrero de 2009

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

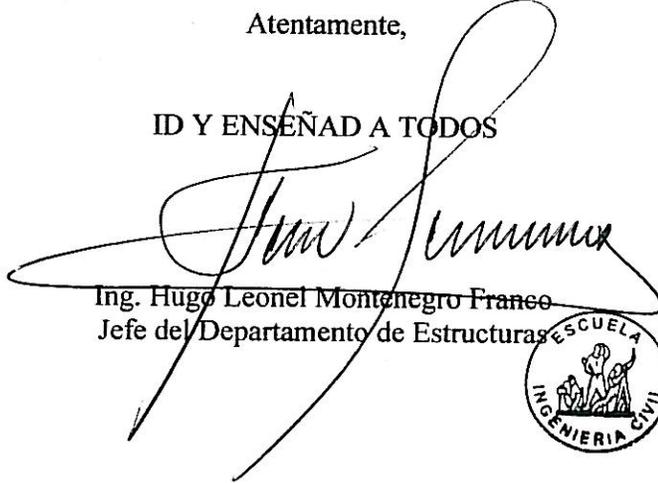
Estimado Ing. Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Francisco Carrillo Gutiérrez, quien contó con la asesoría de la Inga. Evelyn Maribel Morales Ramírez.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe del Departamento de Estructuras



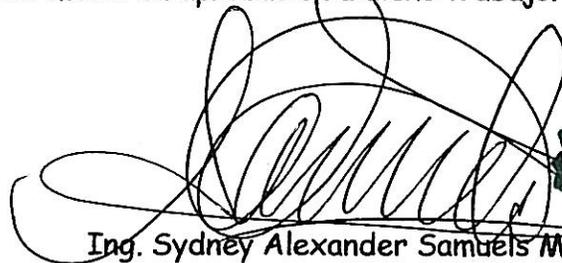
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Inga. Evelyn Maribel Morales Ramírez y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco, al trabajo de graduación del estudiante Luis Francisco Carrillo Gutiérrez, titulado **GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, marzo 2009

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA PRÁCTICA DEL LABORATORIO DE CONCRETO ARMADO 2**, presentado por el estudiante universitario **Luis Francisco Carrillo Gutiérrez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and a vertical stroke extending downwards.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, marzo de 2009



/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. CONCRETO REFORZADO.....	1
1.1 Calidad de los materiales para el concreto	1
1.2 Cementos y agregados	5
1.2.1 Cemento	5
1.2.2 Agregados fino	6
1.2.3 Módulo de finura	7
1.2.4 Agregado grueso	8
1.2.5 Gráficas granulométrica	9
1.2.6 Tipos de granulometrías.....	11
1.2.7 Agua.....	12
1.2.8 Relación agua-cemento	12
1.3 Curado del concreto.....	14
1.4 Necesidad del curado del concreto.....	14
1.4.1 Obtención de resistencia.....	15
1.4.2 Durabilidad.....	15
1.4.3 Calidad del servicio	15
1.5 Métodos de curado del concreto.....	15
1.5.1 Interposición de un medio húmedo	15

1.5.2 Aquellos que utilizan compuestos químicos	15
1.5.3 Interposición de un medio impermeable	16
1.5.4 Tipos de curado artificial.....	16
1.6 Curado de unidades prefabricadas.....	16
1.7 Definición de encofrados	17
1.8 Cargas a considerar en los encofrados	17
1.9 Tipos de encofrados	18
1.9.1 Encofrados de madera	18
1.9.2 Encofrados de metal.....	18
1.9.3 Encofrados de plástico	19
1.10 Dobleces de estribos	20
1.11 Diámetros mínimos de doblado	20
1.12 Espirales.....	20

2. BARRAS CORRUGADAS, MALLAS Y SU

ADHERENCIA EN EL CONCRETO...	23
2.1 El acero dulce como material estructural.....	23
2.2 Adherencia de las barras en el concreto	23
2.3 Propiedades físicas del acero.....	24
2.4 Propiedades mecánicas del acero.....	25
2.5 Propiedades tecnológicas.....	25
2.6 Barras de refuerzo	26
2.6.1 Barras lisas	26
2.6.2 Barras corrugadas	27
2.7 Grados y resistencias del acero	28
2.8 Curva esfuerzo-deformación de las barras de refuerzo por medio de ensayo a tensión.....	28
2.9 Mallas electrosoldadas de alambre	31

2.9.1 Designación de mallas electrosoldadas	32
2.9.2. Ensayos a mallas electrosoldadas	34
2.9.3 Ventajas de mallas electrosoldadas.....	34
2.9.4. Características mecánicas de mallas electrosoldadas.....	35
2.10 Práctica de laboratorio número 1	36
A.-ENSAYO DE TENSIÓN DE BARRAS DE ACERO	36
2.11 Práctica de laboratorio número 1	42
B.-ENSAYO DE TENSIÓN DE ELECTROMALLAS.....	42
2.12 Práctica de laboratorio número 1	46
C.-ENSAYO DE DOBLADO DE BARRAS DE ACERO	46
3. COLUMNAS	49
3.1 Definición de columna.....	49
3.2 Tipos de columnas.....	49
3.2.1 Pedestales cortos a compresión	50
3.2.2 Columnas cortas	50
3.2.3 Columnas esbeltas	51
3.3 Columna corta cargada axialmente	51
3.4 Confinamiento de columnas.....	52
3.5 Refuerzo transversal.....	53
3.6 Tipos de fallas	55
3.6.1 Falla a tensión.....	55
3.6.2 Falla a compresión	55
3.6.3 Falla balanceada.....	55
3.7 Práctica de laboratorio número 2	56
A.-COLUMNAS CUADRADAS Y RECTANGULARES	56
3.8 Práctica de laboratorio número 2	56
B.-COLUMNAS CIRCULARES	61

4. LOSAS	67
4.1 Definición de losa	67
4.1.1 Funciones de la losa	67
4.2 Tipos de losas	67
4.2.1 Losa en una dirección.....	67
4.2.2 Losa en dos direcciones	68
4.2.3 Losa de placa plana	68
4.2.4 Losa plana.....	69
4.2.5 Losa reticular.....	69
4.3 Losa prefabricada	70
4.3.1 Componentes de la losa prefabricada	70
4.3.1.1 Viguetas.....	70
4.3.1.2 Bovedilla	71
4.3.1.3 Rigidizante	72
4.3.1.4 Electromalla	72
4.3.1.5 Bastones	73
4.3.1.6 Concreto	73
4.4 Losa tradicional	73
4.4.1 Losa tradicional en una dirección	73
4.4.2 Método de análisis.....	73
4.4.3 Momentos flexionantes	74
4.4.4 Acero de refuerzo	75
4.5 Losa tradicional en dos direcciones.....	75
4.5.1 Análisis de losas mediante el método de coeficientes.....	76
4.5.2 Refuerzo de la losa	76
4.5.3 Recubrimiento mínimo.....	77
4.6 Ventajas y desventajas de losa tradicional y losa prefabricada.....	77
4.7 Losa de ferrocemento.....	79
4.7.1 Definición de ferrocemento.....	79

4.8 Materiales utilizados en el ferrocemento.....	79
4.8.1 Armadura discreta	79
4.8.2 Mortero.....	80
4.8.3 Agregado.....	80
4.8.4 Agua	80
4.8.5 Resistencia de diseño	80
4.8.6 Fundición	80
4.8.7 Curado.....	81
4.8.8 Empalmes.....	81
4.8.9 Anclaje	81
4.8.10 Recubrimiento de armadura	81
4.9 Ventajas del ferrocemento	82
4.10 Desventajas del ferrocemento	83
4.11 Práctica de laboratorio número 3	84
A.-LOSA PREFABRICADA.....	84
4.12 Práctica de laboratorio número 3	92
B.- LOSA TRADICIONAL EN UNA DIRECCIÓN	92
4.13 Práctica de laboratorio número 3	102
C.- LOSA TRADICIONAL EN DOS DIRECCIONES	102
4.15 Práctica de laboratorio número 3, parte 4	109
D.- LOSA DE FERROCEMENTO	109
5. MÉNSULAS.....	115
5.1 Definición de ménsula.....	115
5.2 Mecanismo de fallas de las ménsulas	115
5.2.1 Falla de tensión por flexión.....	115
5.2.2 Falla por fisuración diagonal.....	116
5.2.3 Falla por cortante deslizando.....	116

5.2.4 Falla por fisuración de anclaje	117
5.2.5 Falla por aplastamiento debido a esfuerzos.....	118
5.2.6 Falla por tensión horizontal	118
5.3 Dimensionamiento de ménsulas por medio de reglamento ACI	120
5.4 Otros tipos de ménsulas	120
6. ENSAYO DE MATERIALES DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS....	121
6.1 Definición de ensayo	121
6.2 Clasificación de los ensayos.....	121
6.2.1 Ensayos de características químicas.....	121
6.2.2 Ensayos destructivos.....	122
6.2.2.1 Ensayo de tensión	122
6.2.2.2 Ensayo de compresión	122
6.2.2.3 Ensayo de flexión	122
6.2.2.4 Ensayo de dureza	123
6.2.2.5 Ensayo de pandeo	123
6.2.2.6 Extracción de cilindros (para hormigón).....	123
6.2.3 Ensayos destructivos dinámicos.....	124
6.2.3.1 Desgaste.....	124
6.2.3.2 Fatiga.....	124
6.3 Ensayos tecnológicos	124
6.4 Ensayos no destructivos.....	125
6.4.1 Ensayos magnéticos.....	125
6.4.2 Ensayos eléctricos.....	126
6.4.3 Ensayos por líquidos penetrantes.....	126
6.4.4 Ensayos estructurales.	126
6.4.5 Ensayos de rayos X.....	127
6.4.6 Ensayos de rayos gamma.	127

6.4.7 Ensayos de ultrasonidos	127
6.4.8 Método de rebote	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA	133
APÉNDICE.....	137
ANEXOS.....	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Curva granulométrica de agregado fino	10
2. Curva granulométrica de agregado grueso.....	10
3. Curvas granulométricas discontinua, semicontinua, interferida	11
4. Relación agua-cemento	13
5. Encofrado de madera	18
6. Encofrado de metal.....	19
7. Encofrado plástico	19
8. Barra con corruga	24
9. Falla de barras lisas.....	27
10. Falla de barras corrugadas	27
11. Curva esfuerzo – deformación del acero	29
12. Comparación de material dúctil y material frágil	31
13. Malla electrosoldada.....	34
14. Mandril utilizado para dobléz de barras	46
15. Diferencia del refuerzo transversal en las columnas.....	50
16. Confinamiento por medio de estribo y zuncho	53
17. Separación entre barras longitudinales.....	54
18. Diagrama de deformaciones para columnas cargadas excéntricamente.....	55
19. Encofrado de madera.....	58
20. Encofrado metálico	63
21. Losa en una dirección.....	68
22. Losa en dos direcciones	68
23. Losa de placa plana.....	68
24. Losa plana	69

25. Losa reticular	69
26. Partes del joist	71
27. Vigüeta con patín fundido	71
28. Bovedilla de pómez	72
29. Franja de losa que trabaja como viga de un metro de ancho	74
30. Elementos del refuerzo en losa	77
31. Colocación de paraleles y costaneras	86
32. Colocación de vigüetas.....	86
33. Nivelación de vigüetas.....	87
34. Colocación de bovedilla.....	87
35. Colocación de electromalla.....	88
36. Fundición de losa	88
37. Colocación de paraleles y costaneras.....	94
38. Armado final para losa en una dirección.....	100
39. Colocación de paraleles y costaneras.....	104
40. Losa en dos direcciones	107
41. Armado de losa de ferrocemento	109
42. Colocación de mezcla al armado de losa de ferrocemento	111
43. Losa trapezoidal diseñada por ferrocemento.....	113
44. Ménsula	115
45. Falla de tensión por flexión.....	116
46. Falla por fisuración diagonal.....	116
47. Falla por cortante deslizante.....	117
48. Falla por fisuración de anclaje	117
49. Falla por aplastamiento debido a esfuerzos	118
50. Falla por tensión horizontal	118
51. Ménsula doble	120

TABLAS

I Ventajas y desventajas del concreto.....	4
II Tamices utilizado para agregado fino	7
III Clasificación del módulo de finura	7
IV Tamices para agregado grueso.....	9
V Características mecánicas de aceros de mallas electrosoldadas.....	35
VI Esfuerzos de fluencia de barras de acero según ASTM A-615M.....	39
VII Propuesta de formato para informe de norma Coguanor NGO 36011.....	40
VIII Especificaciones mecánicas según ASTM A-496.....	44
IX Peraltes totales mínimos de vigas y losas.....	74
X Cuantías mínimas de refuerzo para temperatura y retracción de losas.....	75
XI Ventajas de la losa tradicional y de la losa prefabricada	77
XII Desventajas de la losa tradicional y de losa prefabricada	78
XIII Armadura total.....	79
XIV Traslape de malla en el ferrocemento.....	81
XV Recubrimiento mínimo de acuerdo al ambiente	82
XVI Peso propio terminado de losa prefabricada.....	89
XVII Longitud de viguetas según peralte	89
XVIII Costo de losa prefabricada	90
XIX Costo de losa de concreto en una dirección	96
XX Momentos de diseño de losa en una dirección	97
XXI Costo de losa de concreto en dos direcciones.....	107
XXII Costos de losa de ferrocemento	112

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Alargamiento a la ruptura en mallas
h	Altura del elemento que es igual, al peralte mas el recubrimiento
A _f	Área de acero que resiste el momento factorado de la ménsula
A _g	Área neta de concreto
A _h	Área de acero por fuerza cortante en las ménsulas
A _n	Área de acero que resiste la tensión en la ménsula
A _{nc}	Área del concreto encerrada en el estribo o zuncho
A _{st}	Área de acero en la columna
A _r	Alargamiento remanente
w	Carga distribuida
CM	Carga muerta
CV	Carga viva
CU	Carga última
ϵ	Deformación unitaria
ρ	Densidad del acero
d _b	Diámetro de barra
ϕ	Diámetro de barras en electromalla
σ	Esfuerzo del acero
f _y	Esfuerzo de fluencia del acero
t	Espesor de losa
Z	Estricción
Φ	Factor de reducción en columnas
V _u	Fuerza cortante
N _u	Fuerza horizontal de tensión que actúa sobre la ménsula
AEH	Identificación de acero para electromalla

I	Longitud de muestra ensayar
L	Longitud de ménsula
l_a	Longitud lado corto de losa
l_b	Longitud lado largo de losa
$R_{p0.2}$	Límite elástico convencional al 0.2%
m	Masa de la muestra a ensayar
M	Momentos que actúan en losa
M_u	Momento último
s	Paso entre zunchos
P	Perímetro
ρ_s	Porcentaje de acero en espiral
r	Recubrimiento de losa
f'_c	Resistencia a la compresión del concreto
R_m	Resistencia a la tracción en malla
R	Resistencia de espiral
P_n	Resistencia última nominal
K	Rigidez de la losa

GLOSARIO

Aditivos	Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado, a fin de modificar sus propiedades.
Adherencia	Es la unión entre el concreto y las barras de acero, por el proceso físico y químico.
Anclaje	Porción del elemento a través de la cual la fuerza de preesforzado concentrada se transfiere al concreto y es distribuida uniformemente en toda la sección.
Confinamiento	Colocación del refuerzo longitudinal y transversal para aumentar la ductilidad en el concreto.
Corrugado	Protuberancias que tienen las barras de acero que sirven para aumentar la adherencia del acero y el concreto.
Contracción	Cambios en el contenido de humedad en el concreto.
Curado	Acción que se requiere para que el concreto desarrolle todas las propiedades potenciales inherentes.

Encofrado	Estructura de madera, acero o plástico utilizada para dar forma al concreto y que es capaz de resistir las cargas presentes en el proceso de fundición.
Ensayo	Toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un material.
Estribo	Barra o alambre doblados que abraza el refuerzo longitudinal. Generalmente es cuadrado o rectangular.
Ferrocemento	Tipo de construcción de concreto reforzado, con espesores delgados, y reforzado con capas de malla continua de diámetro pequeño.
Fisuración	Agrietamiento del concreto por falta de un curado adecuado o mala calidad de los materiales.
Granulometría	Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado y se determina utilizando juego de tamices.
Joist	Armadura de acero que forma la parte principal de la vigueta.
Losa	Elemento estructural de poco espesor y que trabaja a flexión
Mandril	Equipo utilizado para realizar ensayos de doblez en barras de acero.
Moldeabilidad	Característica del concreto de tomar la forma del recipiente que lo contiene.

Paral o puntal	Elementos de apoyo verticales o inclinados diseñados para soportar el peso del encofrado, del concreto y de las cargas de construcción sobre ellos.
Tamiz	Instrumento utilizado para análisis granulométrico. Es una malla de alambre forjado con aberturas rectangulares.
Vernier	Instrumento graduado que sirve para medir diámetros interiores o exteriores.
Zuncho	Abrazadera de hierro, que sirve para confinar las columnas circulares.

RESUMEN

El presente informe contiene las prácticas de laboratorio del curso de concreto armado 2, en donde se detallan los procedimientos para llevarlas a cabo, se indican las referencias de las normas y códigos nacionales e internacionales utilizadas en la realización de cada una de ellas, haciendo énfasis en las normas COGUANOR, ASTM y ACI.

La primera práctica de laboratorio trata sobre el ensayo a tensión y doblez de barras para el refuerzo de concreto armado y para mallas electrosoldadas, parámetros indispensables que indican la calidad del acero.

La segunda práctica de laboratorio se enfatiza en el ensayo de columnas, práctica que detalla el encofrado, el armado y el curado en la elaboración de las columnas.

En la tercera práctica de laboratorio se trata sobre los distintos tipos de losas, se realizan los cálculos para el diseño de cada una de ellas, los pasos para el proceso del armado y el costo para realizarla.

Se agrega un capítulo sobre ménsulas, las cuales son utilizadas prácticamente en la industria para la movilización de equipo pesado. Se termina con el capítulo de ensayos de los materiales destructivos y no destructivos, siendo los ensayos no destructivos los más caros por que se necesita equipo y personal especializado para realizarlo.

OBJETIVOS

GENERAL:

Obtener una guía para las prácticas del laboratorio del curso de Concreto Armado 2, que permita alcanzar los objetivos de la práctica del laboratorio y del curso.

ESPECÍFICOS:

1. Asimilar y aplicar los conceptos teóricos del curso de Concreto Armado 2, realizando las prácticas de los laboratorios con las normas técnicas y códigos establecidos.
2. Desarrollar la teoría general básica necesaria de cada ensayo para comprender la práctica a realizarse y la forma en que se debe presentar el informe del ensayo realizado en el laboratorio.
3. Describir el procedimiento a seguir en la realización de cada práctica de laboratorio de acuerdo con normas internacionales y nacionales.
4. Comparar resultados obtenidos en los ensayos de las práctica del laboratorio con la teoría del curso.
5. Comparar costos entre los distintos sistemas constructivos y utilizar el más conveniente de acuerdo a los recursos que haya en el lugar de la edificación.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene como finalidad egresar profesionales con mayor capacidad y habilidad en la resolución de problemas. Esto se logra mediante un proceso sistemático que permita que el alumno asimile los conocimientos de los cursos que se imparten. Los conocimientos teóricos se pueden asimilar con mayor facilidad haciendo las prácticas respectivas paralelamente con el desarrollo del curso.

Es por esa razón que se presenta esta guía de apoyo, tanto a docentes como a estudiantes, para la elaboración de las prácticas de laboratorio del curso de Concreto Armado 2, cuya finalidad es determinar básicamente la calidad de los materiales a utilizar y los procedimientos establecidos en las normas nacionales e internacionales para obtener los resultados deseados.

Cada práctica de laboratorio, hace referencia a las normas nacionales e internacionales que deben de utilizarse para realizar el ensayo, tal es el caso de la norma de la sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM) y el Instituto Americano del Concreto (ACI), normas que son muy utilizadas en Guatemala conjuntamente con la norma COGUANOR, aunque existen muchas normas que son propias de otros países como las normas chilenas (Nch) o las normas españolas UNE.

1. CONCRETO REFORZADO

1.1 Calidad de los materiales para el concreto

El concreto u hormigón es una mezcla artificial de materiales debidamente dosificados de cemento, arena, grava y agua, el cual una vez endurecido tiene las características similares a la piedra natural. Este concreto únicamente con los materiales antes mencionados se le llama **concreto simple** y es resistente a la compresión y débil a la tensión, lo que limita su uso como material estructural.

Si al concreto simple se le colocan barras de refuerzo longitudinal y transversal recibe el nombre de **concreto reforzado** y se coloca en zonas previstas para resistir esfuerzos de tensión. El agua y el cemento sirven para unir los materiales pétreos (arena-grava), en algunas ocasiones se les puede agregar otras sustancias, llamadas **aditivos**, las cuales modifican algunas propiedades del concreto.

Actualmente, se buscan concretos con mayor resistencia y puede lograrse utilizando los materiales en proporciones adecuadas y además algunos aditivos, mejorando no solo la resistencia a la compresión sino a las demás propiedades inherentes del concreto, por esa razón se le llama **concreto de alta resistencia**.

Para conseguir uniformidad en el concreto, los materiales deben de removerse las veces que sean necesarias, a esto le llamamos **batir la mezcla**, este proceso es manual y debe de hacerse con cuidado de manera que se pueda uniformar la mezcla.

Pero puede utilizarse hormigoneras las cuales permiten tener un concreto más uniforme. Cuando se hace el amasado a mano, debe hacerse sobre una plataforma impermeable y limpia, realizándose como mínimo tres batidos. El concreto debe utilizarse rápidamente y puede agregársele agua si es necesario debido a la pérdida por amasado.

La fabricación del concreto se realizan en estado plástico, el cual puede ser *in situ* (en el lugar) o lejos de la obra (prefabricado), para ello se utilizan moldes, comúnmente de madera, para darle la forma que el constructor desee, hasta que el concreto toma la resistencia necesaria para soportarse él mismo. Esta característica del concreto de tomar la forma del recipiente que lo contiene la llamamos **moldeabilidad**, permitiendo obtener detalles arquitectónicos que con otro material sería difícil realizar.

Otra característica importante de mencionar es que el concreto puede seguir con la **continuidad** de la estructura sin que se afecten las propiedades del mismo, sabiendo que el monolitismo es algo natural de los elementos estructurales. Además de las propiedades mencionadas, cabe mencionar por su importancia la contracción y el curado del concreto.

La **contracción** es un proceso que consiste en cambios en el contenido de humedad en el concreto, la cual se va evaporando a mayor velocidad al principio que al final produciendo cambios volumétricos internos y produciendo deformaciones.

La contracción está afectada por los agregados, la relación agua-cemento, condiciones de ambiente, cantidad de acero de refuerzo, los aditivos, tamaño del elemento a construir.

El **curado** del concreto es la acción que se requiere para que el concreto obtenga todas las propiedades inherentes, después de haberse vertido en las formaletas o moldes. Tiene como finalidad evitar el secado prematuro, el cual es provocado especialmente por los rayos del sol y el viento.

El concreto se cura para permitir la reacción química agua-cemento y que permita al concreto adquirir las propiedades para el cual fue hecho, principalmente la resistencia. Además, se evita que se formen fisuras (grietas), debido a esfuerzos internos por la contracción.

Existen dos formas de curar el concreto, manual y artificial. Entre la forma manual se tiene por cobertura con materiales húmedos, o utilizando arena o tierra las cuales deberán estar libres de terrones o piedras para tener un curado regular.

Puede curarse por evaporación, el cual consiste en colocar un medio impermeable y que la misma exudación mantenga la humedad del concreto. Entre la forma artificial se puede utilizar rayos infrarrojos, métodos eléctricos, vapor a alta presión, vapor a presión normal. En la sección 1.5 del presente capítulo se detalla el procedimiento para el curado del concreto.

