



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

**VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA  
REFUERZO, UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO  
COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE  
MIXCO**

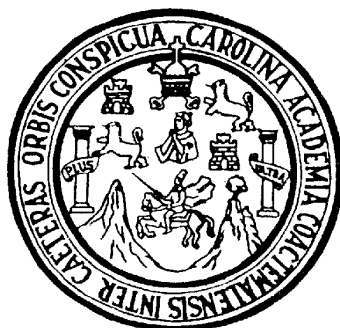
**Jorge Vinicio Arresis López**  
Asesorado por Ing. José Gabriel Ordóñez Morales

Guatemala Enero de 2011





**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES  
MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO, UTILIZADAS EN  
LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR  
EN EL MUNICIPIO DE MIXCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JORGE VINICIO ARRESIS LÓPEZ**  
ASESORADO POR INGENIERO CIVIL JOSÉ GABRIEL ORDÓÑEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2011





**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Mario Corzo Ávila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo Díaz
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez









**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:

**VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA  
REFUERZO, UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO  
COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO**

Tema que fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de septiembre de 2009.

**Jorge Vinicio Arresis López**





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



Guatemala,  
29 de octubre de 2010

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

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Vinicio Arresis López, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Arresis López, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

José Gabriel Ordóñez Morales  
Asesor

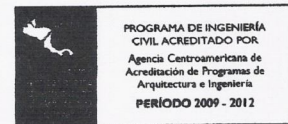
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua



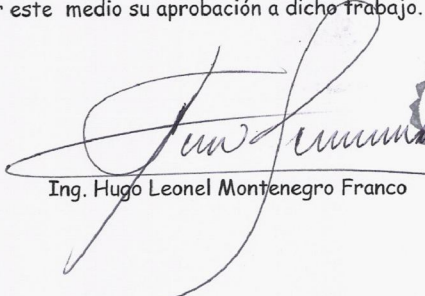




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Jorge Vinicio Arresis López, titulado VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

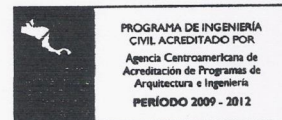
  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero de 2011

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua







Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.027.11

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: **VERIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO, UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Vinicio Arresis López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Récinos  
Decano



Guatemala, enero de 2011

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A**

- DIOS** Fuente de salvación, amor y paz en mi vida.
- MIS PADRES** Elizabeth y Juan Arrecis, en forma póstuma, por su amor, inspiración y apoyo en mi vida.
- MIS HERMANOS** Lilian Ruth, Teresa, Hugo, Arnoldo (Q.D.E.P.) y en forma muy especial a Magaly por su apoyo incondicional.
- MIS ABUELAS** Emilia Palacios y Micaela Hernández (Q.D.E.P.)
- MI FAMILIA  
EN GENERAL** Por brindarme su amor en todo tiempo.



## **AGRADECIMIENTOS A**

<b>DIOS</b>	Por haberme permitido llegar aquí, gracias Padre.
<b>MI ASESOR</b>	José Gabriel Ordóñez Morales, por la amistad, apoyo, consejos y tiempo invertido en mi persona.
<b>MI MADRINA</b>	Eugenia Magaly Arrecis López, gracias por estar allí cuando lo necesité.
<b>MIS CATEDRÁTICOS</b>	Mar Girón, Mario Corzo, Jorge Mario Vettorazzi, Guillermo Melini, Ronald Galindo, Jeovany Miranda, Benjamín Cifuentes, por su consejo, enseñanza, apoyo y amistad.
<b>A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE CLASES</b>	En especial a Marta Jiménez, Soledad Ronquillo, Luis Ecuté, David Guzmán, Alejandro Valle, por su compañerismo, amistad y apoyo.
<b>AL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA</b>	En especial a Pablo de León, Ronaldo Hidalgo y Emerson Pérez, por su ayuda en la culminación de este trabajo.
<b>MIS AMIGOS</b>	Mario Santizo, Herber Ríos, Ludwing Rodríguez, Jorge Erdmenger y Amilcar Figueroa por su amistad a toda prueba, consejos y apoyo en todo tiempo.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	I
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>FIGURAS</b>	III
<b>TABLAS</b>	VII
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	IV
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XV
<b>OBJETIVOS</b>	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIX
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES</b>	1
1.1 Marco Teórico	1
1.1.1 Reseña histórica sobre el acero	1
1.1.2 Usos del acero	3
1.1.3 Generalidades de las propiedades del acero para refuerzo	6
1.1.3.1 Módulo de elasticidad	9
1.1.3.2 Composición química de las barras de acero para refuerzo	11
1.1.4 Tipos de aceros	16
1.1.5 Grados del acero para refuerzo en Guatemala	20
1.1.5.1 Identificación de las marcas en las barras para refuerzo	24
1.1.6 Propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo	25
1.1.7 Proceso para obtención de acero en Guatemala	27