A continuación se presenta las ventajas y desventajas del concreto reforzado como elemento del diseño estructural. En conclusión se puede decir que la calidad del concreto está ligada directamente a la calidad de los materiales y a la relación agua-cemento.

La tabla I muestra la comparación entre las ventajas y desventajas del concreto reforzado.

Tabla I. Ventajas y desventajas del concreto

VENTAJAS DEL CONCRETO REFORZADO	DESVENTAJAS DEL CONCRETO REFORZADO
1. Tiene una resistencia considerable a la compresión	1. El concreto tiene resistencia muy baja a la tensión.
2. El concreto reforzado tiene gran resistencia al fuego y al agua.	2. Se requiere cimbras para mantener el concreto en posición hasta que endurece suficientemente. Además, pueden requerirse obras falsas o apuntalamiento para apoyar la cimbra de techos.
3. Las estructuras de concreto reforzado son muy rígidas.	
4. Requiere de poco mantenimiento.	
5. Tiene una larga vida de servicio.	3. La baja resistencia por unidad de peso conduce a miembros pesados.
6. Es prácticamente el único material económico disponible para zapatas, sótanos, muelles e instalaciones similares	
7. Se puede colar en una variedad extraordinaria de formas que van desde simples losas, vigas y columnas, hasta arcos y cascarones.	4. La baja resistencia por unidad de volumen de concreto implica que los miembros serán relativamente grandes.
8. En muchas regiones, el concreto aprovecha para su elaboración la existencia de materiales locales baratos y requiere cantidades relativamente pequeñas de cemento y acero de refuerzo.	5. Las propiedades del concreto varían ampliamente debido a las variaciones en su dosificación y mezclado. Además, el colado y el curado del concreto no son tan cuidadosamente controlados como la producción de otros materiales.
9. Se requiere mano de obra de baja calificación para su montaje.	

1. 2 Cementos y agregados

1.2.1 Cemento

Es un material que se obtiene mediante un largo proceso, el cual empieza con la explotación de canteras de donde se extrae la materia prima formada principalmente de calcio, sílice, aluminio y hierro. La materia prima se transporta y se procede a hacer análisis químico para conocer la composición que tiene esa material; después la materia prima se tritura para formar una prehomogenización.

El material prehomogenizado pasa a la molienda en donde la materia prima sale en forma de harina y se colocan en hornos cuyas temperaturas oscilan entre los 900 y 1500°C. La materia que ese obtiene de los hornos se llama clinker (cemento en piedra). Para evitar que se endurezca rápidamente, el clinker (95%), se muele con yeso y puzolana (5%) y el material que resulta de esa molienda se pasa por el tamiz No. 325¹.

Este material aglomerante es lo que conocemos comúnmente como cemento y para fabricarlo debe cumplirse con la norma ASTM-C 150 (SPECIFICATION FOR PORTLAND CEMENT). Existen diferentes tipos de cementos siendo el más utilizado el cemento portland, este cemento tiene un color gris y es muy económico. El cemento portland es un tipo de cemento hidráulico, es decir, fragua y se empieza a endurecer cuando se mezcla con agua, formando una pasta cuyo uso no es muy amplio, hasta que se utilizan con otros materiales.

¹ Tamiz utilizado para determinar el modulo de finura del cemento portland

1.2.2 Agregado fino

La arena es el material fino que se obtiene por el proceso natural de desintegración de las rocas, cuyo diámetro es inferior a los 5mm.

Las arenas se clasifican por los tamaños de los granos y esto puede hacerse por medio de la granulometría, que consiste en hacer pasar el material por un juego de tamices entre los cuales tenemos (tamiz # 4, 8, 16, 30, 50, 100)² los cuales retienen el material más grueso y dejan pasar las arenas de menor diámetro, hasta que llega al fondo el material más fino.

El agregado fino lo podemos clasificar en arena muy fina, fina, media y gruesa.

- Arena muy fina: es aquella en la que sus granos pasan por el tamiz 0.25mm (tamiz #60).
- Arena fina: es aquella en la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm (tamiz #18) y son retenidos por otro de 0.25mm (tamiz #60).
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.8mm (tamiz #7) y son retenidos por otro de 1mm (tamiz #18).
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm (tamiz # 4) de diámetro y son retenidos por otro de 2.8mm (tamiz #7).

La tabla II muestra los tamices utilizados para el análisis granulométrico del agregado fino.

² El número de tamiz indica las mallas por pulgada lineal, es decir que el tamiz # 4 tiene 4 mallas de 4.75mm por pulgada lineal.

Tabla II. Tamices utilizado para agregado fino³

No. Tamiz		Peso (gr)	% que pasas	% Retenido	
No.	mm			Separado	Acumulado
4	4.75		95-100		
8	2.36		80-100		
16	1.18		50-85		
30	0.600		25-60		
50	0.500		10-30		
100	0.150		2-10		
Fondo					
Suma					

1.2.3 Módulo de finura

Un parámetro útil para clasificar las arenas es por medio del módulo de finura (MF), el cual se obtiene sumando los % acumulados retenidos en los tamices 4.75mm (tamiz # 4) al 150mm (tamiz #100).

Además, el módulo de finura es utilizado para el diseño de mezclas con Cemento Portland, comúnmente se usa el un valor de MF entre 2.2 y 3.2. el módulo de finura lo regula la norma ASTM C125. La tabla III muestra la clasificación por finura del agregado fino.

Tabla III. Clasificación del módulo de finura

CLASIFICACIÓN DE ARENA POR MÓDULO DE FINURA	
Arena gruesa	MF 2.9-3.2
Arena media	MF 2.2-2.9
Arena fina	MF 1.5-2.2
Arena muy fina	MF 1.5

³ Fuente: Manual del curso de materiales de construcción. Pág. 123. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil

Las arenas con módulos de finura alta (2.9-3.2) producen por lo general concretos más resistentes que las arenas finas, pero tienen el inconveniente de necesitar mucho conglomerante para tratar de eliminar los poros o agujeros entre las partículas de manera que aumente la adherencia, por esa razón se trabaja con arena media formando un concreto de calidad y de bajo costo.

1.2.4 Agregado grueso

Las gravas son pequeños fragmentos de rocas pero con un diámetro menor de 15 cm. Por lo general, se consideran gravas los fragmentos de roca que son retenidos por un tamiz de mallas de 5mm (tamiz # 4) de diámetro.

Las gravas tienen forma redonda cuando proviene de ríos y angulado cuando se obtiene de trituración en canteras. Su uso en la elaboración de concreto armado conjuntamente con la arena forma más del 75% de la masa sólida del concreto.

Al igual que con el agregado fino, podemos clasificar el tamaño de las gravas por medio de la granulometría, es decir colocando el material seleccionado en un juego de tamices (tamiz # 3", 2", 1 3/4", 1 1/2", 1", 3/8").

El material seleccionado se deposita en la máquina tamizadora y se deja que dicho material sea agitado durante 10 minutos. Se tara el material retenido en cada tamiz y se colocan los datos del peso en la tabla No.4 y se procede a calcular el módulo de finura de la misma manera que para el agregado fino.

La tabla IV muestra los tamices utilizados para el análisis granulométrico del agregado grueso.

Tabla IV. Tamices para agregado grueso⁴

No. Tamiz		Peso (gr)	% Retenido	
Plg	mm		Separado	Acumulado
3"	76.1			
2"	50.8			
1 ¾"	46.0			
1 ½"	38.1			
1"	25.2			
3/8"	9.51			
Fondo				
Suma				

1.2.5 Gráficas granulométricas

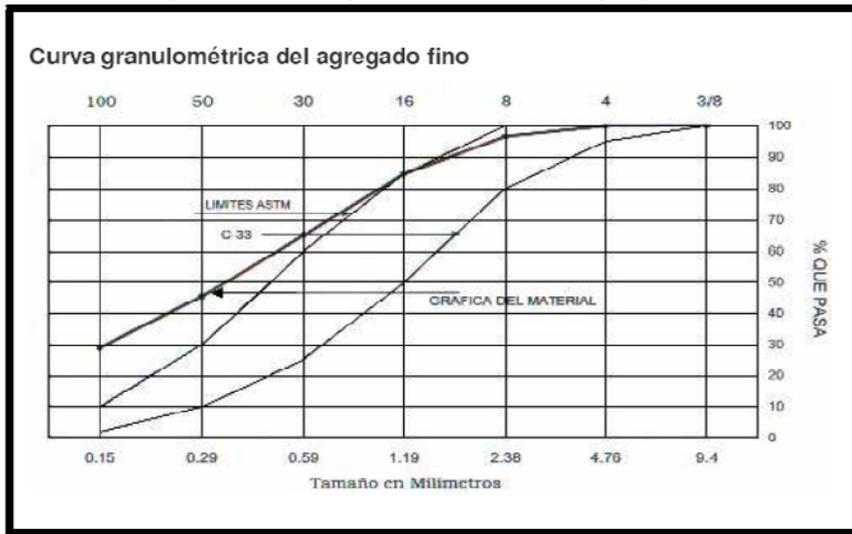
Para esbozar la gráfica se coloca en el eje de las abscisas los diámetros de los tamices y en el eje de las ordenadas los porcentajes retenidos acumulados. Esta gráfica es utilizada para identificar el tipo de agregado y las fracciones o porcentajes retenidos en cada tamiz.

Para que el material sea aceptado como óptimo para la elaboración de un concreto de calidad, la gráfica del material tamizado debe estar en medio de los límites establecidos por la norma ASTM C33, de lo contrario se procede a hacer una homogenización de los materiales con otros tipos de agregados.

La figura 1 muestra un ejemplo de la curva granulométrica para el agregado fino, establecido en la norma ASTM C-33. Para el agregado fino es recomendable utilizar el número del tamiz indicado en la parte superior de la gráfica y su tamaño en mm en la parte inferior.

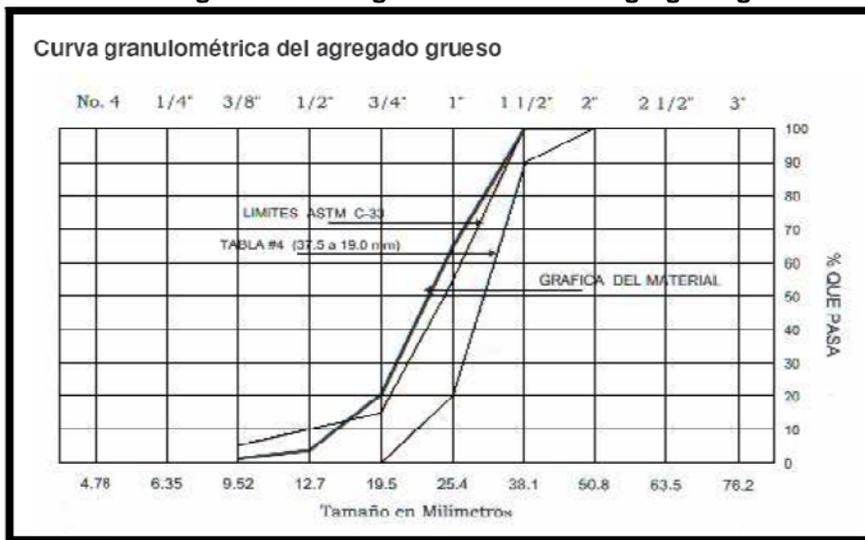
⁴ Fuente: Manual del curso de materiales de construcción. Pág. 123. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil

Figura 1. Curva granulométrica de agregado fino



La figura 2 muestra un ejemplo de la curva granulométrica para el agregado grueso, la cual está establecida en la norma ASTM C-33. En la práctica se utiliza el número de tamiz en pulgadas indicado en la parte superior y su valor correspondiente en mm en la parte inferior.

Figura 2. Curva granulométrica de agregado grueso



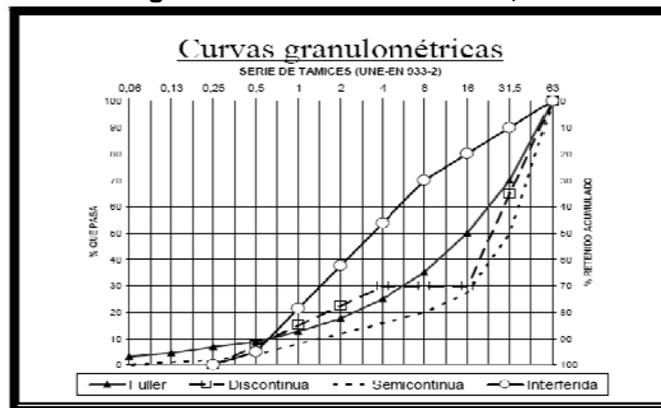
1.2.6 Tipos de granulometrías

Las gráficas granulométricas son útiles para identificar el porcentaje retenido en cada tamiz y la clase de agregado utilizado. De acuerdo con la forma de la curva se pueden tener diferentes tipos de granulometrías, entre ellas se tienen:

- Granulometría interferida: hay exceso de tamaños intermedios.
- Granulometría semi-continua: hay poco tamaño de partículas intermedias
- Granulometría discontinua: faltan tamaños de partículas intermedias
- Granulometría continua: es este tipo de granulometría se tienen partículas de todos los tamaños y de acuerdo a los estudios de Fuller la gráfica se aproxima a una parábola.

La figura 3 muestra los diferentes tipos de granulometrías las cuales se diferencian por los tipos de líneas. Esta gráfica fue elaborada en base a norma UNE-EN 933-2.⁵

Figura 3. Curvas granulométricas discontinua, semicontinua, interferida



⁵ Versión oficial en español de las normas europeas

1.2.7 Agua

Para obtener concreto de calidad, el ACI recomienda que el agua debe estar limpia, libre de cualquier sustancia perjudicial al concreto tales como aceites, ácidos, materia orgánica, etc., en otras palabras, el agua debe ser potable, de lo contrario se considera que el agua está contaminada, aunque no desde el punto de vista bacteriológico.

El agua es utilizada no sólo para la elaboración de la mezcla de concreto, sino para el curado de cualquier estructura recién fundida, la cual debe cumplir las mismas características de calidad físico-químicas que el agua utilizada para realizar el concreto.

Entre los daños que puede causar el agua contaminada al concreto podemos mencionar, la disminución de la resistencia y tiempo de fraguado a corto plazo, la corrosión de las barras de acero a largo plazo.

Para utilizar concreto de alta calidad requerido en estructuras especiales, el agua se debe someter a la verificación de la calidad, ésta puede hacerse por medio de norma NGO 29001 COGUANOR, en donde se detallan todos los exámenes a la que se debe someter el agua para que sea de calidad.

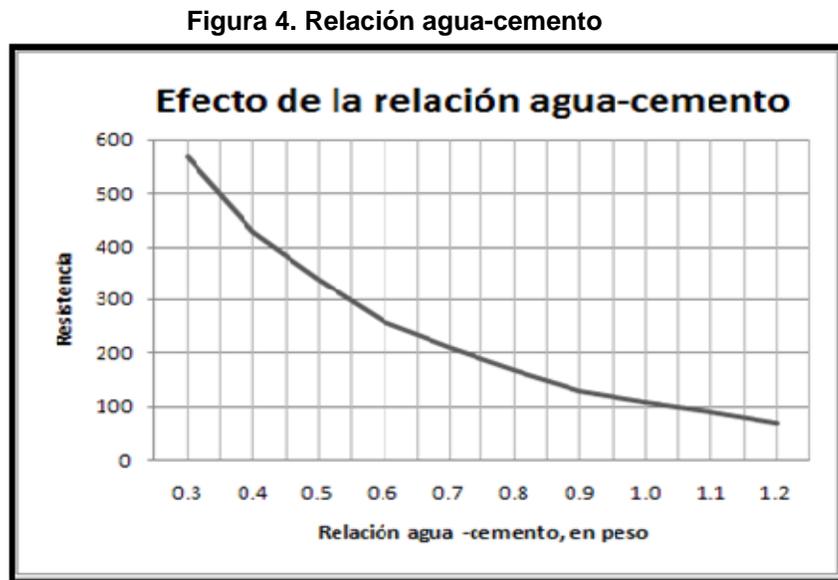
1.2.8 Relación agua-cemento

La resistencia del concreto está íntimamente relacionada con la cantidad de agua. Si se agrega mayor cantidad de agua de la necesaria el concreto disminuye la resistencia considerablemente y si se vierte menos cantidad de agua de la calculada, la resistencia aumenta pero es difícil la trabajabilidad del concreto.

La resistencia del concreto está influenciada por el curado, hasta una disminución del 10% según pruebas experimentales de resistencia sobre concretos con curados húmedo de 1, 3, 7 ó 28 días, dependiendo del tipo de cemento utilizado y en algunos casos puede ser mayor al 10%.

Aproximadamente entre un 25% a 30% del agua se mezcla con el cemento y el resto sirve para la trabajabilidad del concreto, el agua no utilizada en la plasticidad del cemento se evapora dejando poros, esto indica que a mayor cantidad de agua utilizada, mayor será la porosidad del concreto y por tanto se reduce considerablemente la resistencia.

La figura 4 muestra la relación agua-cemento en peso.



La figura 4 muestra la relación entre la resistencia y cantidad de agua en peso. La gráfica es una relación inversa entre la resistencia y la relación agua-cemento. Esta es una característica del concreto que debe cuidarse para obtener mayor resistencia.

1.3 Curado del concreto

El curado del concreto consiste en mantener el contenido de temperatura y humedad ideal en el hormigón, de manera que le permita obtener las propiedades con las que se diseñó la mezcla.

Si no hay un suministro de humedad adecuada se produce un secado acelerado debido a la temperatura interna del concreto por la reacción química del cemento con los agregados y comienza a producirse la hidratación, la cual afecta las propiedades potenciales del concreto.

Las condiciones ambientales afectan notablemente la pérdida de la humedad y causa que el concreto obtenido sea de mala calidad produciendo además una durabilidad superficial baja y agrietamiento por la contracción interna de los materiales.

1.4 Necesidad del curado del concreto

Entre las razones para realizar un adecuado curado del concreto están:

- Obtención de resistencia
- Durabilidad
- Calidad del servicio

1.4.1 Obtención de resistencia

Si no hay humedad necesaria en la mezcla del concreto se ha comprobado experimentalmente que la resistencia disminuye hasta en un 50% de la capacidad de la resistencia normal del concreto.

1.4.2 Durabilidad

Cuando hay un curado adecuado, se obtiene mayor dureza superficial, evita la humedad protegiendo de esta manera el acero de refuerzo, es prácticamente invulnerable a las condiciones climáticas y por ende mejora la vida de servicio de la estructura.

1.4.3 Calidad del servicio

Cuando hay curado adecuado en el concreto se obtiene un material mucho más resistente a la abrasión, evita el descascaramiento o la aparición de fisuras en las estructuras.

1.5 Métodos de curado del concreto

Entre los métodos más conocidos para el curado del concreto se encuentran:

1.5.1 Interposición de un medio húmedo

- Verter agua sobre el concreto después que éste ha fraguado.
- Rosear agua a la superficie del concreto.
- Cubrir la superficie de concreto con tierra, arena, aserrín o paja, mantenidos húmedos por roseado.

1.5.2 Aquellos que utilizan compuestos químicos

Los compuestos sellantes pueden emplearse para curado del concreto fresco, después de la remoción de encofrados. Los compuestos sellantes comprenden cuatro grupos:

- Emulsiones de látex o de caucho.
- Emulsiones en agua, o en un solvente químico, de resinas, barnices, cera, aceites cocidos o sustancias repelentes al agua.
- Compuestos a base de parafina y aceite de linaza cocido en agua y estabilizados por ácido esteárico.
- Compuestos plásticos.

1.5.3 Interposición de un medio impermeable.

- Colocación de un material impermeable como el nylon de manera que se mantenga la humedad el tiempo necesario, hasta que el concreto obtenga la resistencia deseada.

1.5.4 Tipos de curado artificial

- Curado por rayos infrarrojos.
- Curados eléctricos.
- Curado al vapor a alta presión.
- Curado al vapor a presión normal.

1.6 Curado de unidades prefabricadas

Después de terminar la operación de moldeado de unidades prefabricadas, debe cubrirse cada elemento con una capa doble de algún material saturado de agua. La longitud del curado inicial, para unidades que van a recibir curado final por vapor, deberá variar con la temperatura del curado al vapor. El curado conveniente inicial puede ser de seis horas.

El curado final puede obtenerse por colocación de la unidad en una cámara de curado en la cual debe ser continua y cuidadosamente saturada con agua durante todo el período de curado, o estar en una atmósfera completamente saturada, ya sea por aspersión de agua o por vapor.

1.7 Definición de encofrados

Cuando hablamos de encofrados nos referimos a los moldes o formaleta utilizada para verter el concreto y darle la forma que el constructor desea al elemento a construir.

Esta formaleta puede ser utilizada temporalmente pero en algunas ocasiones la formaleta queda permanente. Los aspectos básicos a considerar en los encofrados son: economía, seguridad y precisión en las medidas, siendo la seguridad la más importante para evitar accidentes laborales.

1.8 Cargas a considerar en los encofrados

Cuando se diseña una obra, se calculan las cargas que actúan en los elementos estructurales, de la misma manera debe de calcularse el tipo de encofrado que resistirá todas las cargas que actúan sobre el encofrado. Algunas de las cargas que pueden actuar sobre el encofrado detallan a continuación.

- Peso propio de los encofrados
- Peso del concreto
- Cargas de la construcción
- Presión del concreto

1.9 Tipos de encofrado

Los encofrados utilizados en la construcción son básicamente de madera, pero hay moldes plásticos y metálicos.

1.9.1 Encofrados de madera

Básicamente estos encofrados están hechos de tablas de madera de pino, debido a su bajo costo comparado con otras clases de maderas u otros materiales. Además permite que se pueda cortar de cualquier medida para obtener la forma del molde deseado. Es muy utilizada en la mayoría de estructuras y en la actualidad se puede alquilar el material utilizado.

Figura 5. Encofrado de madera



1.9.2 Encofrados de metal

Generalmente están hechos de metal estandarizados y tienen dos ventajas comparadas con los encofrados de madera. En el primer caso se tiene la durabilidad del material frente a la madera y en segundo la rapidez del encofrado por facilidad del atornillado. La figura 6 muestra el encofrado de metal.

Figura 6. Encofrado metálico



1.9.3 Encofrados de plástico

Normalmente se usa cuando el espesor de la estructura es muy grande, como es el caso de losas reticulares. Se pueden volver a utilizar al igual que los metálicos, lo que economiza el gasto en nueva formaleta. Su inconveniente es que si es de diferente forma la formaleta tendrá que diseñarse de nuevo. La figura 7 muestra la utilización de encofrados plásticos en la elaboración de una losa.

Figura 7. Encofrado plástico



1.10 Doblez de estribos

- Doblez de 135° más una extensión mínima de $10 d_b$ al extremo libre de la barra.
- Doblez de 90° o 135° en elementos que no resisten acciones sísmicas, mas una extensión de $6d_b$.
- Doblez de 90° o 135° cuando los estribos no se requieran por confinamiento más una extensión de $6d_b$.

1.11 Diámetros mínimos de doblado

El diámetro del doblado medido a la cara interior de la barra no deberá ser menor a:

- Estribos 3/8" a 5/8 : $4d_b$
- Estribos 3/4" y mayores: $6d_b$

1.12 Espirales

- Los espirales deberán consistir de barras continuas, espaciadas uniformemente, con un diámetro mínimo de 3/8". El espacio libre entre espirales será como mínimo 2.5 cm y como máximo 7.5 cm.
- El anclaje del refuerzo en espiral se hará aumentando 1.5 vueltas de la barra en cada extremo.
- Los empalmes en el refuerzo en espiral serán por traslape, con una longitud mínima de $48 d_b$.