1.1.7.1	Tratamiento de chatarra en Guatemala	30
1.1.7.2	Laminación de barras y perfiles	31
1.1.8	Normas a cumplir en Guatemala	33
1.1.9	Normas utilizadas por fabricantes de barras de acero para refuerzo	34
1.1.10	Ensayos y cálculos de laboratorio	35
1.1.10.1	Ensayo de tensión en barras de acero para refuerzo	36
1.1.10.2	Cálculos de laboratorio	38
<b>2.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>41</b>
2.1	Determinación cuantitativa de la toma de muestras en el campo	41
2.2	Análisis estadístico de muestreo y resultados de laboratorio	43
2.3	Ensayo organoléptico del acero utilizado en construcción	43
2.4	Toma de muestras	45
2.5	Ensayo de muestras en el laboratorio	47
2.6	Determinación de la calidad de acero de la muestra en laboratorio	51
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>53</b>
3.1	Resultados obtenidos de ensayos en laboratorio	53
3.2	Tablas y gráficos de resultados	58
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>75</b>
4.1	Resultados del muestreo y el uso destinado para las construcciones en estudio	75
4.2	Resultados en barras de acero para refuerzo muestreadas	77
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>83</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>87</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Barra corrugada torcida	3
2	Tipos de corrugas en barras de acero para refuerzo	8
3	Curva típica de esfuerzo-deformación unitaria de los aceros para refuerzo	9
4	Espectrómetro de emisión óptica ARL 3460 B del laboratorio de SIDEGUA	14
5	Horno de acero de SIDEGUA visto desde el cuarto de control	14
6	Horno de arco eléctrico de la acería Allegheny Ludlum, Pennsylvania, EUA	15
7	Hierros angulares	19
8	Hierros tipo “U” y “T” sencilla.	19
9	Hierros en doble “T” de ala estrecha “I” y en doble T de ala ancha en “I”	20
10	Secciones de cables	20
11	Diagrama de tipo de corrugas según norma COGUANOR NGO 36011	22
12	Ángulos mínimos de corrugaciones según norma COGUANOR NGO 36011	22
13	Dirección de corrugas de acuerdo al ángulo según norma COGUANOR NGO 36011	23
14	Marcaje según Aceros de Guatemala	24
15	Marcaje según Aceros Suárez	25

16	Curva de cedencia del acero	26
17	Curva de esfuerzo–deformación del acero para refuerzo	26
18	Chatarra No. 1 de alta densidad	28
19	Chatarra No. 2 de baja densidad	28
20	Chatarra No. 3 de muy baja densidad	28
21	Horno de cucharón de fábrica de acero en Chicago, EUA	29
22	Máquina de colada continua de SIDEGUA	29
23	Diagrama de fabricación de palanquilla	30
24	Vista general del proceso de laminado	32
25	Detalle del proceso de laminado	32
26	Enfriamiento	33
27	Proceso de empacado de SIDEGUA	33
28	Almacenamiento de barras de acero de SIDEGUA	33
29	Máquina Universal del CII ensayando a tracción	37
30	Obra típica para toma de muestras	44
31	Almacenamiento de barras de acero en obra en lugares de muestreo	44
32	Medición de barras de acero para muestra en lugares de muestreo	46
33	Corte de barras de acero para muestra en sitios de muestreo	46
34	Pesaje de muestras en laboratorio del CII.	48
35	Medición de muestras con Vernier en laboratorio del CII	48
36	Marcaje de muestras para prueba de elongación en laboratorio del CII	49
37	Ensayo de tensión de muestras en la Máquina Universal del laboratorio del CII	49
38	Escala para lectura de la Máquina Universal en ensayo de tensión, laboratorio del CII	50