- El refuerzo en espiral deberá extenderse desde la parte superior de la zapata o losa en cualquier nivel, hasta la altura del refuerzo horizontal más bajo del elemento soportado.
- Siempre deberán colocarse estribos por encima de la terminación del espiral hasta la parte inferior de la losa o ábaco.
- En columnas con capitales, el refuerzo en espiral se extenderá hasta el nivel en el cual el diámetro o ancho del capitel es el doble de la columna.
- El refuerzo en espiral será sujetado firmemente en su lugar y se usarán espaciadores verticales para mantener la alineación.

2. BARRAS CORRUGADAS, MALLAS Y SU ADHERENCIA EN EL CONCRETO

2.1 El acero dulce como material estructural

Otro de los materiales utilizados en la construcción son las barras de acero, las cuales se forman básicamente por la combinación de carbono y hierro, aunque se le agregan porcentajes de otros elementos para obtener un material cuyas propiedades física-mecánicas no las tiene ningún otro material en la naturaleza. La norma COGUANOR NGO 36011 establece que las barras de acero deben de tener fósforo no mayor del 0.060% y de azufre no mayor de 0.060% pero se puede aceptar un máximo de 0.075%.

2.2 Adherencia de las barras en el concreto

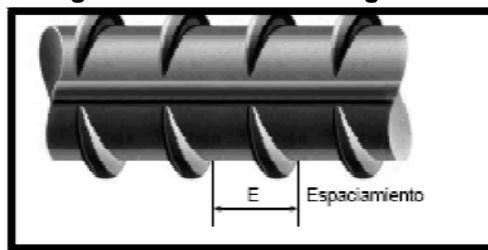
La adherencia es la unión entre el concreto y las barras de acero, cuya finalidad es transmitir los esfuerzos producidos por el hormigón a lo largo de la longitud de las barras y asegura el anclaje de la armadura en los extremos de los elementos de concreto reforzado.

Aunque adherencia existe entre cada uno de los elementos que intervienen en el concreto armado, su análisis es muy complejo debido a que intervienen muchos factores tanto químicos como físicos, además de las características del concreto como lo es recubrimiento, la carga aplicada, el confinamiento y las características de las barras de acero de refuerzo.

Su estudio es muy importante debido a que el trabajo en conjunto hormigón- armadura se oponen a las fuerzas de tracción de lo contrario no habría resistencia a estos tipos de esfuerzos.

Además, si no existe una buena adherencia, pueden presentarse fenómenos como la fisuración y la deformación, las cuales vulneran la estructura porque pueden provocar desprendimiento del concreto o la corrosión del acero. En la figura 8 se aprecia la barra con unas protuberancias, las cuales aumentan la adherencia en el concreto.

Figura 8. Barra con corruga



2.3 Propiedades físicas del acero

Dependiendo de la combinación de los elementos que se mezclan con el acero, éste adquiere distintas propiedades físicas, entre las más importantes para las barras de acero según la norma COGUANOR NGO36011 son:

- Masa unitaria (kg/m o lb/pie).
- Espaciamiento promedio (mm o plg).
- Ancho máximo de separación entre extremos de corrugaciones (mm o plg).
- Altura de corrugas (mm o plg).

2.4 Propiedades mecánicas del acero

Las propiedades mecánicas resultan cuando algún elemento es sometido a esfuerzos o cargas para observar el comportamiento o deformación que éste tiene. Entre las más importantes según la norma COGUANOR NGO 36011 están:

- Resistencia a la tensión
- Límite de fluencia
- Carga de fluencia
- Carga máxima
- Carga de ruptura
- Prueba de doblado
- % de elongación

2.5 Propiedades tecnológicas

Las propiedades tecnológicas son propias de los materiales y son las que nos permiten darle la forma que uno desea. A continuación se enumeran las más importantes.

- Ductilidad: propiedad de los materiales que bajo esfuerzos de tensión se pueden deformar sin romperse.
- Fusibilidad: propiedad de los materiales de ser fundidos o derretidos
- Soldabilidad: propiedad de los materiales que pueden ser soldados con otro de su misma especie.
- Colabilidad: es la facilidad con la que un cuerpo ocupa todos los huecos de un molde al ser fundido.
- Maleabilidad: Propiedad que junto a la ductilidad presentan los cuerpos a ser labrados por deformación.

2.6 Barras de refuerzo

El refuerzo utilizado en el concreto tiene diferentes formas, siendo la más utilizada la forma circular llamadas varillas y su diámetro nominal se mide en octavos de pulgada, siendo las más comunes las barras de la número 3 a la número 11 aunque existen también varillas número 14 y 18.

Las barras de refuerzo tiene orillas bien definidas llamados ribetes, además tiene corruga en formas de V, X y espiral cuya finalidad es tener mayor adherencia entre concreto y las barras de acero, evitando movimiento longitudinal de las mismas.

Experimentalmente, se ha determinado los requisitos mínimos que deben cumplir las corrugaciones tales como el espaciamiento, la altura y distribución perimetral de acuerdo a las normas ASTM A615, A616, A617, la norma COGUANOR (NGO 36011).

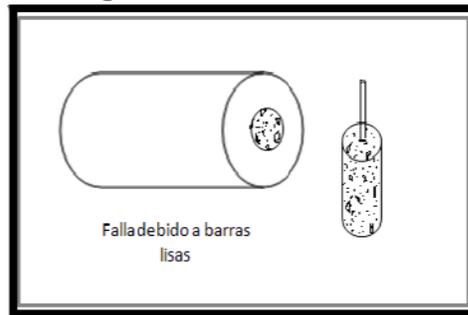
2.6.1 Barras lisas

Debido a que en el concreto armado las barras de refuerzo están sometidas a esfuerzos de tensión y el concreto a esfuerzos de compresión, ocurre entre los dos materiales deslizamiento, rompiendo la adhesión entre el concreto y las barras de acero.

La falla que se produce con este tipo de barra puede ser de dos formas. Si la barra es completamente lisa entonces la barra sale del concreto dejando un agujero liso. Si la barra no es completamente lisa, la fricción aumenta y la falla se da rompiendo el concreto como se muestra en la figura 9.

Las barras lisas son normadas por la COGUANOR NGO 36011, UNE 36-097-81 parte 1 y 2, ASTM A615, A616.

Figura 9. Falla de barra lisa



2.6.2 Barras corrugadas

En las barras corrugadas al romperse la unión de los dos materiales, por el mismo efecto de los esfuerzos de tensión y compresión, comienza a reaccionar las corrugaciones en contra del concreto y se produce falla en forma cilíndrica por cortante o el concreto se despedaza.

Las normas aplicables para este de tipo de acero son COGUANOR NGO 36011, UNE 36-099-81 parte 1 y 2, ASTM A615, A616.

La figura 10 muestra este tipo de falla.

Figura 10. Falla de barra corrugada



2.7 Grados y resistencias del acero

Las barras corrugadas de acero tienen resistencia mínima de acuerdo a las normas ASTM (A615, A616) de 40, 50, 60 o 75) y se les conoce como grado 40, 50, 60 y 75 e indican el esfuerzo de fluencia que la barra de acero posee. Por ejemplo la barra de acero con grado 40 indica un esfuerzo de fluencia de 40000lb/plg²; la barra de acero grado 50 indica un esfuerzo de fluencia de 50000lb/plg², etc.

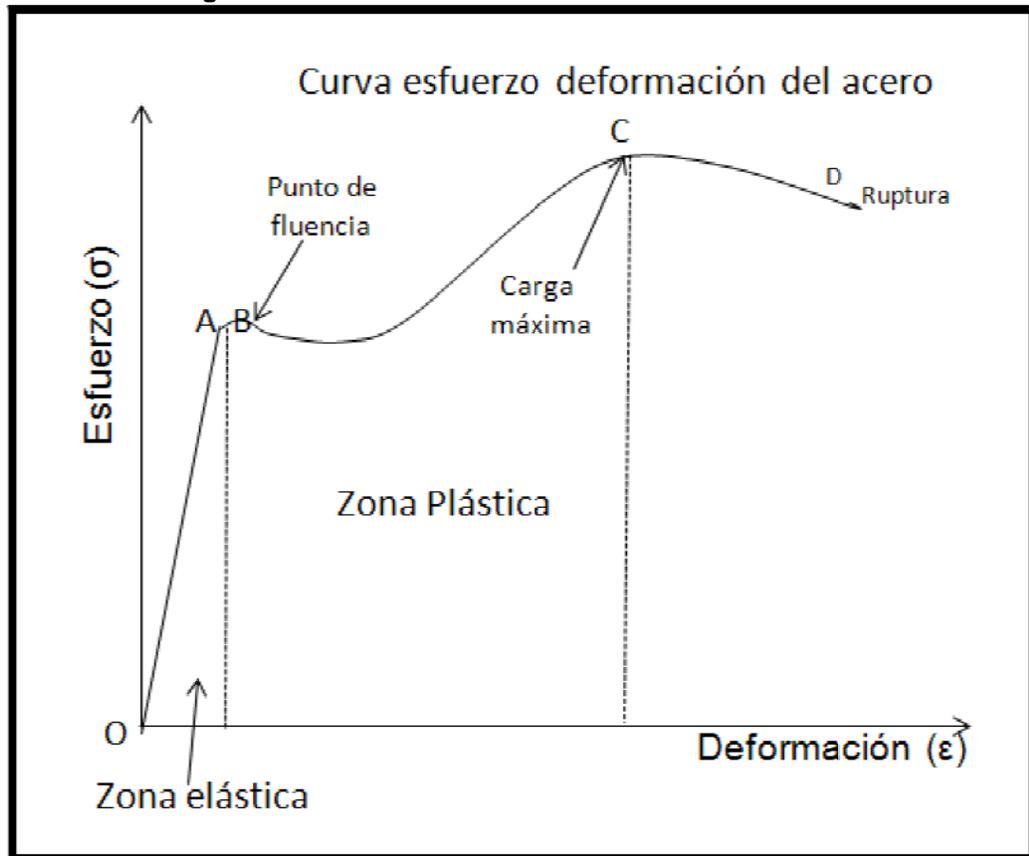
Para evitar accidentes con barras de menor tamaño o menor extensión las industrias siderúrgicas utilizan marcas sobre las barras. Ésta marcas en su orden especifican primero: la siderúrgicas que las produce (usualmente una inicial), segundo: el número de tamaño de la barra (3 a 18), tercero: el tipo de acero (S para el lingote, un signo para rieles de acero; A para aceros usados en ejes y W para acero de baja aleación), cuarto: una marca adicional para grado 60 (una línea vertical o el número 60, para grado 75 dos líneas verticales o el número 75).

2.8 Curva esfuerzo-deformación de las barras de refuerzo por medio de ensayo de tensión

Para plotear esta gráfica, se somete una barra de diámetro y características conocidas a la Máquina Universal con sistema para ensayo a tensión. Se aplica carga axial a la barra y ésta comienza a deformarse especialmente en el centro de la barra. La magnitud de la carga aplicada se lee directamente de la Máquina Universal, especialmente aquellas en las cuales la barra muestra cambios abruptos como carga en el punto de fluencia, máxima y ruptura. Utilizando el extensómetro se pueden medir los cambios de longitud de la barra de acero.

Se trazan los valores de esfuerzo unitario ($\sigma=P/A$) como las ordenadas y las correspondientes deformaciones ($\epsilon=\Delta L/L$) como abscisas. La figura 11 muestra el comportamiento para el acero dulce.

Figura 11. Curva esfuerzo – deformación del acero



La curva inicia en el origen cuando aún no se aplica carga al acero; pero luego de aplicársele carga permanente, el material comienza a deformarse proporcionalmente a la carga aplicada hasta llegar al punto A, llamado límite de proporcionalidad. Cerca al límite de proporcionalidad se encuentra el límite elástico. La zona que se encuentra entre el origen y el límite elástico se llama zona elástica.

Si se continúa aplicando carga y se sobrepasa el límite elástico se llega a un punto llamado **punto de fluencia** denominado en la gráfica con la letra B, este punto separa la zona elástica de la zona plástica. Cuando hablamos de la zona elástica nos referimos a la zona en la que el material regresa a su longitud original después de dejar de aplicar la carga.

El estiramiento del resorte es una buena analogía para entender esta zona elástica, si estiramos el resorte hasta su punto antes de deformarse y luego lo soltamos, el resorte regresa a su longitud original, esto sucede con todos los elementos que presentan ductilidad, es decir aquellos materiales que tienen la capacidad de alcanzar grandes elongaciones sin llegar a romperse

La zona plástica es la parte de la gráfica que se encuentra comprendida entre el límite de proporcionalidad hasta el punto de ruptura, es decir la zona en la que el material después de dejar de aplicarle carga ya no regresa a su longitud original.

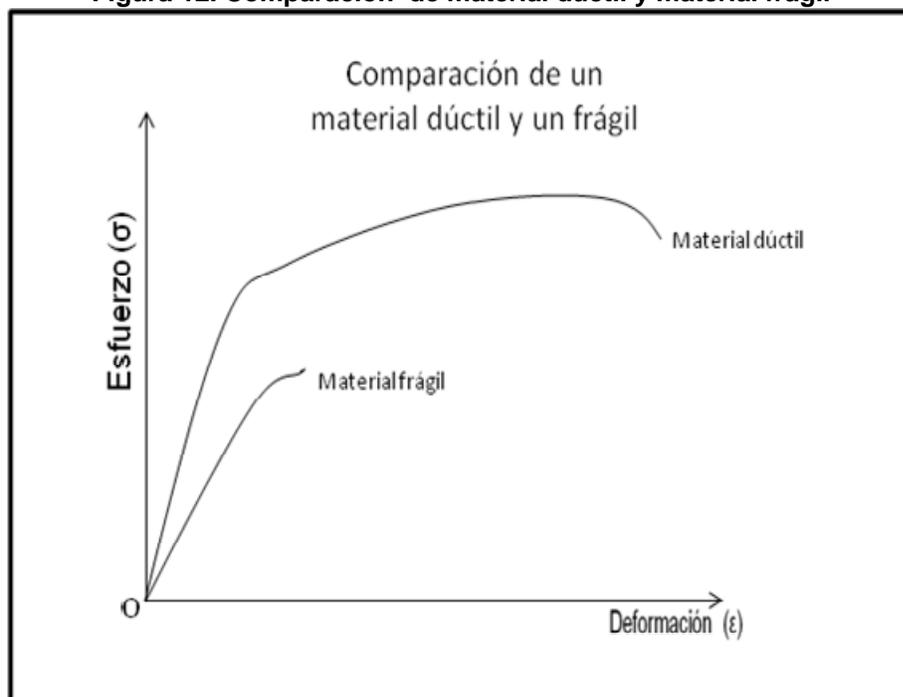
Si hacemos la analogía del resorte, se tendría el mismo resorte pero con una longitud mayor de la original, esto quiere decir que el resorte perdió su constante de proporcionalidad.

Después del punto de fluencia hay una parte de la curva que baja súbitamente y luego comienza a subir hasta llegar al punto C que es el punto donde el material soporta la carga máxima antes de llegar al punto D en donde ocurre la ruptura del material.

Si el material no presenta mucha ductilidad se dice que es frágil como el concreto simple, que soporta entre un 10% a 15% de la tensión del acero. La gráfica 6 muestra el comportamiento de un material dúctil y un material frágil sometidos a esfuerzos de tracción.

Puede observarse en la figura 12 que el material dúctil tiene mayor pronunciamiento debido a la ductilidad del material y aunque se siga aplicando carga, el material sigue deformándose antes de fallar, caso contrario con el material frágil, el cual puede estallar bruscamente.

Figura 12. Comparación de material dúctil y material frágil



2.9 MALLAS ELECTROSOLDADAS DE ALAMBRÓN

Las mallas electrosoldadas de alambón son utilizadas para aumentar el refuerzo en las losas u otras superficies y absorber los efectos de retracción del fraguado y los cambios térmicos que haya en el sistema. Están formadas por alambres de acero que son colocadas vertical y horizontalmente, formando un ángulo de 90° y están soldadas en cada intersección.

Dependiendo del elemento longitudinal utilizado en la malla se puede clasificar en:

- malla simple: únicamente hay barras individuales en el sentido longitudinal
- malla doble: el refuerzo longitudinal esta formado por parejas que son tangentes.
- Malla de pares: refuerzo longitudinal paralelo pero no tangente.

El espaciamiento puede ser el mismo en ambos sentidos o depende de los requisitos del diseño de la obra planificada. La fluencia de los alambres de acero utilizadas en las mallas electrosoldadas son del orden de 5000 kg/m^2 y el espaciamiento esta en el rango de 5cm a 40cm y los diámetros utilizados son de 2mm a 12mm aproximadamente. Estos alambres pueden ser lisos o tener irregularidades superficiales cuya finalidad es aumentar la adherencia entre las barras y el concreto.

La malla mantiene el control de grietas cuando esta muy cerca de la parte superior de la losa y la resistencia de la losa se incrementa. Las normas que regulan todo lo referente a las mallas electrosoldadas tanto lisas como corrugadas son ASTM A185 y A497, UNE 36-092-81 parte 1 y 2.

2.9.1 Designación de mallas electrosoldadas⁶

Las mallas electrosoldadas se designan por los siguientes conjuntos correlativos de símbolos:

- Las letras ME distintivas del producto (MALLA ELECTROSOLDADA)
- Las separaciones s_l y s_t expresados en centímetros y unidas por el signo x

⁶ Norma UNE 36-092-81 Parte 1. Pág. 4

- Distintivo de si el panel es o con ahorro de acuerdo con el siguientes código

- con ahorro estándar	A
- con ahorro no estándar o especial	E
- sin barras de ahorro	ningún símbolo
- El símbolo ϕ seguido de la letra L para las mallas de alambre lisos o grafilados (elementos sin corrugados no llevan letra distintiva) y los diámetros d_l y d_t separados por un guión, expresados en mm. En las mallas dobles d irá seguido de la letra D y en mallas de pares de la letra P
- AEH son las letras que indican el tipo de acero
- Un número de tres cifras que indican el límite elástico nominal garantizado y se expresas en N/mm^2 .
- T indica el proceso de trefilado
- Para las mallas no estándar recogidas en esta norma, la longitud l y anchura b del panel expresado en metros.
- Designación de esta norma
La forma de identificar una malla electrosoldada es la siguiente:
ME 15x30 A ϕ 10-6.5 AEH 500 T 5X2 UNE 36-092-81
- ME malla electrosoldadas
- 15x30 significa que hay 15 cm en sentido longitudinal y 30cm en sentido transversal
- A indica que la malla tiene ahorro estándar
- ϕ 10-6.5 significa que el diámetro de la barra en el sentido longitudinal es de 10mm y tiene un diámetro de 6.5mm en el sentido transversal
- AEH500T alambre corrugado de alta resistencia y limite elástico de 500 N/mm^2
- 5x2 significa que el panel mide 5m de largo x 2m de ancho
- UNE 36-092-81 designación de la norma

2.9.2. Ensayos a mallas electrosoldadas

Al igual que las barras de refuerzo de acero de hormigón armado, las mallas electrosoldadas deben ser sometidas a los siguientes ensayos:

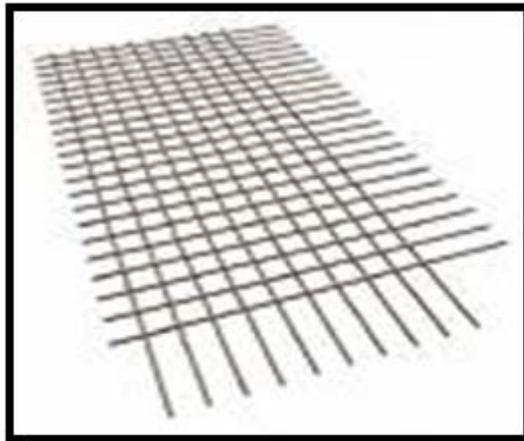
- Ensayo de inspección UNE 36-092-81
- Ensayo a tracción UNE 36-401-81
- Ensayo de doblado simple UNE 7 292
- Ensayo de despegue nudos de barras UNE 36-462

2.9.3 Ventajas de mallas electrosoldadas

- Ahorro en material y mano de obra hasta 50% en pisos y 25% en losas
- Ahorro en el tiempo de colocación de hasta 70%
- Anclaje efectivo en el concreto por sus uniones solidas
- Reducción de desperdicios
- Se puede cortar fácilmente
- Su flexibilidad para trabajarla

La malla electrosoldada la podemos observar en la figura 13.

Figura 13. Malla electrosoldada



2.9.4. Características mecánicas de mallas electrosoldadas⁷

Las barras de acero de mallas electrosoldadas deben cumplir con lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla V. Características mecánicas de aceros de mallas electrosoldadas

Designación	Ensayo de tracción(1)				Ensayo de doblado simple $\alpha=180^\circ$ (4)	Ensayo de doblado desdoblado $\alpha=90^\circ$ $\beta=20^\circ$ (5)
	$R_{p0.2}$ N/mm ²	R_m N/mm ²	A% $L_0=5d_0$	$\frac{R_m}{R_p}$	Diámetro de mandril D	Diámetro de mandril D
AEH 500T	500	550	(2)	(3)	4d	8d
AEH 600T	600	660	(2)	(3)	5d	10d

(1) Valores característicos inferiores garantizados

(2) $A\% = 20 - 0.02R_{pr}$ y no menor al 8%, siendo el límite medido en cada ensayo

(3) $R_{mr}/R_{pr} = 1.05 - 0.1[R_{mr}/R_{pr} - 1]$ no menor de 1.03. Siendo R_{pr} y R_{mr} los valores obtenidos en cada ensayo

(4) α = ángulo de doblado

(5) β = ángulo de desdoblado

Donde:

$R_{p0.2}$ = Límite elástico convencional al 0.2% expresado en N/mm²

R_m = resistencia a la tracción expresado en N/mm²

A = alargamiento a la ruptura expresado en %

⁷ Características mecánicas. Norma UNE 36-099-81(1).Pág. 7

2.10 Práctica de laboratorio número 1

A. Ensayo de tensión de barras de acero

INTRODUCCIÓN

Cada siderúrgica tiene un control estricto establecido para la elaboración del acero de refuerzo, para ello utiliza normas técnicas nacionales o internacionales que le indican el uso del material, la forma de presentación, las dimensiones y pesos nominales y su respectiva identificación. Las longitudes comunes de las barras son de 6 metros pero existen longitudes de 9 metros y 12 metros, dependiendo de las necesidades de las compañías constructoras.

Para realizar el ensayo de tensión se puede utilizar barras de acero liso o corrugado. El ensayo consiste en tomar dos muestras al azar de una longitud de un metro por cada 10 toneladas métricas o fracción cuando no se conoce la composición química de la muestra. Las barras de acero son vendidas individualmente o en paquetes por quintal las cuales tienen una cantidad de varillas dependiendo del número de la barra a utilizar. En la tabla 1 del anexo se enumeran las cantidades de barras de acero por quintal.

REFERENCIA

NORMA ASTM A-615

COGUANOR NGO 36011

UNE 36-401-81

OBJETIVOS

- Conocer las características físicas y mecánicas de las barras de acero.
- Comparar el grado estructural de las barras de acero por medio del ensayo de tensión con los parámetros establecidos en normas.

EQUIPO

- Máquina Universal de ensayos con sistema para tensión
- Cinta métrica
- Balanza
- Vernier
- Punzón de 2"
- Martillo

MATERIAL

- Barras de acero de longitud de 1.00 metro

PROCEDIMIENTO

- Tomar una muestra del lote del elemento a ensayar y procédalo a identificarlo, puede utilizar cualquier tipo de nomenclatura (letra o número correlativo).
- Tomar la medida longitudinal del elemento a ensayar en metros.
- Pesar la muestra en la balanza calibrada
- Indicar el tipo de corruga.
- Calcular el espacio promedio de las corrugas, dividiendo como mínimo diez corrugaciones entre el número de espacios que abarcan dichas corrugaciones.
- Medir las distancias entre los extremos de las corrugaciones en mm, utilizando el calibrador vernier.
- Determinar el promedio de alturas en mm de las corrugaciones las cuales deben de tomarse al azar por lo menos 5 corrugaciones.
- Punzonar la barra en toda su longitud.
- Colocar la barra en el sistema a tensión y aplicar carga.

- Anotar la magnitud de la carga aplicada en el punto de fluencia. Este dato se obtiene directamente de la Máquina Universal de ensayos.
- Anotar la magnitud de carga máxima. Este dato se obtiene directamente de la Máquina Universal de ensayos.
- Anotar la magnitud de la carga ruptura que soporta la barra. Este dato se obtiene directamente de la Máquina de Universal de ensayos.
- Retirar la barra ensayada y medir longitudes finales.
- Hacer un informe de los datos obtenidos. Según norma COGUANOR NGO 36011, debe de contener los siguientes datos.
 - ✓ Título (“Informe de Ensayo”); Nombre y dirección del laboratorio;
 - ✓ Identificación única del informe de ensayo o certificado (tal como un número o serial);
 - ✓ Fábrica productora de las barras corrugadas;
 - ✓ Diámetro nominal y número de barra;
 - ✓ Colada, a solicitud del cliente; Grado de la barra;
 - ✓ Método para determinar el esfuerzo de fluencia con referencia a la norma;
 - ✓ Fecha de realización de la prueba;
 - ✓ Propiedades físicas. Se debe anotar peso unitario y cualquier propiedad que no cumpla con esta norma;
 - ✓ Propiedades de tensión. Se debe anotar valores de carga para esfuerzo de fluencia y máxima resistencia, los esfuerzos de fluencia y máxima resistencia a la tensión.
 - ✓ Si la elongación no cumple, se debe anotar ésta y generar prueba de doblado.
 - ✓ El (los) nombre(s), función(es) y firma(s) o identificación equivalente de la(s) persona(s) que autorice el informe de ensayo.

CÁLCULOS

- Calcular la masa unitaria con la ecuación

$$1) \text{Masa unitaria}(MU) = \frac{\text{masa de la muestra (kg)}}{\text{longitud de la muestra(m)}}$$

- Tomar el área nominal de la barra referida de la tabla 3 del anexo.
- Tomar el diámetro nominal de la barra referida de la tabla 3 del anexo.
- Calcular el perímetro de la barra con la ecuación

$$2) P = \pi d$$

- Altura de corruga, se calcula

$$3) \text{Altura de corruga}(HC) = \frac{\Sigma \text{ de 5 mediciones}}{5}$$

- Calcular los esfuerzos cedente, máximo y de ruptura por la ecuación (4) y compare el resultado con la tabla VI.

$$4) \text{Esfuerzo}(\sigma) = \frac{\text{Carga aplicada(kg)}}{\text{Area de varilla(cm}^2\text{)}}$$

Tabla VI. Esfuerzos de fluencia de barras de acero según ASTM A615M

Designación de barras según ASTM	Grado del acero Mpa	Grado del acero PSI	Grado del acero kg/cm ²
3[10] – 6[19]	280	40000	2800
3[10] – 18[57]	420	60000	4200
6[19] – 18[57]	520	75000	5200

La tabla VII presenta una propuesta de los datos mínimos a registrar cuando se realice un ensayo según norma COGUANOR NGO 36011.

Tabla VII. Propuesta de formato para informe de norma COGUANOR NGO 36011

Titulo del ensayo:				
Nombre y dirección:			Fecha del ensayo:	
Numero de ensayo:			Siderúrgica:	
Diámetro nominal de barra(cm)		Número de barra		Colada
Grado estructural de la barra	Método para calcular esfuerzo de fluencia:			
Propiedades físicas				
Masa unitaria (Kg/m)	Tipo de corruga	Espaciamiento promedio(mm)	Separación extremos de corrugas (mm)	Altura corruga (mm)
Observaciones:				
Propiedades mecánicas				
% elongación				
	Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo Mpa	
Carga cedente				
Carga máxima				
Carga mínima				

Nombre y firma autorizada

CONCLUSIONES

- Las características físicas y mecánicas nos permiten conocer la calidad del acero de refuerzo así como la siderúrgica que lo elabora.
- Se determinó que el esfuerzo calculado es similar al dato proporcionado en la tabla VI, para el acero sometido a tensión.
- Se puede utilizar el acero en la construcción, porque el valor del esfuerzo obtenido se aproxima al valor que estipula la norma.

RECOMENDACIONES

- Tomar más muestras al azar del mismo lote y repetir el ensayo varias veces y obtener promedios para estar seguro de la calidad de los materiales a utilizar.
- Inspeccionar detenidamente la muestra a ensayar, de manera que no tenga ninguna sustancia nociva como grasa u otros materiales que le puedan producir corrosión.
- Revisar que la Máquina Universal de ensayos y el equipo a utilizar estén calibrados y en buenas condiciones.

2.11 Práctica de laboratorio número 1

B. Ensayo a tensión de electromallas

INTRODUCCIÓN

La malla electrosoldada se esta convirtiendo en un elemento estructural imprescindible en la construcción, su alta resistencia a la tracción y su flexibilidad hace que su aplicación en elementos estructurales sea tan amplio.

Por su alta resistencia a los esfuerzos de tensión hace que se necesite menos refuerzo de barras de acero de lo necesario, lo que hace que el elemento estructural a elaborar sea más económico. Por el tipo de acero utilizado, la malla puede ser lisa o corrugada y tiene la ventaja de obtenerse y colocarla directamente en la obra.

REFERENCIA

ASTM 185-94 mallas barra lisa

ASTM A-496

ASTM 497-94 malla corrugada

UNE 36-092-81 Parte 1 y 2

ACI 318R-1999 Capítulo 12.7

OBJETIVOS

- Determinar las características geométricas del refuerzo de las mallas electrosoldadas por medio de inspección visual.
- Obtener propiedades mecánicas del refuerzo de las mallas electrosoldadas por medio del ensayo de tracción.

EQUIPO

- Máquina Universal de ensayos con sistema para tensión
- Cinta métrica
- Vernier
- Balanza

MATERIALES

- Malla electrosoldada de acero para hormigón armado (panel)

PROCEDIMIENTO

- Revisar la identificación del fabricante y la designación completa de la malla.
- Tomar la muestra e inspeccionarla, debe tomarse al azar del panel de la unidad de inspección y no se puede tomar dos muestras de la misma unidad.
- Tomar la longitud inicial de la muestra a ensayar en milímetros. Esta muestra no debe ser menor de 500mm.
- Calcular las medidas geométricas de la muestra, área nominal, perímetro, separación entre elementos, número de soldaduras despegadas, longitud y anchura del panel, longitudes salientes.
- Colocar la barra en el sistema a tensión en la Máquina Universal de Ensayos y aplicar carga axial de forma permanente.
- Calcular el límite elástico.
- Calcular la resistencia a la tracción.
- Indicar si las mallas son simples o dobles. Puede utilizar la tabla VII para hacer el informe.

- Comparar los resultados obtenidos con los que se muestran en la tabla VIII.

Tabla VIII. Especificaciones mecánicas según ASTM A-496

Alambre	Fluencia Mpa	Resistencia Mpa
Liso	455	525
Corrugado	490	560

CÁLCULOS

- Determinación de la masa real. Utilizar la ecuación (1).

$$(1) \text{ Masa real} = \frac{\text{masa de la muestra (gramos)}}{\text{longitud de la muestra (mm)}}$$

- Utilizar la tabla 3 del anexo, para tomar el diámetro nominal de la barra.
- Utilizar la tabla 3 del anexo, para tomar el área nominal de la barra.
- Calcular la resistencia a tracción con la ecuación (2).

$$(2) \text{ Resistencia a tracción} = \frac{\text{Carga aplicada}}{\text{Area nominal de barra}}$$

CONCLUSIONES

- Las características geométricas de las barras para mallas electrosoldadas, permiten conocer la calidad de los materiales utilizados es su elaboración.
- Determinar si los datos obtenidos en el ensayo de tracción cumplen con los requisitos establecidos en las normas aplicadas para la elaboración de este ensayo.

- Se debe aceptar el lote de paneles de mallas electrosoldada si cumplen con los estándares establecidos en las normas y códigos de los ensayos.

RECOMENDACIONES

- Repetir el ensayo varias veces y obtener promedios para estar seguro de la calidad de los materiales a utilizar.
- Inspeccionar detenidamente la muestra a ensayar, de manera que no tenga ninguna sustancia nociva como grasa u otros materiales que le produzcan corrosión.
- Verificar los resultados minuciosamente con respecto a los estándares establecidos por seguridad estructural.

2.12 Práctica de laboratorio número 1

C. Ensayo de doblado de barras de acero

INTRODUCCIÓN

El ensayo de doblado a 180° es muy importante en las barras de acero porque nos permite determinar la ductilidad que presenta este tipo de material. El carbón hace que el acero disminuya la ductilidad, pero lo vuelve más resistente a los esfuerzos de tensión.

Si la barra a ensayar presenta grietas o alguna deformación después del ensayo, entonces concluimos que la barra tiene mayor cantidad de carbón de la recomendada por las normas y esto hará que la estructura sea insegura. Para realizar este ensayo se utiliza el mandril, el cual tiene la forma que se presenta en la figura 14 y que dependiendo del diámetro de la barra así se utiliza el diámetro del mandril. Para determinar el diámetro del mandril consulte la tabla 2 del anexo.

Figura 14. Mandril utilizado para doblado de barras



REFERENCIA

NORMA ASTM A615

ASTM E290-87

COGUANOR NGO 36011

OBJETIVO

- Determinar la ductilidad de las barras de refuerzo por medio del ensayo de doblez a 180°.
- Inspeccionar las características físicas y mecánicas de las barras a ensayar.

EQUIPO

- Máquina Universal de ensayos con sistema para flexión
- Mandril de diámetro determinado, según la muestra a ensayar
- Cinta métrica.

MATERIALES

- Barra de acero de longitud no menor de 65 cm

PROCEDIMIENTO

- Tomar una muestra del lote del elemento a ensayar y procédalo a identificarlo, puede utilizar cualquier tipo de nomenclatura correlativa.
- El diámetro del mandril se selecciona de acuerdo al diámetro de la barra a ensayar. Consultar en el anexo la tabla 2, en donde se especifican los diámetros del mandril.
- Indicar el tipo de corruga que tiene la barra o indicar si la barra es lisa.
- Indicar el grado de la barra.
- Colocar la muestra sobre los apoyos cuya separación C en plg debe calcularse con la ecuación (1).

- Aplicar carga en forma permanente en el centro de la separación C, hasta que la barra doble alrededor del mandril a 180°.
- Quitar la carga una vez doblada la barra e inspeccionarla que no tenga ningún daño.

CÁLCULOS

Calcular la separación de los apoyos por medio de la ecuación (1).

$$(1) C = \frac{1}{8} + D + 2d$$

Donde:

C = separación entre apoyos

D = diámetro del mandril en plg.

d = diámetro de la barra en plg.

CONCLUSIONES

- Determinar si el material cumple con las normas sobre el ensayo de dobléz a 180°.
- Aceptar el lote de material, si se comprueba la ductilidad del mismo por medio del ensayo de dobléz.

RECOMENDACIONES

- Inspeccionar la barra detenidamente para que no tenga ningún material que lo dañe o afecte el ensayo.
- Revisar que la barra sea de longitud perfectamente recta.
- Mantener carga en aplicada en forma uniforme y continua hasta que se haya doblado 180°.
- Realizar otros ensayos con otras barras del mismo lote, de manera que se pueda garantizar la ductilidad del acero.

3. COLUMNAS

3.1 Definición de columna

La columna es un elemento estructural que se diseña principalmente para soportar cargas a compresión y transmitir las al suelo por medio de los cimientos.

Sin embargo las columna no se deben diseñar únicamente para resistir carga axial, debido a que a la columna llegan momentos provenientes de vigas o techos por lo que la combinación de carga axial y momentos se denominan flexocompresión. La capacidad de carga de la columna depende del tamaño de la misma, la forma, el espaciamiento, su armado y composición.

En el predimensionamiento de una columna se trata de encontrar las dimensiones que serán capaces de resistir las cargas de compresión y el momento que llegan a las columnas. Además se debe encontrar el área de acero necesario para que la columna no falle por falta de ductilidad en caso de cargas de sismo.

3.2 Tipos de columnas

Se puede clasificar a la columna de concreto reforzado como:

3.2.1 Pedestales cortos a compresión

3.2.2 Columnas cortas

3.2.3 Columnas esbeltas

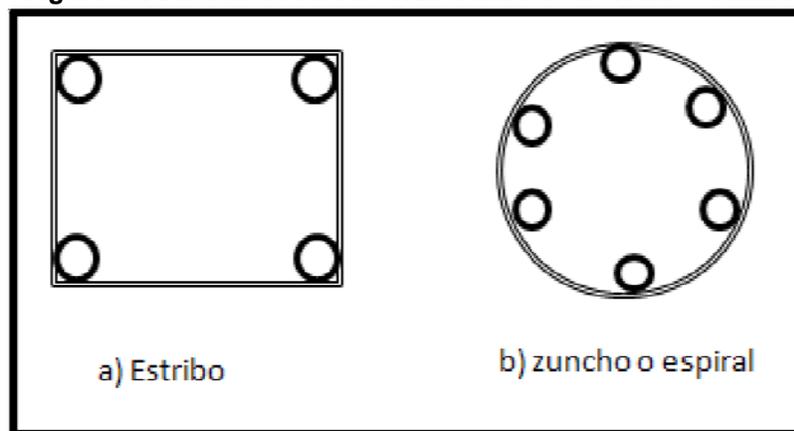
3.2.1 Pedestales cortos a compresión

Decimos de una columna es un pedestal cuando la relación de la longitud es menor que tres veces su lado de longitud menor. Si la carga a soportar de compresión es mayor que la resistencia del pedestal, entonces se deberá aumentarse las dimensiones de la sección transversal o en su defecto se le coloca refuerzo y se procede a diseñar como columna de concreto reforzado.

3.2.2 Columnas cortas

Este tipo de columnas son las más utilizadas cuyo refuerzo longitudinal son barras corrugadas y el refuerzo transversal utiliza estribos o zunchos. La diferencia entre estribo y zuncho o espiral se muestra en la figura 15.

Figura 15. Diferencia del refuerzo transversal en las columnas



La clasificación de este tipo de columna es básicamente por la resistencia que tienen los materiales empleados y la geometría que tiene la sección transversal, es decir este tipo de columna fallará por resistencia y no por pandeo.

3.2.3 Columnas esbeltas

Una columna esbelta es aquella que reduce su capacidad de carga última debido al momento flexionante amplificado, es decir que este tipo de columna fallara por pandeo. También podemos definir a una columna esbelta como aquella en la que la longitud del elemento es grande en comparación con las dimensiones de su sección transversal.

3.3 Columna corta cargada axialmente

Cuando hay carga aplicada a columnas forzadas tanto el concreto como el acero trabajan a compresión. La relación inicial entre el concreto y el acero es $\frac{E_s}{E_c} = \frac{f_s}{f_c} = n$ llamada relación modular.

Pero debido a que el flujo plástico y el fraguado del concreto, los materiales comienzan a variar continuamente la fuerza de carga, mientras la columna tenga carga aplicada. La resistencia última nominal reconociendo la variación de los esfuerzos de los materiales a la carga aplicada está dada por la ecuación del ACI 10.3.5.2: $P_n = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$

El código ACI determina la resistencia de diseño, introduciendo coeficientes de reducción de resistencia. Para columnas con refuerzo transversal en forma de espiral se usa el coeficiente de 0.75 y la ecuación anterior toma la forma: $\Phi P_n = 0.85\Phi[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]$

Para columnas con refuerzo transversal en forma de estribos la ecuación anterior varía en el coeficiente de reducción el cual toma un valor de 0.70, la cual queda así: $\Phi P_n = 0.80\Phi[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]$

El código ACI en la sección 10.9.1 nos da la relación que hay entre el área de acero de refuerzo y el área de concreto y se encuentra en el intervalo [0.01-0.08]. Se debe tomar el mínimo valor de porcentaje de acero del intervalo debido a momentos flectores no tomados en cuenta causados por el flujo plástico y contracción del fraguado del concreto.

Si se coloca porcentaje de acero mayor del intervalo dado, entonces las columnas se vuelven antieconómicas, complicando la colocación del refuerzo especialmente en los nudos y las zonas de empalmes debido a la acumulación del acero.

Se debe tener mucho cuidado de llenar bien estas áreas de manera que se llenen completamente la formaleta y evitar que se formen cribas o agujeros, debilitando considerablemente la resistencia del elemento estructural.

3.4 Confinamiento de columnas

El concreto simple no presenta ductilidad, es por esa razón que se le coloca refuerzo longitudinal y transversal de manera que la ductilidad permita absorber las cargas por sismo y transmitirlos a los cimientos y estos a los suelos.

La ductilidad aumenta conforme se le coloca refuerzo transversal a las barras longitudinales y esto es lo que le llamamos confinamiento. El confinamiento del concreto sirve para:

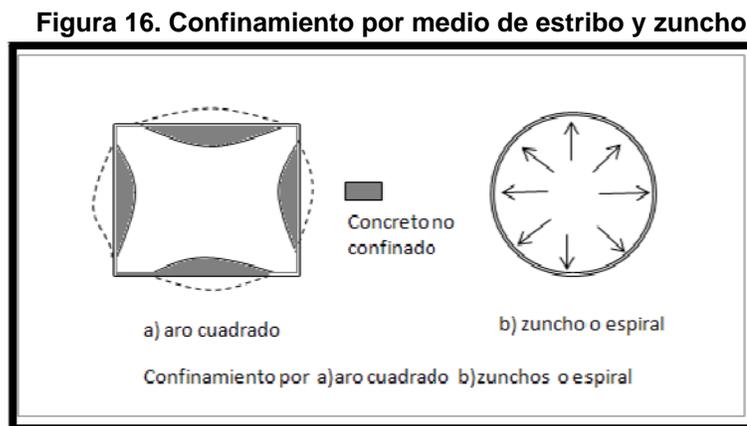
- Aumentar la ductilidad del elemento estructural
- Mantener las barras de refuerzo dentro de la formaleta
- Proporcionar suficiente resistencia a fuerzas cortantes y torsionales
- Impedir pandeo hacia afuera de las barras longitudinales debido a grandes esfuerzos que soporta la columna.

3.5 Refuerzo transversal

Para el confinamiento transversal del concreto se usan estribos y zunchos. Las columnas confinadas con zunchos son mucho más efectivas para soportar cargas axiales que las columnas confinadas con estribos, debido a que en las columnas zunchadas hay confinamiento uniforme, mientras que las columnas confinadas con los estribos, dejan partes sin confinar, tal como se muestra en la figura 16.

El código ACI regula el uso del refuerzo en el diseño de columnas:

a) Las columnas diseñadas con refuerzo longitudinal menores del número 10, tendrán que utilizar estribos con barras de acero número 3 y para barras mayores a la número 10 deberá utilizarse barras número 4 como mínimo según el ACI 7.10.5.1.



b) El espaciamiento del zuncho no debe ser menor de 2.5mm ni mayor de 80mm según el ACI 7.10.4

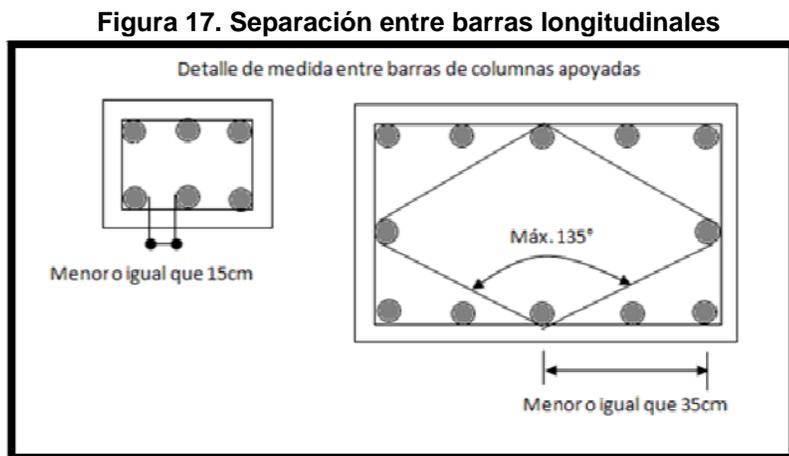
c) El espaciamiento para la colocación de estribos debe cumplir con la menor de las siguientes dimensiones según el ACI 7.10.5.2

- 1) 16Φ en donde Φ es el diámetro de la barra
- 2) 48Φ en donde Φ es el diámetro del estribo
- 3) La menor dimensión de la sección de la columna

d) Las barras longitudinales no deben separarse más de 15cm de una barra principal. Por barra principal se quiere decir a aquella barra que se encuentra en las esquinas de los estribos, pero cuya distancia es menor o igual a 35cm, según establece el ACI 7.10.5.

e) Para los elementos sometidos a compresión el área del refuerzo longitudinal no debe ser menor del 1% ni mayor del 8% veces el área neta de la sección del elemento (A_g), según ACI 10.9.1

La figura 17 muestra la separación de las barras longitudinales según el código ACI.



f) El número mínimo de barras de refuerzo longitudinal debe ser de cuatro en columnas con estribos y de seis barras en columnas con zunchos. Dependiendo de la figura geométrica a utilizar así será el número de barras a utilizar según el ACI 10.9.2.

3.6 Tipos de fallas

3.6.1 Falla a tensión

En este tipo de falla el acero empieza a fluir antes de que el concreto alcance la deformación unitaria de 0.003.

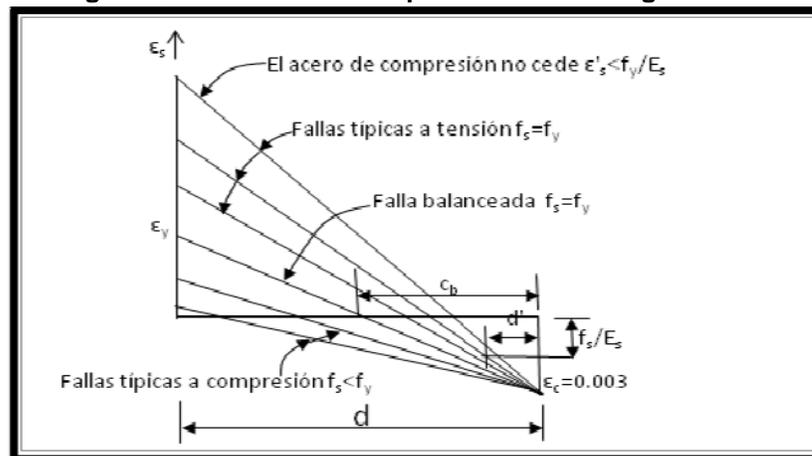
3.6.2 Falla a compresión

En este tipo de falla el concreto alcanza la deformación unitaria de 0.003 pero el acero en tensión no fluye.

3.6.3 Falla balanceada

La falla balanceada es la ideal para que el material comience a fallar y esta se da, cuando el concreto está alcanzando la deformación unitaria de 0.003 y el acero empieza a fluir. Las deformaciones para columnas se muestran en la figura 18.

Figura 18. Diagrama de deformaciones para columnas cargadas excéntricamente



3.7 Práctica de laboratorio número 2

A. Columnas cuadradas y rectangulares

INTRODUCCIÓN

En las mayorías de las construcciones se utilizan las columnas cuadradas o rectangulares por que presentan muchas ventajas tales como la elaboración de armadura principal, la elaboración de los estribos y la facilidad de hacer el encofrado. Además tienen a soportar mayor momento en comparación con las columnas circulares.

REFERENCIAS

Capítulo 7.7.1 del ACI 318R-99

Capítulo 10.3.6.1 del ACI 318R-99

Capítulo 10.9 del ACI 318R-99

OBJETIVO

- Calcular la carga última que resiste el diseño de la columna propuesta.
- Armar la columna de acuerdo al diseño propuesto y normas del código ACI.