39	Detalle de falla a tensión en muestra en el laboratorio de CII	50
40	Lectura de elongación al 20% luego de ensayo en laboratorio de CII	50
41	Lectura de la elongación al 20% con el extensómetro, luego de ensayo en laboratorio de CII	50
42	Zonas de muestreo del área urbana del municipio de Mixco	58
43	Ubicación de muestreo por zonas del área urbana del municipio de Mixco	59
44	Uso de las construcciones muestreadas en el área urbana del municipio de Mixco	60
45	Cumplimiento de las muestras con el requisito de peso	61
46	Cumplimiento de las muestras con el requisito de diámetro	62
47	Cumplimiento de las muestras con el requisito de perímetro	63
48	Cumplimiento de las muestras con el requisito de área	64
49	Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo de fluencia en general	65
50	Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo máximo en general	65
51	Cumplimiento de las muestras con los requisitos de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general	67
52	Cumplimiento de las muestras con el requisito de alargamiento del 20%	68
53	Diámetros nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas	69
54	Grados nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas	70
55	Cumplimiento de las muestras con el requisito de características físicas	71

56	Cumplimiento de las muestras con el requisito de propiedades mecánicas	72
57	Cumplimiento de las muestras con los requisitos de características físicas y propiedades mecánicas	73
58	Origen de las barras de acero para refuerzo muestreadas en el municipio de Mixco	74

## TABLAS

I	Propiedades físicas y químicas del acero para refuerzo	7
II	Puntos de la típica curva de esfuerzo-deformación unitaria de los aceros para refuerzo	10
III	Elementos que pueden formar parte de la aleación de las barras de acero para refuerzo	12
IV	Clasificación del acero por grado según sistemas de medida	16
V	Tipos de aceros	17
VI	Contenidos de las normas que aplican en Guatemala para fabricación de barras de acero	34
VII	Normativas aplicadas a la fabricación de barras de acero para refuerzo según CONGUANOR	35
VIII	Fórmulas de cálculos para determinar la tensión de barras acero para refuerzo	39
IX	Resultados de pesaje y mediciones de 51 muestras hechos en el laboratorio del CII	54
X	Resultados de 51 ensayos y cálculos efectuados en el laboratorio del CII	55
XI	Normas COGUANOR y ASTM requeridas para barras de acero para refuerzo de las características físicas	57
XII	Normas COGUANOR y ASTM requeridas para barras de acero para refuerzo de las propiedades mecánicas	57
XIII	Zonas de muestreo del área urbana del municipio de Mixco	58

XIV	Ubicación de muestreo por zonas del área urbana del municipio de Mixco	59
XV	Uso de las construcciones muestreadas en el área urbana del municipio de Mixco	60
XVI	Cumplimiento de las muestras con el requisito de peso	61
XVII	Cumplimiento de las muestras con el requisito de diámetro	62
XVIII	Cumplimiento de las muestras con el requisito de perímetro	63
XIX	Cumplimiento de las muestras con el requisito de área	64
XX	Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo de fluencia en general	65
XXI	Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo máximo en general	66
XXII	Cumplimiento de las muestras con los requisitos de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general	67
XXIII	Cumplimiento de las muestras con el requisito de alargamiento del 20%	68
XXIV	Diámetros nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas	69
XXV	Grados nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas	70
XXVI	Cumplimiento de las muestras con el requisito de características físicas	71
XXVII	Cumplimiento de las muestras con el requisito de propiedades mecánicas	72
XXVIII	Cumplimiento de las muestras con los requisitos de características físicas y propiedades mecánicas	73
XIX	Origen de las barras de acero para refuerzo muestreadas en el municipio de Mixco	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<b>a. C.</b>	Antes de Cristo
<b>A</b>	Área
<b>Ae</b>	Área efectiva
<b>P</b>	Carga
<b>cm</b>	Centímetro (s)
<b>CII</b>	Centro de Investigaciones de Ingeniería
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b><math>\sigma</math></b>	Esfuerzo
<b>G 40, G 60</b>	Grado estructural de 40000 psi y 60000 psi respectivamente
<b>°C</b>	Grado (s) centígrado (s)
<b>gr</b>	Gramo (s)
<b>Fe</b>	Hierro (abreviatura del latín <i>ferrum</i> )
<b>AEF</b>	Horno de arco eléctrico (siglas en inglés de <i>Electric Arc Furnace</i> )
<b>LF</b>	Horno de cucharón (siglas en inglés de <i>Ladle Furnace</i> )
<b>kg</b>	Kilogramo (s)
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo (s) sobre centímetro (s) cuadrado (s)
<b>lb/pulg<sup>2</sup></b>	Libra (s) sobre pulgada (s) cuadrada (s)