EQUIPO

- Dobladoras, martillo
- Tenazas, cinta métrica
- Balanza, trépano, serrucho
- Nivel de burbuja, escuadra
- Crayón de colores, sierra

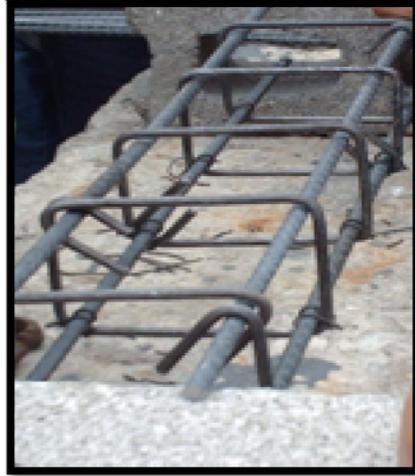
MATERIALES

- Barras de acero
- Alambre de amarre
- Concreto
- Madera, clavos
- Desencofrante (aceite quemado)

PROCEDIMIENTO

- Medir con una cinta métrica la longitud de la barra del diseño propuesto por el(la) instructor(a) y señalarlo con el crayón de colores.
- Cortar las barras necesarias de acuerdo al diseño propuesto.
- Hacer el respectivo chequeo del refuerzo transversal para calcular el espaciamiento de los estribos. Debe utilizar la menor dimensión del chequeo.
- Dividir la longitud del refuerzo longitudinal entre el espaciamiento de los estribos para obtener la cantidad necesaria del refuerzo transversal.
- Calcular la longitud del estribo a utilizar, recuerde descontar el recubrimiento mínimo para las columnas.
- Cortar las barras necesarias de acuerdo al número de estribos calculados
- Elaborar los estribos necesarios de acuerdo a las dimensiones de la columna propuesta, utilizar para ello la dobladora.
- Armar la columna amarrando los estribos de acuerdo a la longitud de separación calculada. Armar la columna como se muestra en la figura 19.
- Armar la formaleta del tamaño de la sección propuesta. Estas son las dimensiones reales de la columna.

Figura 19. Detalle de armado de columna rectangular



- Embarrar de desencofrante la formaleta y colocar la armadura dentro de la formaleta.
- Colocar tacos de 2.5 cm para levantar la armadura y tener el recubrimiento deseado.
- Colocar la armadura dentro del encontrado
- Fijar el encofrado y asegurarlo de manera que no se abra después de colocar el concreto.
- Utilizar un desencofrante y si no hubiera debe mojar perfectamente la formaleta para evitar que se adhiera la madera con el concreto.
- Diseñar la mezcla de concreto.
- Verter el concreto dentro del encofrado y con una barra de acero comience a apisonarlo con la finalidad de que no queden agujeros.
- Curar el concreto al terminar de colocarlo dentro del encofrado. Revisar sección 1.5 del capítulo 1.
- Limpiar el área y la herramienta utilizada.
- Desencofrar la columna al siguiente día de haberla fundido.
- Esperar 28 días, humedeciéndola durante ese tiempo.
- Ensayar la columna en la Máquina Universal con equipo a compresión.

CÁLCULOS

- Calcular el confinamiento de la columna según ACI 21.4.4.4, esto es, calcular la distancia de los incisos siguientes y tomar la longitud mayor.
 - La altura del elemento en la cara del nudo o en la sección donde puede ocurrir fluencia por flexión (lado mayor de la sección de la columna)
 - Un sexto de la luz libre del elemento
 - 450 mm.

- Calcular el espaciamiento del refuerzo transversal debe hacerse con los siguientes incisos según ACI 7.10.5.2, utilizar la menor longitud.
 - 16Φ en donde Φ es el diámetro de la barra longitudinal
 - 48Φ en donde Φ es el diámetro del estribo a utilizar
 - La menor dimensión de la sección de la columna.

- Calcular la carga última por medio de la ecuación

$$1) \phi P_n = 0.80\phi [0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]$$

Donde:

f'_c = resistencia a compresión del concreto

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

A_g = Área de sección neta de la columna

A_{st} = Área de acero longitudinal utilizado en la columna

ϕ = factor de reducción de capacidad de 0.70 para columnas con estribos

- Diseñar la mezcla en base al método de las proporciones para obtener la resistencia propuesta de diseño.

CONCLUSIONES

- La columna fue elaborada con las especificaciones que establece el código ACI.
- Se comprobó que la carga de soporte de la columna ensayada en el laboratorio es prácticamente similar a la carga calculada en la teoría.
- Utilizando las proporciones adecuadas y haciendo una inspección visual de los materiales a utilizar en la elaboración del concreto, se puede obtener la resistencia propuesta en el cálculo

RECOMENDACIONES

- Tomar las barras de acero para inspeccionarlas de manera que no tengan grasas o deformaciones.
- Los estribos deben ser colocados de manera que los ganchos queden en distintas posiciones sobre las barras para evitar falla de la columna.
- La elaboración de la columna debe de diseñarse en base a un código y comprobar los resultados prácticos y teóricos.
- Revisar los cálculos varias veces para evitar problemas en la elaboración de la columna y hacer los chequeos correspondientes de acuerdo al código utilizado.
- Tener mucho cuidado en el curado del concreto porque influye demasiado en la resistencia del elemento a ensayar.

3.8 Práctica de laboratorio número 2

B. Columnas circulares

INTRODUCCIÓN

Las columnas circulares resisten mayor la compresión axial pura, pero tienen la dificultad que soportan cantidad de momento menor que las columnas cuadradas o rectangulares. Tiene la ventaja de observar la falla antes de que colapsen porque estas columnas se descascaran antes de que falle completamente la estructura. Su desventaja es la elaboración de los zunchos y de la formaleta, aunque son más ornamentales que las columnas cuadradas y rectangulares.

REFERENCIAS

Capítulo 7.7.1 del ACI 318R-99

Capítulo 10.3.6.1 del ACI 318R-99

Capítulo 10.9 del ACI 318R-99

OBJETIVOS

- Calcular la carga última que resiste el diseño de la columna propuesta.
- Armar la columna de acuerdo al diseño propuesto y normas del ACI.
- Seleccionar los materiales adecuados para realizar la mezcla del concreto y curarlo adecuadamente.

EQUIPO

- Tubo del diámetro propuesto
- Tenazas
- Cinta métrica,
- Balanza

MATERIALES

- Barras de acero
- Alambre de amarre
- Concreto, madera
- Crayón de colores
- Desencofrante (aceite quemado)

PROCEDIMIENTO

- Tomar las barras de acero e inspeccionarlas que no tengan grasas o que presenten deformaciones.
- Medir con una cinta métrica la longitud de la barra del diseño propuesto por el(la) instructor(a) y señalarlo con el crayón de colores.
- Cortar las barras necesarias de acuerdo al diseño propuesto.
- Elaborar el zuncho con el tubo u otro material que tenga el diámetro propuesto. Recuerde descontar el recubrimiento mínimo y esa debe ser la medida del diámetro del zuncho. Observar en la figura 20 la elaboración del zuncho.
- Calcular es espaciamiento del zuncho y tratar de mantener esa separación en su elaboración. Observar la figura 20.

Figura 20. Elaboración de espiral



- Armar la columna amarrando los zunchos de acuerdo a la longitud de separación calculada.
- Armar la formaleta del tamaño de la sección propuesta. Estas son las dimensiones reales de la columna. Puede utilizar tubo u otro material que sea redondo y fácil de quitar cuando el concreto obtenga la resistencia deseada.
- Embarrar la formaleta de desencofrante.
- Colocar la armadura dentro del encofrado
- Fijar el encofrado y asegurarlo de manera que no se abra después de colocar el concreto.
- Diseñar la mezcla de concreto por medio de las proporciones de resistencia propuesta.
- Verter el concreto dentro del encofrado y con una barra de acero comience a apisonarlo con la finalidad de que no queden agujeros.
- Curar el concreto al terminar de colocarlo dentro del encofrado de acuerdo a los métodos de la sección 1.5 del capítulo 1.
- Limpiar el área y la herramienta utilizada.
- Desencofrar la columna al siguiente día de haberla fundido.
- Esperar 28 días, humedeciéndola durante ese tiempo.
- Ensayar la columna zunchada en la Máquina Universal con equipo a compresión.

CÁLCULOS

- Cálculo del porcentaje mínimo de acero de espiral según ACI 10.6, con la ecuación (1).

$$(1) \rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_{nc}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y}$$

Donde:

ρ_s =porcentaje de acero de espiral

A_g = área gruesa

A_{nc} = área del núcleo de concreto

f'_c = resistencia a compresión del concreto

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

- Calcular del paso, despejar s de la ecuación (2).

$$(2) \rho_s = \frac{4a_s(D_c - d_b)}{sD_c^2}$$

Donde:

s= paso o distancia entre dos zunchos

ρ_s =porcentaje de acero de espiral

D_c =diámetro del núcleo

d_b =diámetro de la barra espiral

a_s =área de acero de la barra transversal de la barra espiral

- Calcular la resistencia del espiral con la ecuación (3)

$$(3) R=2\rho_s(A_{nc})(f_y)$$

Donde:

R = resistencia del zuncho

ρ_s =porcentaje de acero de espiral

A_{nc} =área del núcleo del concreto

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

- Calcular la carga última por medio de la ecuación (4).

$$(4) \phi P_n = 0.80\phi[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y]$$

Donde:

f'_c = resistencia a compresión del concreto

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

A_g =Área de sección neta de la columna

A_{st} =Área de acero longitudinal utilizado en la columna

ϕ = factor de reducción de capacidad de 0.75 para columnas zunchadas

CONCLUSIONES

- La columna zunchada se diseñada con las especificaciones que establece el código ACI.
- Se comprobará que la carga de soporte de la columna ensayada en el laboratorio es prácticamente similar a la carga calculada en la teoría.

- Las columnas zunchadas soportan más carga axial que las columnas con estribos, al ser ensayadas presentan una recuperación significativa a la carga aplicada en comparación de las columnas con estribos.

RECOMENDACIONES

- Mantener la uniformidad de separación de los zunchos en la elaboración de la columna.
- La elaboración de la columna debe de diseñares en base a un código y comprobar los resultados prácticos y teóricos.
- Realizar el ensayo con tres columnas: cuadrada, rectangular y circular con la misma área neta y comparar las resistencias.
- Mantener el cuidado del curado del concreto para conseguir las propiedades potenciales con las que fueron diseñadas.

4. LOSAS

4.1 Definición de losa

Una losa es un elemento estructural cuya finalidad es formar superficies planas y sus dimensiones de largo y ancho, comparado con su peralte son mucho mayores, generalmente son planas y la superficie superior e inferior son paralelas entre si. Como elemento estructural trabaja a flexión. De acuerdo a la forma de transmitir las cargas puede ser en **una dirección** o en **dos direcciones**.

4.1.1 Funciones de la losa

La losa además de soportar cargas verticales también debe absorber fuerzas actuantes sobre la estructura como las fuerzas de viento o de sismo. Es decir que el comportamiento de la losa es como un diafragma que recibe la fuerza y la transmite a las columnas, de manera que el edificio trabaje de forma conjunta

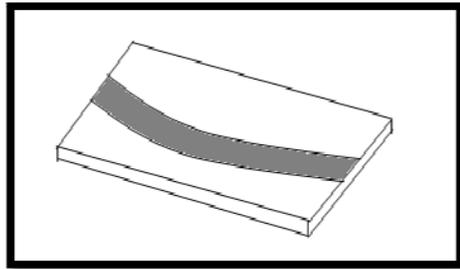
4.2 Tipos de losas

Por la forma en que se apoya una losa recibe los siguientes nombres.

4.2.1 Losa en una dirección

Se dice que una losa trabaja en una dirección porque la deflexión es solo en un sentido puede tener más apoyos, pero siempre que la longitud sea mayor del doble de lado mas corto, trabaja siempre en una dirección. La figura 21 muestra la flexión presentada en una losa en una dirección.

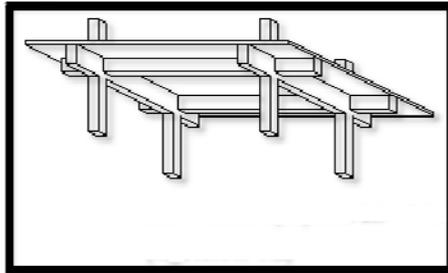
Figura 21. Losa en una dirección



4.2.2 Losa en dos direcciones

Se dice que una losa está diseñada en dos direcciones, si la flexión se da en ambos sentidos. La figura 22 muestra la losa en dos direcciones.

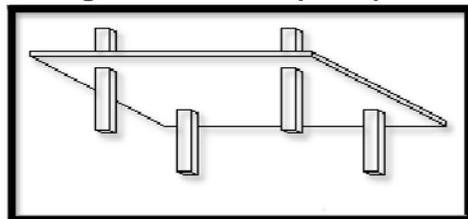
Figura 22. Losa en dos direcciones



4.2.3 Losa de placa plana

Cuando la losa se apoya sobre columnas, sin utilizar vigas se llama losa de placa plana y se usan cuando las luces son cortas. La figura 23 muestra una losa de placa plana.

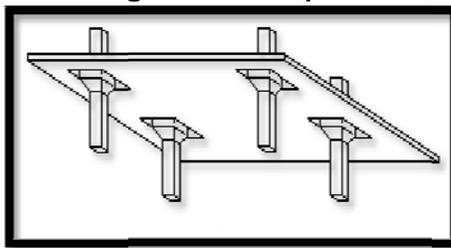
Figura 23. Losa de placa plana



4.2.4 Losa plana

Este tipo de losa es similar a la losa de placa plana pero se diferencia en que las partes iniciales de las columnas tienen capiteles de columnas o paneles con ábacos. La figura 24 muestra una columna con capitel.

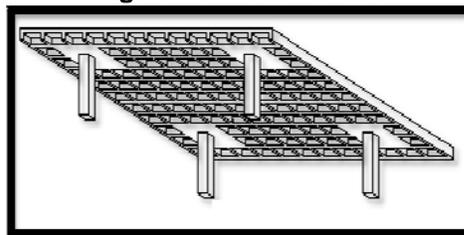
Figura 24. Losa plana



4.2.5 Losa reticular

Con este tipo de losa se elimina la carga muerta, para ello utiliza moldes de metal o de fibra de vidrio en forma alineada, formándose una losa nervada en ambos direcciones. La figura 25 muestra la losa reticular.

Figura 25. Losa reticular



Las losas se clasifican de acuerdo a su forma de elaboración en

- Prefabricadas,
- Tradicionales
- Ferrocemento.

4.3 Losa prefabricada

Se llama losa prefabricada a aquella en la cuales sus componentes son elaborados en otros lugares diferente y transportados hacia el lugar de le edificación. Entre los elementos que se utilizan en la elaboración de la losa prefabricada están:

- Las viguetas
- La bovedilla
- Rigidizantes
- Electromallas
- Bastones
- Concreto

4.3.1 Componentes de la losa prefabricada

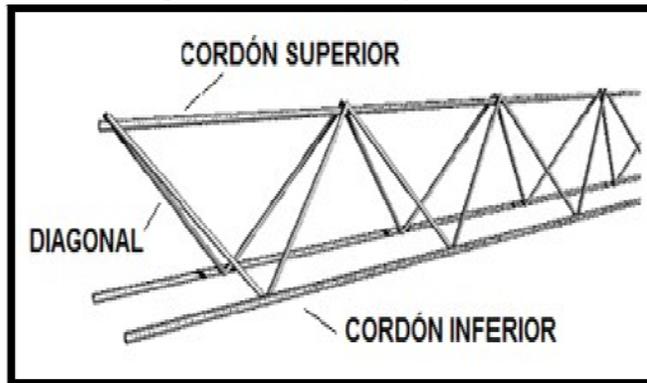
4.3.1.1 Viguetas

Es el principal elemento de la estructura porque tiene la finalidad de soportar el peso de toda la losa una vez terminada. Está formado de joist, al cual se le funde un patín de concreto que cubre una parte del joist, llamada cordón inferior.

Este acero utilizado en la fabricación del joist es de alta resistencia y depende del diseño estructural. Las ventajas que tiene el joist son el bajo peso, posibilidad de cubrir grandes luces, facilidad de manejo e instalación, etc.

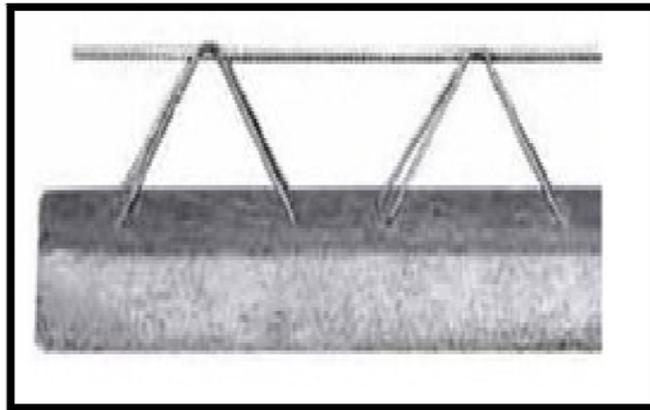
El joist esta formado por dos cordones inferiores paralelos y unidos con refuerzo en diagonal con el cordón superior. En la figura 26 se muestra el joist sin patín de concreto.

Figura 26. Partes del joist



Una vez fundido el patín, la vigueta prefabricada tiene la forma de la figura 27. El peralte del patín es de 5 cm y su ancho de 12 cm. Su peso es de 16 kg/m y tiene una resistencia de 210 kg/cm² a la compresión. La función principal de la vigueta es resistir toda la carga y transmitirla a los apoyos de vigas o de muros.

Figura 27. Vigueta con patín fundido

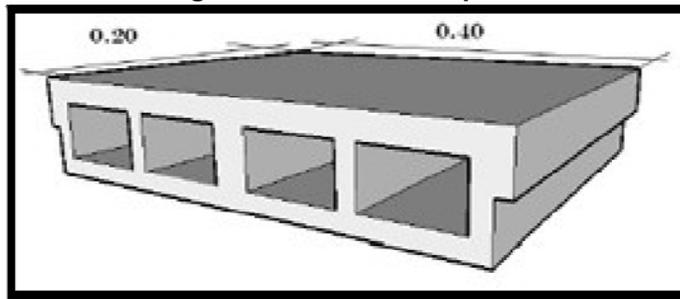


4.3.1.2 Bovedilla

Las bovedillas son bloques huecos las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte, de tal forma que se tiene una gran variedad de combinaciones que pueden satisfacer cualquier necesidad en la construcción.

No se considera como material estructural y tiene un peso de aproximadamente 25 lb. Permite el ahorro debido a la disminución del volumen de concreto y la eliminación de cantidad de barras de acero. En la figura No. 28 se muestra la forma de una bovedilla.

Figura 28. Bovedilla de pómez



4.3.1.3 Rigidizante

Como su nombre lo indica, consiste en dar rigidez a la losa y evitar el fisuramiento del concreto, el cual se coloca perpendicular a la dirección de las viguetas. Se arma con dos barras de acero y eslabón de la misma manera de armar una mocheta. La separación máxima entre cada rigidizante es de 1.50m.

4.3.1.4 Electromalla

Las electromallas tienen diferentes calibres siendo sus dimensiones las de 6.00m x 2.35m y sus cuadros de 15 cm x 15 cm. En la sección 2.9 se hace referencia a la malla electrosoldada. La función de la electromalla en los prefabricados es:

- Dar refuerzo a la losa prefabricada por los cambios de temperatura.
- Dar refuerzo a los bastones a causa de los momentos negativos de la losa.

4.3.1.5 Bastones

Son barras de acero que se colocan en la parte superior de la electromalla y deben estar orientados en el sentido de las viguetas. Su función es contrarrestar los momentos negativos de la losa y el espaciamiento entre ellos depende del diseño estructural. Son utilizados en losas de hormigón armado con las mismas finalidades de contrarrestar los momentos negativos.

4.3.1.6 Concreto

El concreto a utilizar en el prefabricado debe de realizarse con las proporciones bien definidas, de manera que la resistencia obtenida del concreto no sea menor de 210 kg/cm^2 .

4.4 Losa tradicional

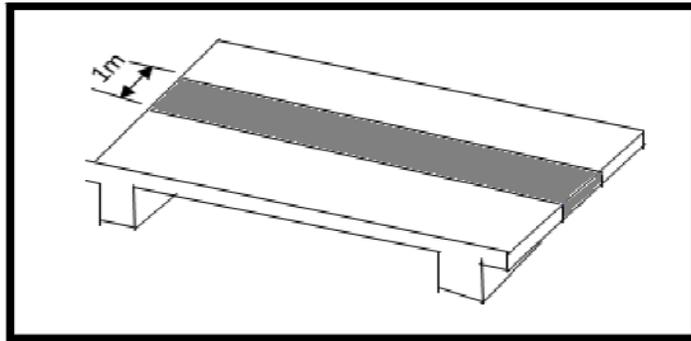
4.4.1 Losa tradicional en una dirección

Cuando se habla de losa tradicional, se habla de aquella losa elaborada *in situ* (en el lugar) y se dice en una dirección porque la deflexión se presenta en la dirección de la longitud mas larga. Puede estar apoyada en muros o vigas pero si la longitud entre su ancho es mayor o igual 2, entonces se tiene losa en un sentido.

4.4.2 Método de análisis

El comportamiento de este tipo de losa es como si fuera una serie de vigas cuyo ancho es de 1 metro y son paralelos entre si. La figura 29 muestra la franja unitaria de 1 metro de ancho.

Figura 29. Franja de losa que trabaja como viga de un metro de ancho



4.4.3 Momentos flexionantes

Lo primero que se debe establecer para el diseño de este tipo de losa es escoger el espesor de losa de manera que no haya deflexión y luego se encuentra el peralte efectivo, esto se hace restando el recubrimiento del espesor.

El código ACI 9.5.2.1 establece los peraltes mínimos de vigas y losas que trabajan en una dirección cuando no hay deflexión. La tabla IX muestra estos peraltes.

Tabla IX. Peraltes totales mínimos de vigas y losas

Elemento	Peralte mínimo, h			
	Libremente apoyada	Un extremo continuo	Ambos extremos continuos	Voladizo
Losas macizas	L/20	L/24	L/28	L/10
Vigas y losas nervuradas	L/16	L/18.5	L/21	L/8

4.4.4 Acero de refuerzo

Las losas en una dirección se comportan como elementos subreforzados, por tanto se pueden aplicar ecuaciones utilizadas para elementos de este tipo. El refuerzo se coloca en la dirección de la franja seleccionada, es decir donde hay mayor luz.

Sin embargo, debe considerarse la colocación de refuerzo en la sección transversal a la de la dirección seleccionada, esto se hace por la contracción del concreto y por los cambios de temperatura. La tabla X indica cuantías mínimas de refuerzo.

Tabla X. Cuantías mínimas de refuerzo para temperatura y retracción de losas

Losas donde se utilicen barras corrugadas grado 40 ó 50	ρ_{minimo} 0.0020
Losas donde se utilicen barras corrugadas grado 60 o mallas electrosoldadas de alambón (liso o corrugado)	0.0018
Losas donde se utilicen refuerzo con resistencia a la fluencia por encima de 60000 psi medida a una deformación de fluencia de 0.35%.	$0.0018\left(\frac{60000}{f_y}\right)$

4.5 Losa tradicional en dos direcciones

La losa tradicional en dos direcciones es similar a la de una dirección pero estas trabajan en el sentido largo y el sentido corto. A veces se encuentra monolíticamente con vigas o soleras las cuales son fundidas simultáneamente y son sostenidas por muros de mampostería o simplemente por columnas.

Para saber si la losa trabaja en dos direcciones se divide la longitud de la losa entre su ancho y el valor obtenido debe ser \leq a 2. Las losas están diseñadas principalmente para soportar cargas que actúan perpendiculares al plano principal de las mismas.

4.5.1 Análisis de losas mediante el método de coeficientes

Las losas en dos direcciones se diseñan de acuerdo al código ACI 318-99 y los posteriores, por medio de los métodos directo y de marco equivalente. Antes de utilizarse estos métodos existía el método de los coeficientes, utilizado en Europa y luego en Estados Unidos. Sin embargo el código establece que se pueden utilizar cualquier método siempre y cuando se cumpla con las condiciones de diseño requeridas y de seguridad estructural.

4.5.2 Refuerzo de la losa

Para el refuerzo por temperatura en la losa en dos direcciones debe cumplirse con la tabla X. Los elementos que forman el refuerzo son, los rieles, las tensiones y los bastones, tal como se muestra la figura 30. En las losas en una dirección se coloca acero transversal por temperatura. Los rieles se colocan para contrarrestar los momentos positivos que llegan al centro de la losa y en la práctica se colocan barras corridas que son amarradas conjuntamente con la solera de corona.

Las tensiones son barras que son dobladas a un ángulo de 45° y el doblez se hace según lo estipulado en los planos. En la práctica se acostumbra doblar la barra a una longitud de $L/5$. Los bastones se calculan del centro de la pared a una distancia de $L/4$, en donde L es la longitud entre ejes.

Figura 30. Elementos del refuerzo en losa



4.5.3 Recubrimiento mínimo

El acero de refuerzo en losas fundidas in situ debe tener un recubrimiento mínimo de 2.5 cm. El acero de refuerzo en losas prefabricadas debe tener un recubrimiento mínimo de 1.5 cm.

4.6 Ventajas y desventajas de losa tradicional y losa prefabricada

Tabla XI. Ventajas de la losa tradicional y de losa prefabricada

Ventajas de losa tradicional	Ventajas de losa prefabricada
Flexibilidad de dimensiones y formas.	Mayor control de calidad
	Curado con vapor
Se puede continuar la fundición, siguiendo el monolitismo	Se aprovechan tiempos muertos de obra en producir los elementos.
	Reducción de personal de obra
	Menor tiempo de ejecución.
Forma un sistema rígido capaz de trasladar cargas horizontales; principalmente debidas al viento y/o sismo, a los cimientos.	Se elimina un porcentaje alto de la cimbra de contacto.
	Mejores acabados de la obra
	Sencillez de ejecución

Tabla XII. Desventajas de la losa tradicional y de la losa prefabricada

Desventajas de losa tradicional	Desventajas de losa prefabricada
Se necesita una cantidad grande de formaleta tanto de parales como de tablas y costaneras.	Mayor detalle en planos de construcción y montaje.
Se tiene que mantener toda la formaleta por más de 15 días durante el secado de la losa.	Se tiene que hacer mayor planificación en tiempo y movimientos de maquinaria y transporte.
	Se requiere maquinaria pesada
El peralte se incrementa conforme aumenta la luz de la losa	Mano de obra especializada
	Se requiere espacio para maniobras en las obras.
Utiliza mayor cantidad de acero	La bovedillas son muy frágiles y el movimiento sobre la losa es mucho más difícil
	Se requiere de maquinaria pesada cuando los elementos son bastante grandes.
Utiliza mayor cantidad de madera para formaleta	No es conveniente utilizarlo si se requiere trasladar cargas horizontales.
	Es óptimo para luces entre 3m y 5m y cargas normales no pudiéndose aplicar para luces mayores y/o cargas más importantes.

4.7 Losa de ferrocemento

4.7.1 Definición de ferrocemento

El ferrocemento es un material que utiliza básicamente materiales sencillos entre ellos, malla en forma hexagonal o de otra forma la cual se conoce como malla de gallinero, barras de acero # 2, lisa, cemento mezclado con arena y fibra de polietileno.

Su espesor es muy pequeño, lo que lo hace flexible y fácil de manipularse, evitando la mano de obra calificada. Se puede utilizar en viviendas individuales, hoteles, techos de grandes luces, bóvedas, cúpulas, embarcaciones, silos, tanques de almacenamiento de granos, etc.

4.8 Materiales utilizados en el ferrocemento

4.8.1 Armadura discreta

Se le llama así a la parte del acero de refuerzo de diámetro menor de 6.35mm (Barra # 2) que formará el armazón conjuntamente con la malla y su función es aumentar la resistencia del ferrocemento. La tabla XIII muestra la cantidad de armadura necesaria por metro cuadrado.

Tabla XIII. Armadura total

Aplicaciones		Resistencia	Cantidad de armadura (kg/m ²)
Artesanal	Obras pequeñas	Baja	1-2
Con equipo	Obras medianas	Media	2-4
Con equipo	Obras grandes	alta	4

4.8.2 Mortero

El mortero a utilizar para el ferrocemento esta compuesto de básicamente de arena y cemento, el cual debe tener una capacidad de absorción menor del 8%.

4.8.3 Agregado

El único agregado a utilizar es arena, cuyo diámetro varia de acuerdo al espesor de la estructura a realizar. Debe cumplir con las normas de granulometría ASTM C-33, materia orgánica ASTM C-87 y ASTM C-40 y sulfato de sodio ASTM C-88. El modulo de finura ideal debe estar entre 2.15-2.75.

4.8.4 Agua

El agua a utilizar debe cumplir con lo establecido en el código ACI 3.4 y Nch1498 of 82. Hormigón agua de amasado.

4.8.5 Resistencia de diseño

El valor de resistencia de la mezcla para el ferrocemento es de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y la proporción de la mezcla a utilizar debe ser de 1.5 a 2.

4.8.6 Fundición

La mezcla se debe colocar con llanas, debe aplicarse en un solo sentido, es decir de adentro hacia afuera o viceversa, porque se debe evitar encerrar aire dentro de la mezcla y por último cuando se tiene el recubrimiento mínimo, se hace el acabado final.

4.8.7 Curado

Una vez terminado el acabado del elemento, se procede a colocar nylon o cualquier otro material que mantenga la humedad del cemento y evitar grietas. La figura 19, muestra la forma de aplicar la mezcla en un canal trapezoidal.

4.8.8 Empalmes

Dependiendo del tipo de malla a utilizar debe colocarse el traslape de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla XIV. Traslape de la malla

Mallas torcidas o tejidas	$\geq 100\text{mm}$ ó 6 aberturas de la malla
Mallas soldadas	$\geq 100\text{mm}$ ó 4 aberturas de la malla
Mallas de compresión	$\geq 100\text{mm}$ ó 3 aberturas de la malla

4.8.9 Anclaje

La longitud de la malla de refuerzo debe ser:

Mayor de 20Φ para malla soldada

Mayor de 30Φ para malla tejida o torcida

Donde: Φ es el diámetro de la malla

4.8.10 Recubrimiento de armadura

El recubrimiento mínimo debe estar de acuerdo al ambiente expuesto, según se indica en la tabla XV.

Tabla XV. Recubrimiento mínimo de acuerdo al ambiente

Tipo de ambiente	Recubrimiento
Ambiente protegido	3mm
Ambiente expuesto	4mm
Ambiente agresivo	5mm
Ambiente muy agresivo	6mm

4.9 Ventajas del ferrocemento

La utilización del ferrocemento como técnica constructiva presenta muchas ventajas, entre las cuales podemos mencionar.

- No se necesita mano de obra especializada.
- No se necesita herramientas ni equipo sofisticado.
- Se pueden armar las piezas en serie y repararse con facilidad.
- Es un material impermeable, lo que lo hace ideal en la construcción de cubiertas.
- Los materiales utilizados se pueden obtener con mucha facilidad, debido a la existencia en todas las regiones, como lo es el acero de refuerzo, la malla de gallinero, arena y cemento.
- Las piezas de ferrocemento son muy económicas
- El ferrocemento es buen material como aislante del sonido.

- El ferrocemento es resistente a la humedad
- Es resistente al fuego a determinadas temperaturas

4.10 Desventaja del ferrocemento

- Poco conocimiento del uso del ferrocemento en Guatemala.
- No es recomendable utilizarlo en lugares con climas muy cálidos o muy fríos.
- Limitación del uso en estructuras por falta de estudio de muchas propiedades mecánicas.

4.11 Práctica de laboratorio número 3

A. Losa prefabricada

INTRODUCCIÓN

La losa prefabricada es un modelo de construcción distinto al tradicional, porque en este tipo de losa, los elementos a utilizar son transportados hacia el lugar de la construcción. Los elementos de la estructura son livianos, lo que hace que el transporte, la colocación e instalación se realice con mayor facilidad.

Tiene muchas ventajas comparadas con la losa tradicional, entre ellas cabe mencionar el ahorro en mano de obra, el ahorro en formaleta, disminución del volumen de concreto disminuyendo la carga muerta del edificio, economizando hasta un 10% el costo de la losa tradicional. Además por la forma geométrica de los elementos que la conforman, permite satisfacer las necesidades básicas de diseño que dese el proyectista.

REFERENCIAS

ASTM-A421

Capítulo 16.0 ACI 318R-99

OBJETIVOS

- Armar la losa prefabricada de acuerdo al diseño propuesto.
- Conocer los componentes de una losa prefabricada.
- Conocer la técnica constructiva de la losa prefabricada.

EQUIPO

- Tenazas
- Cinta métrica
- Balanza
- Nivel de burbuja
- Hilo de pescar

MATERIALES

- Barras de acero
- Alambre de amarre
- Malla electrosoldada
- Concreto, madera
- Viguetas, bovedilla
- Rigidizante

PROCEDIMIENTO

- Nivelar la parte en donde se colocara la solera de corona.
- Armar la solera de corona.
- Colocar los puntales y tendales para sostener la bovedilla.

En esta etapa se colocan parales y costaneras. Aquí es donde no se usa tabla para formaleta, sino que únicamente las viguetas estarán colocadas sobre las costaneras. Los parales no deben de colocarse a más de 1.50 m para evitar deflexiones y se colocarse en la dirección de los tendales.

Para que los parales no se hundan colóquelos sobre pedazos de madera o algo que sea resistente. La figura 31 muestra el proceso de aseguramiento de los parales y las costaneras.

Figura 31. Colocación de parales y costaneras



- Cortar la vigueta de acuerdo al diseño propuesto.

Se colocan a partir del muro de arranque y a la separación indicada en el plano de montaje, debe de manejarlas cuidadosamente porque pueden agrietarse. En la figura 32 se muestra la colocación de viguetas.

Figura 32. Colocación de viguetas



- Alinear las viguetas de acuerdo a la separación indicada en planos

Se coloca un nivel y se pasan hilos de manera que queden todas las viguetas alineadas y lograr uniformidad en el espesor de la losa.

Figura 33. Nivelación de viguetas



- Montaje de bovedillas

Se colocan las bovedillas de los extremos para dar la separación correcta entre viguetas. Las bovedillas deben de colocarse desde el extremo del muro o solera y no deben de colocarse viguetas en el extremo del muro.

Figura 34. Colocación de bovedilla



- Colocación de la electromalla

Se corta el tamaño requerido y se amarra con alambre a la varilla superior de las viguetas, si necesita traslapar electromalla no debe de ser menor de 15 cm la distancia de traslape.

Figura 35. Colocación de electromalla



- **Fundición de la losa**

Se deben de tapar todos los agujeros que queden entre las bovedillas y las soleras y mojar perfectamente el área a fundir. Una vez mojada el área se comienza con la fundición.

En esta fase de debe tener mucho cuidado porque si no es bien colocado el concreto, se produce humedad o goteras dentro de la estructura cuando la losa es techo final. El concreto se vierte del centro hacia los extremos.

Figura 36. Fundición de losa



- Curar el concreto según el numeral 1.5 del capítulo 1.
- Retirar la formaleta a los 7 días excepto la principal la cual debe retirarla a los 15 días.

CÁLCULOS

Para diseñar las losa prefabricadas se sigue el mismo procedimiento que las losas tradicionales la diferencia es que se necesitan tablas y éstas no están estandarizadas, sino que son diseñadas por distintas empresas lo cual complica dar un resultado exacto para el tipo de carga solicitadas. Pasos a seguir para el cálculo de losa prefabricada.

- Integración de cargas. En esta paso se deben de integrar las cargas vivas y las cargas muertas de la misma manera que se hace con una losa de hormigón armado en una o dos direcciones. No olvidar que los elementos en los prefabricados tienen peso especificado en tablas.
- Con base en la integración de cargas se busca el peralte mínimo para que resistan la carga, las deflexiones, etc. La tabla XVI muestra el peso propio terminado.

Tabla XVI. Peso propio terminado de losa prefabricada

Losa de 15cm	240 kg/m ²
Losa de 20 cm	300 kg/m ²
Losa de 25 cm	340 kg/m ²

- De acuerdo al espesor calculado, se solicita la longitud de la vigueta a utilizar; la cual también se encuentra en tablas. La tabla XVII muestra las longitudes de viguetas.

Tabla XVII. Longitud de viguetas según peralte

Longitud de viguetas	
	Longitud de concreto(m)
Peralte terminado 15cm. Bovedilla de 10cm	1.10-4.30
Peralte terminado 20cm. Bovedilla de 15cm	1.10-5.30
Peralte terminado 25cm. Bovedilla de 20cm	2.90-5.70

- Obtener el costo de los materiales utilizados en la elaboración de la losa de prefabricado en la forma que se muestra en la tabla XVII.

Tabla XVIII. Costos de losa prefabricada

Material para losa final	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio total (Q)
Concreto premezclado	6 bolsas	5.09	30.52	231.00
Hierro de Alta Resistencia Grado 70 de diámetro 4.5 mm	2 varillas	1.79	3.58	27.10
Viguetas	1	8.63	8.63	65.00
Bovedilla	12	0.56	6.69	50.64
Alambre de Amarre	1 libra	1.06	1.06	8.00
Tipo de cambio monetario promedio año 2008 (septiembre –octubre) US\$1.00 = Q7.57				
Costo total para losa final			50.43	381.74

CONCLUSIONES

- La losa prefabricada trabaja de la misma manera que una losa tradicional en una dirección.
- La alta resistencia de los elementos que componen el sistema prefabricados permiten que se puedan utilizar en todos los sistemas constructivos de la actualidad.

- Los elementos constructivos de la losa prefabricada son muy livianos lo que facilita su transporte y manipulación en la construcción.
- Es muy económica porque permite el ahorro hasta de un 5 a 10% comparado con la losa tradicional.
- El sistema vigueta–bovedilla reduce la carga muerta de la estructura.
- El uso de cemento premezclado el cual viene en bolsa es mucho más caro que hacer la mezcla de la forma tradicional, elevando considerablemente el costo.

RECOMENDACIONES

- No debe colocarse viguetas al inicio de la solera.
- No tome las viguetas de las puntas, puede fracturarse en el medio.
- No debe levantar la vigueta por el centro, puede producirle fisuras.
- No colocar nada pesado sobre la bovedilla debido a que son frágiles.
- La vigueta debe colocarse sobre la pared y traspasar una distancia mínima de 5cm del rostro interno de la pared.
- Cuando son elementos muy esbeltos se necesita maquinaria pesada.
- Debe utilizarse para cubrir longitudes pequeñas.

4.12 Práctica de laboratorio número 3

B. Losa tradicional en una dirección

INTRODUCCIÓN

La losa tradicional es la que comúnmente se utiliza en Guatemala, debido a que el procedimiento es sencillo, sin embargo conforme avanza la tecnología en el campo de la construcción veremos como se desaparece este tipo de estructura porque es mucho más cara que la losa prefabricada. Su uso posiblemente se debe al desconocimiento de los elementos prefabricado y a la costumbre de las personas en la construcción con este tipo de elementos.

REFERENCIAS

Capítulo 7.7.1 del ACI 318R-99

Capítulo 7.6.5 del ACI 318R-99

Capítulo 7.12 del ACI 318R-99

OBJETIVOS

- Identificar cuando una losa trabaja en una dirección.
- Aplicar las normas y códigos al diseñar la losa en una dirección.
- Conocer los elementos con los que se arman una losa en una dirección.
- Armar la losa en una dirección de acuerdo al diseño propuesto.
- Diseñar la mezcla para la fundición de la losa propuesta.
- Comparar el costo entre una losa tradicional y la prefabricada

EQUIPO

- Tenazas
- Cinta métrica
- Balanza
- Sierra
- Niveles
- Hilo

MATERIALES

- Barras de acero
- Alambre de amarre
- Concreto
- Madera (parales, tablas, etc.)
- Clavos

PROCEDIMIENTO

El procedimiento constructivo de una losa tradicional es igual al del prefabricado con la diferencia que aquí se utiliza tendales, parales y tablas.

- Nivelación de los parales y tendales.
- En esta fase se sacan niveles con nivel de manguera de manera que la losa quede completamente plana. Para mantener estos niveles se utiliza hilo.

- Colocación de los puntales y tendales

En esta etapa se colocan parales y costaneras. Los parales no deben de colocarse a más de 70cm para evitar deflexiones y se colocan en línea recta tanto el longitud transversal como la longitudinal. Para que los parales no se hundan colóquelos sobre pedazos de madera o algo que sea resistente. La figura 37 muestra el proceso de aseguramiento de los parales y las costaneras.

Figura 37. Colocación de parales y costaneras



- Colocación de costaneras transversales

Para evitar que se abran los tendales, trate de asegurarlos con reglas en la parte intermedia de los tendales, esto evitará que se caigan cuando están muy bien clavados.

- Colocación de las tablas.

Una vez colocados los parales y tendales se comienza a colocar las tablas. Estas se colocan desde la parte interior de la pared y se aseguran con clavos.

- Elaboración de solera de corona

Después de haber formaleteado toda el área a fundir, se arma la solera de corona, esta generalmente tiene más peralte que la losa.

- Colocación de armadura

La armadura se coloca de acuerdo a lo especificado en los planos. Los rieles se amarran con ganchos a 180° con la solera. Las tensiones se doblan a un ángulo de 45° a una distancia especificada en planos.

Los bastones se colocan corridos cuando hay mas áreas a construir, de lo contrario se corta de acuerdo a la longitud estipulada en planos. Recuerde que la tensión se coloca sola y el bastón se coloca arriba del riel. Recuerde que este tipo de losa se le coloca acero por temperatura y la separación esta indica en los planos.

- Formaleta para cubrir solera de corona.

Una vez colocado el acero se formaletea la solera de corona, se vuelven a pasar niveles para obtener el espesor calculado y que la losa quede completamente plana.

- Fundición de la losa.

Se deben de tapar todos los agujeros que queden entre la formaleta y mojar perfectamente el área a fundir. Una vez mojada el área se comienza con la fundición. En esta fase de debe tener mucho cuidado porque si no es bien colocado el concreto, se produce humedad o goteras dentro de la estructura cuando la losa es techo final. La fundición se hace de los extremos de la pared hasta cubrir la superficie. Se utiliza llanas para emparejar el concreto.

- Curar el concreto con los métodos explicados en el numeral 1.5 del capítulo 1. Generalmente se coloca una cantidad de mezcla alrededor de la losa y se vierte agua conforme se vaya evaporando.

- Retirar la formaleta a 15 días de haber fundido.

- Limpiar y extraer los clavos de la madera utilizada.
- Hacer una comparación de los costos entre losa prefabricada y losa en una dirección, para realizar esto obtenga los costos unitarios de las unidades que se le presentan en la siguiente tabla.

Tabla XIX. Costos de losa de concreto en una dirección

Material para losa final	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio total (Q)
Cemento Gris Tipo Portland UGC 4000 psi	2 sacos	7.26	14.53	110.00
Barras de acero No. 2	2 varillas	1.98	3.96	30.00
Barras de acero No. 3	4 varillas	4.29	17.17	130.00
Arena	3 bolsas	0.65	1.94	14.73
Piedrín	3 bolsas	1.30	3.92	29.70
Alambre de amarre	1 libras	1.06	1.06	8.00
Tipo de cambio monetario promedio año 2008 (septiembre –octubre) US\$1.00 = Q7.57				
Costo total para la losa			42.59	322.43

CÁLCULOS

- Se propone la resistencia del concreto y el grado del acero a utilizar.
- Determinar la forma en que trabajará la losa, para ello se divide el ancho entre el largo, y su valor debe ser menor que 0.5.

$$losa\ una\ dirección = \frac{ancho}{largo} < 0.5$$

- Como la losa trabaja en una dirección se busca el espesor en la tabla VIII sección 4.4.3. Si son varios tramos, tomar el mayor de los espesores calculados.
- Se integra las cargas vivas y cargas muertas, sobrecarga para un metro de longitud. Para el diseño se utiliza la carga última de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Carga\ última\ (CU) = 1.4CM + 1.7CV$$

- Calcular los momentos que llegan a los bordes de la losa y al centro del claro, en ambos sentidos.
- Se calculan los momentos que llegan a la losa de acuerdo a la tabla XIX.

Tabla XX. Momentos de diseño de losa en una dirección

Para voladizos	$M(-) = \frac{wl^2}{2}$
Para losas en un solo tramo	$M(-) = \frac{wl^2}{14}$ $M(+) = \frac{wl^2}{10}$
Para losas de 2 tramos o más	$M(-)_{exterior} = \frac{wl^2}{14}$ $M(-)_{interior} = \frac{wl^2}{10}$ $M(+) = \frac{wl^2}{9}$

- Balancear momentos, cuando hay más tramos de losas. Esto se hace de dos maneras siempre y cuando $M_2 > M_1$

✓ $M_1 > 0.8M_2$ entonces $M_B = \frac{M_1 + M_2}{2}$

✓ $M_1 < 0.8M_2$ entonteces se hace una distribución directamente proporcional a la rigidez (K) de la siguiente manera

D_1	D_2
M_1	M_2
+	-
$(M_2 - M_1) * D_1$	$(M_2 - M_1) * D_2$
MB^*	MB^*

*Estos valores deben ser iguales, de lo contrario revisar cálculos

En donde

K_1 y K_2 = rigideces de las losas 1 y 2 respectivamente y se calcula con la

ecuación
$$K = \frac{1}{\text{ancho de losa}}$$

D_1 y D_2 = factores de distribución de las losas 1 y 2 respectivamente y se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$D_1 = \frac{K_1}{K_1 + K_2} \quad D_2 = \frac{K_2}{K_1 + K_2}$$

- Calcular el peralte de la losa por medio de la ecuación

$$d = t - r - \emptyset/2$$

Donde

d = peralte

t = espesor de la losa

r = recubrimiento (2cm en losa)

\emptyset = diámetro de la barra de refuerzo

- Calcular área de acero mínimo utilizando la siguiente ecuación:

$$A_s = 0.40 \left(\frac{14.1}{f_y} \right) bd$$

Donde

A_s = área se acero

f_y = esfuerzo de fluencia en el acero

b = longitud de 1 metro (se coloca 100cm en la fórmula)

d = peralte de la losa (cm)

- Calcular la separación del refuerzo, esta no debe ser mayor de 3t y debe conocer el área nominal de la barra a utilizar. Se calcula así:

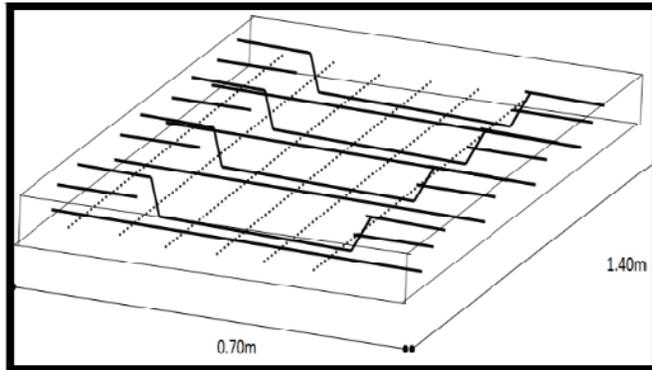
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Área} \quad _ \quad \text{separación (S)} \\ \frac{A_{s \min}}{A_{barra}} \quad _ \quad \frac{1 \text{ metro}}{x} \end{array} \right\}$$

- Ahora se calcula el momento que el $A_{s \min}$ puede resistir

$$MU = \phi \left[A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{1.7 f' c b} \right) \right]$$

- Calcular el área de acero que sobrepasa el MU y calcule de nuevo la separación del acero.
- Hacer el croquis de armado final. Por cuestiones de diseño es común colocar el armado siempre la separación para todos los ambientes, sin embargo debe respetarse lo que indica los planos. La figura No. 38 presenta el armado de una losa en una dirección, en este caso es un voladizo.