<b>psi</b>	Libra sobre pulgada cuadrada (siglas en inglés para <i>Pound Square Inch</i> )
<b>l</b>	Longitud
<b>MCC</b>	Máquina de Colada Continua
<b>mu</b>	Masa unitaria
<b>Mp</b>	Mega Pascales
<b>m</b>	Metro (s)
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro (s) cuadrado (s)
<b>mm</b>	Milímetro (s)
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro (s) cuadrado (s)
<b>Es</b>	Módulo de Young
<b>NGO</b>	Norma Guatemalteca Obligatoria
<b>No.</b>	Número de la barra de acero
<b>π</b>	Pi = 3.1416
<b>%</b>	Por ciento
<b>”</b>	Pulgada (s)
<b>fy</b>	Resistencia de fluencia del acero
<b>fu</b>	Resistencia última del acero
<b>R</b>	Ribetes en centímetros
<b>SIDEGUA</b>	Siderúrgica de Guatemala
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Medidas
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (siglas en inglés)
<b>Σ</b>	Sumatoria



## GLOSARIO

<b>Acero refractario</b>	Son aceros cuyos componentes principales son: cromo, níquel, y silicio. Se usa en temperaturas mayores de 1200 grados centígrados.
<b>Aleación</b>	Es una mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos.
<b>Austenita o austerita</b>	Es una forma de ordenamiento distinta de los átomos de hierro y carbón.
<b>Colada</b>	Acero producido en un solo ciclo en el proceso de fusión.
<b>Concreto reforzado</b>	Es la combinación de un concreto estructural o no con un refuerzo que usualmente son barras de acero con características adecuadas para poder trabajar conjuntamente.
<b>Cordón de separación</b>	También conocido como bigote o ribete es una vena continua y uniforme paralela al eje longitudinal de la barra.
<b>Corrugada</b>	Son las deformaciones en relieve (resaltadas o nervaduras), no paralelas al cordón de la barra, hechas con el objeto de aumentar su adherencia al hormigón.

<b>Diámetros nominales</b>	Son los números o diámetros convencionales con los se que identifica a las barras de acero.
<b>Ductilidad</b>	Es la propiedad que algunos materiales, como aleaciones metálicas o materiales asfálticos tienen, los cuales bajo la acción de una fuerza pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
<b>Dureza</b>	Propiedad mecánica de los materiales consistente en la dificultad que existe para poder rayar o crear marcas en la superficie del mismo, mediante penetración de una punta.
<b>Elasticidad</b>	Propiedad mecánica de los materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.
<b>Ensayo organoléptico</b>	Es todo aquel ensayo o prueba tendiente a conocer los caracteres del objeto ensayado, utilizando para tal efecto los sentidos humanos o instrumentos muy sencillos.
<b>Esfuerzo de compresión</b>	Es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o acortamiento en determinada dirección.
<b>Falla</b>	Es la pérdida de función de un material o elemento tanto por deformación (fluencia) como por separación de sus partes (ruptura o fractura).
<b>Fatiga</b>	Es la disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos.

<b>Fluencia o cedencia</b>	Fluencia o cedencia es la deformación brusca de una material sin incremento de la carga aplicada que se puede llegar a producir por ejemplo en un ensayo a tensión.
<b>Lote</b>	Es una cantidad determinada de barras del mismo acabado, diámetro y grado de acero, obtenida de una misma tanda de fabricación y que se somete a inspección como conjunto unitario.
<b>Resistencia de materiales</b>	Capacidad que tienen los materiales para soportar esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformación o deteriorarse.
<b>Tensión</b>	Fuerza interna conocida como tracción, que actúa por unidad de superficie y por lo general provoca elongaciones de los materiales sometidos a la misma.
<b>Marcaje</b>	Identificación indeleble en relieve de las barras de acero.
<b>Marco muestral</b>	El marco muestral es el mecanismo o material que permite delimitar o identificar en forma apropiada los elementos de una población.
<b>Masa unitaria</b>	Masa de una barra de acero de longitud unitaria.
<b>Mordazas</b>	Término con que se a los mecanismos usados para la sujeción de las piezas en la máquina universal.
<b>Perímetro nominal</b>	Son los perímetros convencionales con los se que identifican los diámetros de las barras de acero.
<b>Ribete</b>	También conocido como bigote, cordón de separación o ribete es una vena continua y uniforme paralela al eje

longitudinal de la barra.