Figura 38. Armado final para losa en una dirección



CONCLUSIONES

- Elaborar una losa tradicional es un 10% más oneroso que utilizar prefabricados de acuerdo a la comparación realizada con los cálculos hechos para 1m^2 .
- El acero por temperatura permite que no se forme grietas por contracción del concreto.
- Para que el acero trabaje adecuadamente en la losa, deben de amarrarse con la solera de corona colocando un riel y arriba un bastón, luego la tensión, siempre respetando la separación colocada en los planos.
- Los ganchos se deben de realizar a 180° o 90° dependiendo del diámetro de la barra utilizada, con su respectiva longitud de desarrollo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los materiales de calidad permitirá obtener el concreto con características requeridas.
- No debe quitar parales antes de los 15 días de fundida la losa.
- Conocer para que tipo de ambientes se realizara la losa y en base a ello utilizar la carga viva y muerta recomendada en tablas.
- Curar el concreto por lo menos 15 días.

4.13 Práctica de laboratorio número 3

C. Losa tradicional en dos direcciones

INTRODUCCIÓN

La losa tradicional en dos direcciones es la que más se utiliza en la actualidad, debido a su comportamiento estructural y su respuesta a las fuerzas de sismo, ya que conjuntamente con las vigas y columnas forman un diafragma que disipa la energía provocada por el sismo y la envía a los cimientos. El problema que presenta es que requiere demasiado acero y necesita mucho tiempo para la elaboración y por consiguientes mayor mano de obra haciéndola cada vez mas costosa

REFERENCIAS

Capítulo 13.0 del ACI 318R-99

OBJETIVOS

- Identificar cuando una losa trabaja en dos direcciones.
- Aplicar las normas y códigos al diseñar la losa en dos direcciones
- Armar la losa en dos direcciones de acuerdo al diseño propuesto.

EQUIPO

- Tenazas
- Cinta métrica
- Balanza, sierra

MATERIALES

- Barras de acero
- Alambre de amarre
- Concreto
- Madera (parales, tablas, etc.)
- Clavos

PROCEDIMIENTO

El procedimiento constructivo de una losa en dos direcciones es idéntico al tradicional en una dirección, la única diferencia es que el refuerzo se coloca en ambas direcciones.

- Nivelación de los parales y tendales.
En esta fase se sacan niveles con nivel de manguera de manera que la losa quede completamente plana. Para mantener estos niveles se utiliza hilo.
- Colocación de los puntales y tendales
En esta etapa se colocan parales y costaneras. Los parales no deben de colocarse a más de 70 cm para evitar deflexiones y se colocan en línea recta tanto el longitud transversal como la longitudinal. Para que los parales no se hundan colóquelos sobre pedazos de madera o algo que sea resistente. La figura 39 muestra el proceso de aseguramiento de los parales y las costaneras.

Figura 39. Colocación de parales y costaneras



- Colocación de costaneras transversales
Para evitar que se abran los tendales, trate de asegurarlos con reglas en la parte intermedia de los tendales, esto evitará que se caigan cuando están muy bien clavados.
- Colocación de las tablas.
Una vez colocados los parales y tendales se comienza a colocar las tablas. Estas se colocan desde la parte interior de la pared y se aseguran con clavos.
- Elaboración de solera de corona
Después de haber formaleteado toda el área a fundir, se arma la solera de corona, esta generalmente tiene más peralte que la losa.
- Colocación de armadura
La armadura se coloca de acuerdo a lo especificado en los planos. Los rieles se amarran con ganchos a 180° con la solera. Las tensiones se doblan a un ángulo de 45° a una distancia especificada en planos. Los bastones se colocan corridos cuando hay mas áreas a construir, de lo contrario se corta de acuerdo a la longitud estipulada en planos.

Recuerde que la tensión se coloca sola y el bastón se coloca arriba del riel. Recuerde que este tipo de losa se le coloca acero por temperatura y la separación se encuentra indicada en los planos.

- **Formaleta para cubrir solera de corona**
Una vez colocado el acero se formaletea la solera de corona, se vuelven a pasar niveles para obtener el espesor calculado y que la losa quede completamente plana.
- **Fundición de la losa**
Se deben de tapar todos los agujeros que queden entre la formaleta y mojar perfectamente el área a fundir. Una vez mojada el área se comienza con la fundición. En esta fase de debe tener mucho cuidado porque si no es bien colocado el concreto, se produce humedad o goteras dentro de la estructura cuando la losa es techo final. La fundición se hace de los extremos de la pared hasta cubrir la superficie. Se utiliza llanas para emparejar el concreto.
- **Curar el concreto con los métodos explicados en el numeral 1.5 del capítulo 1.**
- **No retirar la formaleta antes de los 15 días de haber fundido la losa.**
- **Limpiar y extraer los clavos de la madera utilizada.**

CÁLCULOS

- **Se propone la resistencia del concreto y el grado del acero.**
- **Determinar la forma en que trabajará la losa, para ello se divide el ancho entre el largo, y su valor debe ser mayor que 0.5.**

- Se calcular el espesor de losa. El espesor debe estar entre los 7 a 15cm. Mayor de 15cm debe de diseñarse losa nervurada o utilizar prefabricado.

La fórmula para calcular el espesor es: $t = \frac{P}{180}$

Donde:

p= perímetro de la losa

t= espesor de la losa

- Integración de cargas vivas y cargas muertas y calcular la carga última con la ecuación *Carga última (CU)* = 1.4CM + 1.7CV, en donde CM es la carga muerta y CV la carga viva.
- Calcular los momentos que llegan a los bordes de la losa y al centro del claro, en ambos sentidos. Para calcular estos momentos se tiene que averiguar primero el caso correspondiente y buscar en tablas los coeficientes correspondientes para utilizarlos en las siguientes fórmulas

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} w l_a^2 \qquad M_{b,neg} = C_{b,neg} w l_b^2$$

Donde:

M = momento

C= Coeficiente que se encuentra en la tabla

w = Carga muerta mas carga viva uniforme total

l_a= longitud lado corto

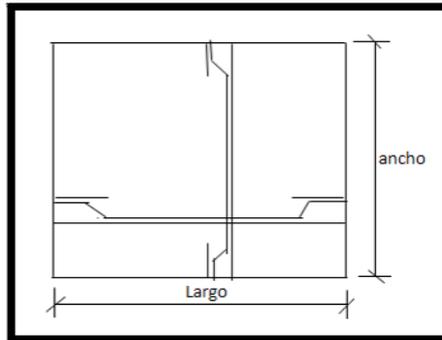
l_b = longitud lado largo

Para utilizar estas tablas consultar pág. 378 y 379 del libro **Diseño de Estructuras de Concreto**. Arthur H. Nilson o el trabajo de graduación del Ingeniero Danilo Antonio Perdomo Córdón, **Guía teórica y práctica del curso Concreto Armado 1**, pág. 159-161.

- Balancear momentos, cuando hay más tramos de losas.

Todos los cálculos son iguales a la losa en una dirección, la diferencia está en el armado, la cual se coloca en las dos direcciones como se muestra en la figura 40.

Figura 40. Armado de losa en dos direcciones



- Obtener el costo de los materiales utilizados en la elaboración de la losa en dos direcciones en la forma que se muestra en la tabla XX.

Tabla XXI. Costo de losa de concreto en dos direcciones

Material Losa Final	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio total (Q)
Cemento Gris Tipo Portland UGC 4000 psi	2 sacos	7.26	14.53	110.00
Barras de acero No. 2	2 varillas	1.98	3.96	30.00
Barras de acero No. 3	5 varillas	4.28	21.40	162.00
Arena	3 bolsas	0.65	1.94	14.73
Piedrín	3 bolsas	1.30	3.92	29.70
Alambre de amarre	1 libras	1.06	1.06	8.00
Tipo de cambio monetario promedio año 2008 (septiembre –octubre) US\$1.00 = Q7.57				
Costo total para la losa			46.82	354.43

CONCLUSIONES

- Sabemos que una losa trabaja en dos direcciones cuando la relación de ancho y largo es mayor de 0.5.
- El método de los coeficientes se sigue utilizando para el diseño de losas en dos direcciones en la actualidad, aunque el código ACI a partir del 1963 ya no lo contempla
- Es uno de los sistemas constructivos más utilizados, pero su costo es hasta un 15% más caro que el sistema prefabricado.

RECOMENDACIONES

- Mantener el curado del concreto por los 15 días para obtener la potencialidad del concreto.
- Hacer los respectivos ensayos a los materiales que se utilizarán para obtener concreto de calidad.
- Chequear los cálculos varias veces con los requisitos del código utilizado para el diseño de la losa.
- No retirar la formaleta antes de los 15 días de haber fundido la losa.

4.14 Práctica de laboratorio número 3

D. Losa de ferrocemento

INTRODUCCIÓN

El ferrocemento es un material de cemento, arena y refuerzo sencillo, poco espesor, flexible, en la que el número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notablemente mejorado con relación al hormigón armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas.

La figura 41 muestra el detalle de armado de losa para ferrocemento tipo trapezoidal.

Figura 41. Armado de losa de ferrocemento



REFERENCIAS

Código ACI 540

ASTM A185, ASTM E2016-99, ASTM C847

Nch Normas chilena 803 E Of 70

OBJETIVOS

- Aplicar las normas y códigos al diseñar la losa de ferrocemento.
- Conocer los elementos con los que se arman una losa de ferrocemento.
- Armar la losa de ferrocemento de acuerdo al diseño propuesto
- Conocer las aplicaciones del ferrocemento.

EQUIPO

- Tenazas
- Cinta métrica
- Balanza
- Llanas
- Guantes
- Sierra
- Pinzas para tensar la malla (tensores)

MATERIALES

- Barras de acero # 2
- Alambre de amarre
- Mortero
- Fibra de polietileno
- Malla de gallinero tipo hexagonal (1/2")

PROCEDIMIENTO

- El primer paso es preparar la armadura que formará el esqueleto, este refuerzo puede ser liso o corrugado.

- Después de tener la armadura principal, se procede a fijar la malla, para ello utilice alambre de amarre y trate de mantener la forma de armadura de refuerzo longitudinal y transversal.
- En la colocación de las dos camas de mallas, amarradas a los esfuerzos longitudinales, se puede observar que no quedan totalmente tensadas, por lo que se utilizan unas pinzas conocidas como tensores, para que de alguna manera se pueda tejer la malla y así lograr la rigidez y uniformidad de la estructura y evitar que queden holguras en algunos pedazos de la malla.
- Después de revisar la estabilidad del esqueleto y el refuerzo de malla de gallinero, se aplica el mortero a mano o con llana; además se trabaja completamente dentro de la malla para cerrar todos los vacíos. Se debe tener cuidado de no dejar ningún refuerzo expuesto en la superficie. El recubrimiento mínimo de mortero es de 1.5mm.
- El curado se realiza con agua vaporizada y debe de realizarse las 3 ó 4 horas después de haber aplicado el mortero. El curado debe realizarse durante 15 días cuando el curado es normal. Ver sección 1.5 para los métodos del curado del concreto.

Figura 42. Colocación de mezcla al armado de losa de ferrocemento



- Calcular los costos de los elementos utilizados en la elaboración de losa tipos trapezoidal. Anotar los datos en la siguiente tabla.

Tabla XXII. Costos de losa de ferrocemento

Material Losa Final	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio total (Q)
Cemento Gris Tipo Portland UGC 4000 psi	1 sacos	7.26	7.26	55.00
Hierro de Alta Resistencia Grado 70 de diámetro 4.5 mm	2 varillas	1.79	3.58	27.10
Malla de Gallinero hexagonal	3 yardas	1.59	4.76	36.00
Arena	1 bolsa	0.61	0.61	4.68
Alambre de Amarre	1 libra	1.06	1.06	8.00
Fibra de Polipropileno	1/4 bolsa	1.02	1.02	7.73
Tipo de cambio monetario promedio año 2008 (septiembre –octubre) US\$1.00 = Q7.57				
Costo total para la losa			18.30	138.51

CÁLCULOS

1. Calcular el volumen del panel

Longitud frontal de la sección:

$$L = (b+2s+2c)$$

Donde:

L = Longitud frontal de la sección
 b = Base trapezoidal
 c = Longitud de ala
 s = Pendiente entre la base y el ala

Volumen:

$$V = L * L_o * t$$

Donde:

V = Volumen

L = Longitud Frontal de la sección

L_o = Longitud lateral

t = Espesor

2. Chequear el recubrimiento mínimo recomendado para el refuerzo
3. Obtener los materiales adecuados para la elaboración del mortero a utilizar en el panel
4. Diseñar la mezcla de la losa de ferrocemento. Las proporciones adecuadas según norma es:

<u>Cemento:</u>	<u>Agreg. Fino:</u>	<u>Agua</u>
Cemento	Cemento	Cemento
Proporción:		
1.50	: 2.00	: 0.50

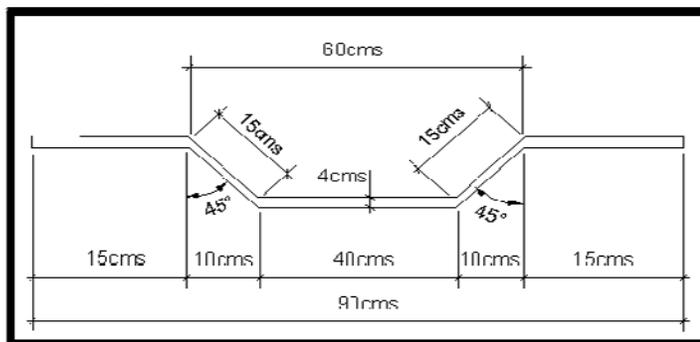


Figura No.43
Losa trapezoidal diseñada por ferrocemento

NOTA: En la práctica se utilizó fibra de polipropileno en lugar de grava.

CONCLUSIONES

- El uso del ferrocemento no es muy conocido en nuestro medio, sin embargo en otros países se están haciendo muchos estudios y lo aplican en construcciones de vivienda de uno hasta tres niveles, elaboración de barcos, depósitos de agua, etc.
- Los costos son relativamente bajos comparado con la losa prefabricada y tradicional, siendo el ahorro hasta de un 60%.
- Se puede utilizar como losa de entrepiso cuando las viviendas son de dos niveles.
- Su alta resistencia a los esfuerzos mecánicos lo hacen un material estructural altamente resistente.

RECOMENDACIONES

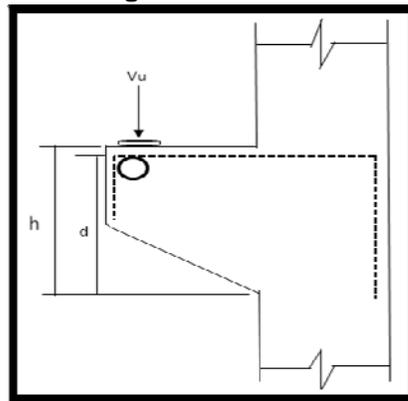
- Se debe diseñar el ferrocemento con las normas establecidas para evitar problemas estructurales.
- Curar el ferrocemento por un lapso no menor de siete días.
- Los materiales deben ofrecer ciertas características físico-mecánicas, para ser utilizados como material estructural en la elaboración del ferrocemento.
- Es recomendable tensar bien la malla para que esta ofrezca mayor rigidez y estabilidad en el elemento.
- El concreto debe colocarse únicamente de un solo lado de la estructura para evitar que quede aire atrapado y debe de colocarse en franjas horizontales, aplicándose de abajo hacia arriba.
- Usar guantes si coloca el mortero con las manos, pero es recomendable utilizar llanas.

5. Ménsulas

5.1 Definición de ménsula

Una ménsula es una sección pequeña de una viga que se proyecta sobre una columna cuya finalidad es soportar cargas o trasladarlas por medio de rieles, que se colocan sobre ellas. Aun que puede definirse como la relación $a/d < 1$, en donde a es la distancia desde el rostro de la columna hacia el punto donde se aplica la carga. Sus usos son variados, los cuales van desde la carga de vigas prefabricadas de concreto, el soporte de armaduras de metal, hasta la utilización de carriles de grúas viajeras. En la figura 44 se muestra la forma de la ménsula.

Figura 44. Ménsula

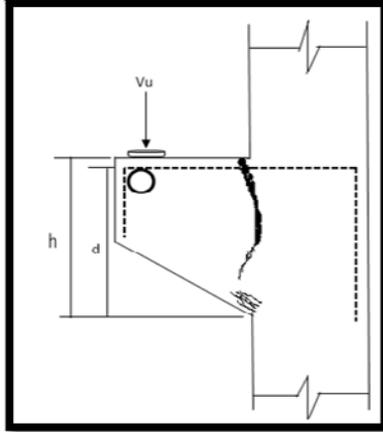


5.2 Mecanismo de fallas de las ménsulas

5.2.1 Falla de tensión por flexión

Esta falla ocurre cuando se coloca mayor cantidad de acero por flexión, lo que provoca aplastamiento en la parte inferior de la ménsula. La figura 45, muestra este tipo de falla.

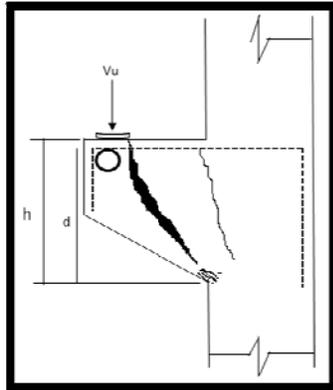
Figura 45. Falla de tensión por flexión



5.2.2 Falla por fisuración diagonal

En esta falla aparecen grietas diagonales antes de que falle totalmente por la fuerza cortante. La figura 46 muestra este tipo de falla.

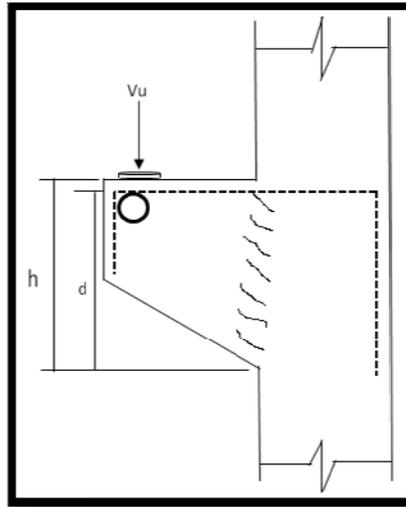
Figura 46. Falla por fisuración diagonal



5.2.3 Falla por cortante deslizante

En esta falla aparecen una serie de pequeñas fisuras inclinadas las cuales llegan a producir una falla por cortante deslizante. La falla de este tipo en la ménsula se muestra en la figura 47.

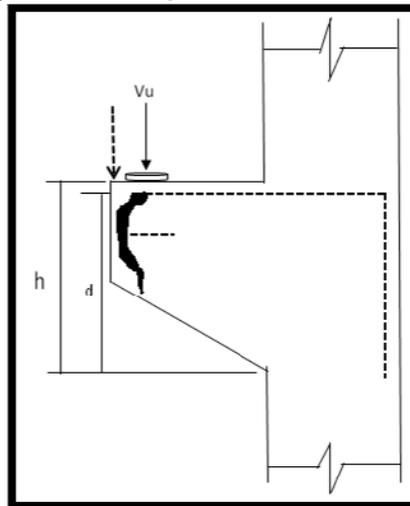
Figura 47. Falla por cortante deslizante



5.2.4 Falla por fisuración de anclaje

Esta falla ocurre cuando la carga aplicada se sitúa en la cara de la ménsula como se muestra en la figura 48.

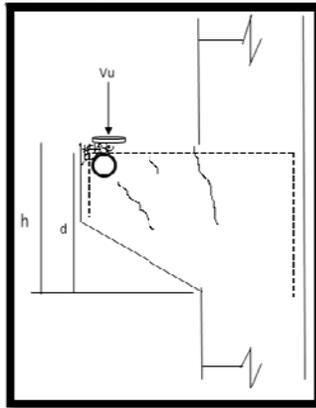
Figura 48. Falla por fisuración de anclaje



5.2.5 Falla por aplastamiento debido a esfuerzos

Esta falla ocurre por el diseño de una ménsula muy corta, la cual falla en los apoyos por el aplastamiento del concreto en la parte inferior. Este tipo de falla se muestra en la figura 49.

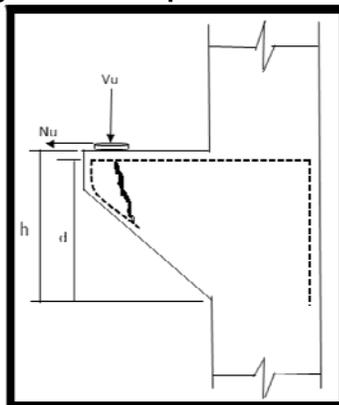
Figura 49. Falla por aplastamiento debido a esfuerzos



5.2.6 Falla por tensión horizontal

Esta falla ocurre cuando se aplica una fuerza horizontal N_u además de la fuerza de gravedad V_u . Puede ser causada por efectos dinámicos en los carriles, por contracción del concreto o por el flujo plástico. La figura 50 muestra este tipo de falla.

Figura 50. Falla por tensión horizontal



5.3 Dimensionamiento de ménsulas por medio de reglamento ACI

El código ACI establece que la única acción sobre la ménsula es una carga aplicada de magnitud igual a la reacción del elemento soportado y debe diseñarse con cargas mayoradas y para la seguridad de la estructura debe de aumentarse un porcentaje de acuerdo al criterio del diseñador. El procedimiento de diseño se establece a continuación.

- Calcular la fuerza cortante mayorada y algún factor de seguridad

$$V_u = [1.4CM + 1.7CV]x\%$$

- Calcular el área de acero A por medio de la ecuación

$$A = \frac{V_u}{\phi(0.85f'_c)} \quad \text{con } \phi=0.70$$

- Calcular el largo de la ménsula $Largo = \frac{A}{b}$, b es el ancho de la columna

- determinar el claro a, por medio de la ecuación

$$a = 2.5 + \frac{2L}{3}, \quad L \text{ es la longitud es la ménsula}$$

- Calcular el peralte d, por medio de las ecuaciones

$$V_n = 56bd \quad \text{y} \quad V_u = 0.85V_n; \quad \text{por lo que} \quad d = \frac{V_u}{0.85(56)b}$$

- Calcular la altura h, de la ménsula por medio de : $h = d + 2.5$

- Revisar que la relación a/d <1

- Calcular el momento producido en la ménsula: $M_u = V_u(a) + N_u(h - d)$

- Calcular el área de acero para resistir momento

$$A_f = \frac{M_u}{0.85f_y(0.9d)}$$

- Calcular el área de acero por tensión directa

$$A_n = \frac{N_u}{0.85f_y}$$

- Revisar que $N_u > 0.20V_u$. Utilizar el mayor de los dos valores.

- Calcular el área de acero primario por tensión

$$A_s = A_f + A_n$$

- Calcular el porcentaje de acero mínimo

$$\rho_{min} = \frac{0.04f'c}{f_y}$$

- Calcular el porcentaje de acero primario

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

Revisar que $\rho > \rho_{min}$. Tomar el mayor %

- Determinar el refuerzo por cortante

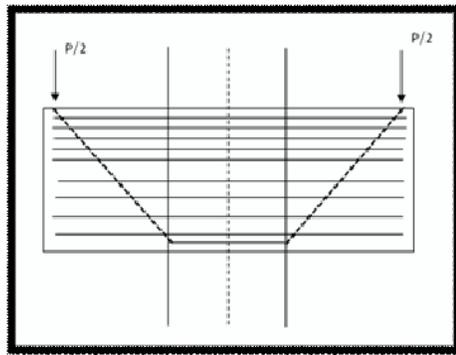
$$A_h = \frac{0.5}{A_s - A_N}$$

- Armar la ménsula con el refuerzo calculado.

5.4 Otros tipos de ménsulas

El diseño para las ménsulas simples se puede aplicar a ménsulas dobles, como se muestra en la figura 51, las cuales son más resistentes hasta un 23% por el refuerzo horizontal de su armado.

Figura 51. Ménsula doble



6. ENSAYO DE MATERIALES DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS

6.1 Definición de ensayo

El ensayo es aquel que nos permiten conocer las características, físicas, químicas y mecánicas y dependiendo lo que se quiere averiguar del elemento; así será el procedimiento a utilizar de acuerdo con las normas y códigos. Con el ensayo podemos averiguar si un material cumple con las normas establecidas para la seguridad, no sólo de la estructura sino de las personas. Entre los tipos de ensayos tenemos:

- Ensayos de características químicas
- Ensayos destructivos
- Ensayos destructivos dinámicos
- Ensayos tecnológicos
- Ensayos no destructivos

6. 2 Clasificación de los ensayos

6.2.1 Ensayos de características químicas

Su finalidad es conocer la composición del material los cuales pueden ser térmicos y de estructuras. En el térmico se determina el punto de fusión y los puntos críticos. En el de estructuras se determina la cristalización, el tipo e grano y de fibra.

6.2.2 Ensayos destructivos

Se les llama destructivos porque el ensayo afecta la muestra, rompiéndola, raspándola es decir la muestra no queda intacta. Entre ellos se tienen los estáticos y los dinámicos. Entre los estáticos se tienen la tensión, compresión, flexión, dureza, pandeo, resiliencia. Entre los dinámicos se tienen desgaste y fatiga.

6.2.2.1 Ensayo de tensión

Este es de los ensayos más utilizados en los laboratorios. Básicamente consiste en colocar una probeta en una Máquina Universal de ensayos hasta que se deforme y llegue a la ruptura. Se pueden obtener las deformaciones utilizando extensómetro y calcular varios datos por ejemplo límite de proporcionalidad, límite elástico, resistencia a la atracción, etc.

6.2.2.2 Ensayo de compresión

Este se usa solo aquellos materiales que resisten compresión, es decir a ser comprimidos. En este ensayo se somete la probeta a constantes esfuerzos hasta llegar a la ruptura del material o aplastamiento.

6.2.2.3 Ensayo de flexión

Este tipo de ensayo se hace colocando carga en la Máquina universal de ensayos al centro del elemento, el cual está apoyada en los extremos. Para hallar la deformación se usa un extensómetro, la cual mide la deflexión máxima antes de que falle el material.

6.2.2.4 Ensayo de dureza

La dureza es la resistencia que tiene un material a dejarse rayar por otro material. Entre las más importantes están la dureza Brinell y Rockwell.

El método Brinell consiste en comprimir una bola de acero, de un diámetro determinado, sobre un material a ensayar, por medio de una carga y durante un tiempo también conocido.

En el caso de dureza Rockwell, la resistencia que oponen los materiales a se penetrados, se determina la dureza en función de la profundidad de la huella. También se utiliza para medir durezas en aceros templados.

6.2.2.5 Ensayo de pandeo

Este ensayo consiste básicamente en comprimir el elemento en la dirección del eje vertical y el material tiende a doblarse hacia afuera de su eje rompiendo fácilmente por cargas inferiores a las que le corresponden por la sección. Este ensayo se hace en la Máquina Universal de Ensayos.

6.2.2.6 Extracción de cilindros (para hormigón)

Algunas veces es necesario determinar la calidad del concreto cuando este ya ha endurecido, principalmente cuando se tiene duda de la resistencia que tiene el concreto aplicado en alguna zona en particular de la estructura. También se utiliza cuando se requiere hacer una reparación, reforzar o modificar una construcción original. Para realizar este ensayo se extraen probetas cilíndricas de la masa de concreto endurecido, llamadas núcleos.

Para obtener estas probetas se utilizan brocas acopladas a un motor, las cuales giran sobre su eje. La corona de las brocas posee diamantes industriales, las cuales cortan el concreto y se le coloca agua para evitar calentamiento excesivo de las brocas. Su costo es elevado debido a que se necesita personal especializado y porque el proceso es lento.

6.2.3 Ensayos destructivos dinámicos

6.2.3.1 Desgaste

Este ensayo tiene por objeto determinar el desgaste por rozamiento de metales, comúnmente se da en pisos, baldosas, pavimentos, es decir en todos los materiales cuando hay dos superficies juntas. Para realizar este tipo de ensayo en los agregados de concreto se utiliza la Máquina de los Ángeles.

6.2.3.2 Fatiga

La fatiga se da cuando un metal se somete a esfuerzos de magnitud variable y de sentidos variables. Se rompe con cargas muy inferiores a su resistencia a la ruptura normal para un esfuerzo de tensión constante. La disminución de la resistencia se conoce como fatigas.

6.3 Ensayos tecnológicos

Estos ensayos sirven para determinar el comportamiento de los materiales cuando se aplican operaciones industriales como la soldadura, laminación, doblado, plegado, etc.

6.4 Ensayos no destructivos

Tienen por objeto descubrir y localizar defectos en la superficie o en el interior de los materiales. Estos ensayos se aplican a elementos que ya están contruidos y, por tanto, no deben dañar ni dejar huella alguna al elemento bajo ensayo. Entre los que se utilizan están:

- Ensayos magnéticos
- Ensayos eléctricos
- Líquidos penetrantes
- Ensayos estructurales
- Ensayo de rayos X
- Ensayos de rayos Gamma
- Ensayos de ultrasonido
- Método de rebote (para hormigón)

6.4.1 Ensayos magnéticos.

Los ensayos se efectúan empleando hierro en forma de polvo finísimo. Este se deposita sobre la superficie del material a ensayar, provocando su imantación. Así se produce una variación de flujo traducida en un aumento de la resistencia magnética, debida a la presencia de defectos y a las perturbaciones originadas en el campo. Entre los materiales ensayados pueden citarse: lingotes, barras y materiales laminados, piezas forjadas y moldeadas, soldaduras, etc.

6.4.2 Ensayos eléctricos.

Están fundados en efectos electrostáticos y efectos electrodinámicos. El método radica en la variación que experimenta la resistencia de un material cuando en él se encuentra un defecto superficial. Se establece un campo eléctrico, que debe permanecer constante si el material es homogéneo, pero que varía si existe un defecto.

6.4.3 Ensayos por líquidos penetrantes.

Los ensayos con líquidos penetrantes tienen como finalidad detectar fisuras en los sólidos no porosos. El método se basa esencialmente en lo siguiente: el líquido, una vez aplicado sobre la superficie de la pieza o elemento, penetra por capilaridad en las discontinuidades.

Una vez eliminado el exceso de líquido, el que ha permanecido retenido en la discontinuidad puede ser observado sobre la pieza. Se detectarán a simple vista una o varias líneas coloreadas que mostrarán las grietas existentes. Los líquidos utilizados pueden ser de dos tipos: fluorescentes o coloreados.

6.4.4 Ensayos estructurales.

Los ensayos macroscópicos permiten la localización de grietas, porosidades a simple vista o con ampliación de hasta 15 aumentos, ya que los defectos son superficiales.

6.4.5 Ensayo de rayos X.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas que permite atravesar materiales que resultan opacos a la luz visible. Los rayos son tan penetrantes que detectan cuando el material no es uniforme, es decir que tiene algún defecto

6.4.6 Ensayo de rayos gamma.

Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas que permite atravesar materiales opacos para la luz y los rayos X. Las propiedades de los rayos gamma son las mismas que los rayos X, solo que los primeros son más penetrantes y pueden atravesar espesores mayores. Se utilizan especialmente para grandes piezas, uniones soldadas y conducciones ya instaladas.

6.4.7 Ensayo de ultrasonidos.

La verificación de materiales por ultrasonidos utiliza la propagación del sonido, tanto en sólidos como en líquidos, para realizar un control no destructivo de cualquier material que sea susceptible de ser atravesado por estos. El equipo tiene un emisor de ultrasonido que produce un haz sónico, el cual atraviesa la pieza y detecta las discontinuidades.

6.4.8 Método de rebote (para hormigón)

Se utiliza con la finalidad de determinar la calidad del hormigón sin que afecte la pieza o estructura. Para realizar este ensayo se utiliza el martillo Schmidt porque es sencillo y su costo es bajo.

Se utiliza para determinar el endurecimiento del hormigón o comparar distintos concreto en la misma obra. Para realizar este ensayo se presiona un émbolo contra la parte del concreto a probar, utilizando una masa sostenida por un resorte, manteniendo la posición constante.

El martillo Frank mide la dureza del concreto por medio de una huella que deja una bola de acero cuando se le da el golpe al hormigón. El esclerómetro Windsor consiste en introducir un clavo de acero por medio de una carga explosiva y medir la profundidad de penetración, lo que esta relacionada con la resistencia de compresión del concreto.

CONCLUSIONES

1. Se realizaron los ensayos de todos los materiales, utilizando los distintos códigos y normas, nacionales e internacionales, las cuales regulan todo lo referente a la calidad del material.
2. Se desarrolló la teoría necesaria para comprender la práctica a realizarse en cada uno de los ensayos, así como la estructura de la elaboración de los informes para cada una de las prácticas.
3. Cada práctica de laboratorio hace referencia a los códigos o normas nacionales e internacionales, utilizadas en el procedimiento para llevar a cabo el ensayo y de esta manera determinar si el material es aceptado o rechazado.
4. Al comparar resultados de lo práctico y lo teórico se obtuvieron valores similares aunque la variación se debe a varios factores como el error en la medición, elaboración del concreto, mal procedimiento en el curado del concreto, etc.
5. Es más factible elaborar una losa de ferrocemento, por los elementos que la constituyen y por sus grandes resistencias comprobadas experimentalmente; comparadas con otros sistemas constructivos de losas, como las prefabricadas o las de hormigón armado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar esta guía únicamente como referencia, el estudiante debe investigar el tema con más detalle antes de realizar el ensayo.
2. Habituarse al estudiante a utilizar los códigos periódicamente, para familiarizarse con ellos.
3. Hacer una inspección visual a los materiales antes de realizar cualquier tipo de ensayo y obtendrá parámetros similares a los establecidos en los códigos de construcción.
4. Uno de los aspectos en los que se debe tener cuidado al realizar algún ensayo en donde se utilice el concreto es el curado, porque de éste depende la resistencia.
5. Rechazar el lote de los materiales a ensayar después de comprobar que no cumplen con las características y propiedades mínimas establecidas por las normas y códigos.
6. Realizar estudios más profundos sobre el ferrocemento, debido a su alta aplicación en sistemas constructivos y la falta de información sobre este tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. American, Concrete, Institute. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318R-99).
2. American Concrete Institute ACI Comité 549, "Guide for the design, construction and repair of ferrocement", EEUU, 1988.
3. American Society for Testing and Material (ASTM); **ASTM International**, West Conshohocken, PA, USA. Octubre, 2004.
4. Castillo Carias, Miguel Ángel. **Consideraciones en el análisis y diseño de columnas esbeltas de concreto armado**. Trabajo de graduación, Guatemala, agosto de 1985. 85 pág.
5. Chilín Palma, Henry Antonio. **Laboratorio de Concreto Armado 1**. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998.
6. COGUANOR Comisión Guatemalteca de Normas según decreto No. 523 del Congreso de la República del 5 de mayo de 1962.
7. De León Arcía, Emanuel. **Losas prefabricadas, tipo vigueta bovedilla armadas sin necesidad de obra falsa..** Trabajo de graduación, Guatemala, julio de 1993. 52 pág.
8. Escobar Álvarez, Oswaldo Romeo. **Ensayos no destructivos en concreto, experiencias realizadas en el CII**. Trabajo de graduación, Guatemala, junio de 1986. 90 pág.

9. Folgar Archila, Luis Rolando. **Diseño de ménsulas de concreto reforzado según el código ACI 318-89**. Trabajo de graduación, Guatemala, septiembre de 1993. 55 pág.
10. González Cuevas, Oscar M. y Francisco Robles Fernández-Villegas. **Aspectos fundamentales del Concreto Reforzado**. 4ª. Edición. México: Limusa. 2006. 802 pág.
11. Instituto Español de Normalización. **Catalogo General de Normas UNE**.1983. **Manual de Laboratorio del Curso de Materiales de Construcción**. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala, agosto de 2002. 145 pág.
12. Mejicanos Jol, Dilma Janet. **Elementos de ferrocemento para construcción de techos de vivienda popular tipo cañón**. Trabajo de graduación, Guatemala, mayo de 2002. 99 pág.
13. Morales Ramírez, Evelyn Maribel. **Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción**. Trabajo de graduación, Guatemala, agosto de 2006. 127 pág.
14. Nilson, Arthur H. **Diseño de Estructuras de Concreto**. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia 1999. 713 pág.
15. Park, R y Paulay T. **Estructuras de concreto reforzado**. Editorial Limusa. México, D.F. 1978. 788 pág.
16. Perdomo Cordón, Danilo Antonio. **Guía teórica y práctica del curso “Concreto Armado 1”**. Trabajo de graduación, Guatemala, junio de 1987.208 pág.
17. Sánchez Aguilar, Jaime Fernando. **Ensayos no destructivos en concreto**. Trabajo de graduación, Guatemala junio de 1978. 40 pág.
18. Sic García, Ángel Roberto. **Guía teórica y práctica del curso “Concreto Armado 2”**. Trabajo de graduación, Guatemala, octubre de 1988. 325 pág.

19. Somoza Soto, Marco Aurelio. **Ménsulas en estructuras de concreto.** Trabajo de graduación, Guatemala, octubre de 1975. 66 pág.
20. Vásquez Alfaro, Luis Fernando. **Losas plegadas de ferrocemento.** Trabajo de graduación, Guatemala, abril de 1997. 71 pág.
21. Vides Tobar, Amando. **Análisis y Control de Costos de Ingeniería. Tomo 2.** 2da edición. Guatemala: Piedra Santa.1996.1348 pág.

APÉNDICE

Figura 1. Ensayo de tensión de barras de acero



Figura 2. Ensayo de doblado de barras de acero a 180°



Figura 3. Elaboración de estribos para columna rectangular



Figura 4. Elaboración de estribos para columna rectangular



Figura 5. Colocación de mortero para losa de ferrocemento



Figura 6. Fundición de losa prefabricada



ANEXO

Tabla 1. Cantidad de barras de acero por quintal.....	137
Tabla 2. Prueba de doblado a 180°, norma Coguanor NGO 36011.....	138
Tabla 3. Diámetro de barras corrugadas.....	139
Tabla 4. Barras de refuerzo según la norma ASTM.....	140
Tabla 5. Mallas de elementos lisos.....	141
Tabla 6. Mallas de elementos corrugados.....	142
Tabla 7. Sistemas de medidas.....	143
Tabla 8. Conversión de unidades.....	143

Tabla 1. Cantidad de barras de acero por quintal

No de barra	Número de barra según ASTM	Diámetro (plg)	Varillas de 20' (6m) por quintal
2	6	¼"	30
3	10	3/8"	13
4	13	½"	7
5	16	5/8"	5
6	19	¾"	3
7	22	7/8"	2
8	25	1'	2
9	29	1 1/8"	1
10	32	1 ¼"	1
11	36	1 3/8"	1
14	43	1 3/4"	0.7
18	57	2 1/4"	0.4

Tabla 2. Prueba de doblado a 180°

Designación de la barra	Designación de barra según ASTM	Diámetro del mandril para pruebas de doblado ^A					
		S Inglés Grado 40	SI 280	S inglés Grado60	SI 414	S Inglés Grado75	SI 517
3	10	3 1/2d ^B		3 1/2d			
4	13	3 1/2d		3 1/2d			
5	16	3 1/2d		3 1/2d			
6	19	5d		5d		5d	
7	22	5d		5d		5d	
8	25	5d		5d		5d	
9	29			7d		7d	
10	32			7d		7d	
11	36			7d		7d	
14	43*			9d		9d	
18	57*			9d		9d	
A: La prueba se dobla a 180° a menos que haga otra anotación							
B: d= diámetro nominal de la muestra							
* Para estas barras la prueba de doblado se realiza a 90°							

Fuente: Norma Coguanor NGO 36011

Tabla 3. Diámetro de barras corrugadas

Tamaño de barras corrugadas de acero							
Número de barra	Peso Unitario		Dimensiones nominales				
	Lb/pie	Kg/m	Diámetro		Área transversal		
			plg	Mm	plg ²	cm ²	mm ²
2	0.167	0.249	0.250	6.35	0.05	0.32	32
3	0.376	0.560	0.375	9.52	0.11	0.71	71
4	0.668	0.994	0.500	12.70	0.20	1.29	129
5	1.043	1.552	0.625	15.88	0.31	2.00	200
6	1.502	2.235	0.750	19.05	0.44	2.84	284
7	2.044	3.042	0.875	22.22	0.60	3.87	387
8	2.670	3.973	1.000	25.40	0.79	5.10	510
9	3.400	4.960	1.128	28.65	1.00	6.45	645
10	4.303	6.403	1.270	32.26	1.27	8.19	819
11	5.313	7.906	1.410	35.81	1.56	10.06	1006
14	7.650	11.384	1.693	43.00	2.25	14.52	1452
18	13.60	20.238	2.257	57.33	4.00	25.81	2581

Fuente: Norma ASTM A615M

Tabla 4. Barras de refuerzo según norma ASTM A615M

Tamaño barras corrugadas de acero				
Número de barra	Número de barra según ASTM	Dimensiones nominales		Masa nominal
		Diámetro nominal	Área nominal	
		Mm	mm ²	
2	6	6.35	32	0.249
3	10	9.52	71	0.560
4	13	12.70	129	0.994
5	16	15.88	200	1.552
6	19	19.05	284	2.235
7	22	22.22	387	3.042
8	25	25.40	510	3.973
9	29	28.65	645	4.960
10	32	32.26	819	6.403
11	36	35.81	1006	7.906
14	43	43.00	1452	11.384
18	57	57.33	2581	20.238

Tabla 5. Mallas de elementos lisos

$s_t=s_l$	$s_t=s_l/2$	$s_t=s_l/4$
*15x15 ϕ L 3-3	*15x30 ϕ L 3-3	
*10x10 ϕ L 3-3		
*15x15 ϕ L 4-4	*15x30 ϕ L 4-4	
*15x15 ϕ L 4.5-4.5	15x30 ϕ L 4.5-4.5	
*15x15 ϕ L 5-5	*15x30 ϕ L 5-5	
15x15 ϕ L 5.5-5.5	15x30 ϕ L 5.5-5.5	15x30 ϕ L 5.5-4
*15x15 ϕ L 6-6	*15x30 ϕ L 6-6	*15x30 ϕ L 6-4.5
15x15 ϕ L 6.5-6.5	15x30 ϕ L 6.5-6.5	15x30 ϕ L 6.5-4.5
*15x15 ϕ L 7-7	15x30 ϕ L 7-7	15x30 ϕ L 7-5
*15x15 ϕ L 8-8	*15x30 ϕ L 8-8	*15x30 ϕ L 8-6
15x15 ϕ L 9-9	15x30 ϕ L 9-9	15x30 ϕ L 9-6.5
*15x15 ϕ L 10-10	*15x30 ϕ L 10-10	*15x30 ϕ L 10-7
15x15 ϕ L 11-11	15x30 ϕ L 11-11	15x30 ϕ L 11-8
*15x15 ϕ L 12-12	15x30 ϕ L 12-12	15x30 ϕ L 12-8.5
10x10 ϕ L 11-11	10x20 ϕ L 11-11	10x30 ϕ L 11-9.5
10x10 ϕ L 12-12	10x20 ϕ L 12-12	10x30 ϕ L 12-10
Se recomienda el uso preferente de las mallas marcadas con *		

Fuente: Norma UNE 36-092-81 Parte 1. Pág. 8

Tabla 6. Mallas de elementos corrugados

$S_t=S_l$	$S_t=S_l/2$	$S_t=S_l/4$
*15x15 ϕ 4-4	*15x30 ϕ 4-4	
*15x15 A ϕ 4.5-4.5	15x30 A ϕ 4.5-4.5	
*15x15 A ϕ 5-5	*15x30 A ϕ 5-5	
15x15 A ϕ 5.5-5.5	15x30 A ϕ 5.5-5.5	15x30 A ϕ 5.5-4
*15x15 A ϕ 6-6	*15x30 A ϕ 6-6.	*15x30 A ϕ 6-4.5
15x15 A ϕ 6.5-6.5	15x30 A ϕ 6.5-6.5	15x30 A ϕ 6.5-4.5
*15x15 A ϕ 7-7	15x30 A ϕ 7-7	15x30 A ϕ 7-5
*15x15 A ϕ 8-8	*15x30 A ϕ 8-8	*15x30 A ϕ 8-6
15x15 A ϕ 9-9	15x30 A ϕ 9-9	15x30 A ϕ 9-6.5
*15x15 A ϕ 10-10	*15x30 A ϕ 10-10	*15x30 A ϕ 10-7
15x15 A ϕ 11-11	15x30 A ϕ 11-11	15x30 A ϕ 11-8
*15x15 A ϕ 12-12	15x30 A ϕ 12-12	15x30 A ϕ 12-8.5
10x10 A ϕ 11-11	15x30 A ϕ 11-11	15x30 A ϕ 11-9.5
10x10 A ϕ 12-12	15x30 A ϕ 12-12	15x30 A ϕ 11-9.5
		15x30 A ϕ 12-10
Se recomienda el uso preferente de las mallas marcadas con *		

Fuente: Norma UNE 36-092-81 Parte 1. Pág. 8

Tabla 7. Sistemas de medidas

	Magnitud			
	Longitud	Masa	Tiempo	Fuerza
Sistema Internacional (SI)	Metro (m)	Kilogramo (kg)	Segundo (s)	Newton (N)
Sistema c,g,s	Centímetro (cm)	Gramo (gr)	Segundo (s)	Dina dyn
Sistema Inglés	Pie (p)	slug	Segundo (s)	Libra (lb)

Tabla 8. Conversión de unidades

LONGITUD						
1 m	3.281pie	39.37pulg	1 pie	30.48cm	0.3048m	
1 km	3280.8pie	0.6214mi	1 milla	5280pie	1609.9m	
SUPERFICIE						
1 cm ²	0.155pulg ²		1 pie ²	144 Pulg ²	928.997cm ²	0.0929
1 m ²	10.7639pie ²		1pulg ²	0.00694 pie ²	6.45cm ²	m ²
VOLUMEN						
1 m ³	1000 lt	35.3146pie ³	1 pie ³	1728 pulg ³	7.48 gal	28.315 lt
1 lt	1 dm ³	0.2642gal	1 pulg ³	16.387 cm ³	0.1338 pie ³	
1 cm ³	1 ml	0.061 pul3	1 galón	3.785 lt	231 pul ³	
1 m ³	264.2 gal		1 barril	31.5 p ³	4.21pie ³	
			1 pie ³	62.425 libras		
MASA						
1 kg	2.205 lb	0.0685 slug	1 lb	0.4536 kg	0.031 slug	0.0160p ³
1 lb	16 onzas	27.681217	1 ton*	1000 kg		
1 ton	1000kg	plg ³				
FUERZA						
1N	0.2248lb	105 dinas	1lb	4.448N		
PRESION						
1 kg/cm ²	14.224psi		1 kg/cm ²	98.07kPa		
1psi**	0.0703kg/cm ²		1 psi	6.89KPa	144 lb/pie ²	

*ton=tonelada métrica

**psi=libra sobre pulgada²