**Tenacidad**

Energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones.

**Trefilación**

Es un proceso de deformación en frío que permite reducir el diámetro, sin generar viruta de los materiales metálicos de forma alargada y sección simétrica, cuya fabricación se haya originada en procesos de laminación.

**Troquelado**

Proceso de recorte y estampado en materiales como el acero.

**Varilla de hierro**

Nombre con el que comúnmente se le conoce en la jerga común o de la calle, a las barras de acero para refuerzo.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación verifica la calidad de las características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo utilizadas en construcciones con más 100.00 m<sup>2</sup> del área urbana en el municipio de Mixco, usadas para residencia o comercio.

El primer capítulo describe la historia de las barras de acero en la construcción, generalidades de sus propiedades, fabricación, controles y ensayos de laboratorio para determinar su calidad. El segundo, refiere la metodología del trabajo de campo y las pruebas fuera y dentro del laboratorio para determinar la calidad de las barras de acero de refuerzo. El tercer capítulo reúne en tablas y gráficas los resultados del muestreo, de los ensayos hechos en el laboratorio y de los cálculos posteriores; y el cuarto contiene el análisis de resultados.

Con el análisis de 51 muestras en el 91% de las zonas urbanas de Mixco, se determinó que el 75% de las barras de acero ensayadas presentan deficiencias en sus características físicas, siendo éstas: peso unitario, diámetro, perímetro y área, incidiendo en forma negativa en la seguridad estructural de las edificaciones. Contrario a lo anterior, las propiedades mecánicas: esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y alargamiento del 20%, la mayoría de muestras sí cumplen con lo establecido a las normas. Al considerar tanto las características físicas, como las propiedades mecánicas sólo un 25% de las muestras ensayadas sí cumplió con las normas.

Respecto del grado estructural utilizado en el lugar de muestreo se determinó que 80% son del grado 40, el 6% son del grado 60 y 14% están fuera de rango, este último resultado incluye acero comercial o barras de acero que no cumplen con lo normado.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Caracterizar las barras de acero para refuerzo utilizadas en las construcciones de viviendas unifamiliares y de uso comercial en el área urbana del municipio de Mixco, haciendo énfasis en los parámetros que determinan la resistencia, comportamiento del material por medio de ensayo de muestras extraídas en lugares de construcción y verificar la utilización de aceros que cumplan con los parámetros de calidad que establecen las normas y reglamentos constructivos.

### **ESPECÍFICOS**

1. Analizar la diferencia entre las resistencias real y nominal de los aceros.
2. Llevar a cabo un análisis estadístico de los resultados de los ensayos realizados, con los diferentes diámetros de barras de acero indicando el origen de las mismas.
3. Realizar un estudio bibliográfico con el cual se pueda recopilar información sobre la composición química y requerimientos de COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) y de la ASTM

(Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, de las siglas en inglés de *American Society for Testing and Materials*), sobre los valores mínimos de resistencia y ductilidad.

4. Establecer los tipos de acero para refuerzo que se utilizan en las construcciones de tipo comercial y vivienda unifamiliar.



## INTRODUCCIÓN

Las barras de acero utilizadas en las construcciones son seleccionadas por requerimientos de la estructura o edificación, las cuales demandan exigencias de resistencia, ductilidad, durabilidad y precio.

En el desarrollo del trabajo de graduación se verifican las características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo utilizado en construcciones en el área urbana del municipio de Mixco, mediante un estudio experimental de ensayos a tracción de los diferentes diámetros de varillas de acero, que cumplan con los parámetros de calidad establecidas en el país.

Guatemala por ser una zona de alto riesgo sísmico requiere que el acero cumpla con los requisitos de ductilidad, haciendo énfasis en la plataforma plástica que presenta la gráfica de esfuerzo-deformación, que requiere la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), en función de verificación cuantitativa de la utilización de aceros que cumplan con especificaciones de calidad.



# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1 Marco teórico**

### **1.1.1 Reseña histórica sobre el acero**

El acero utilizado para la construcción, tal como se le conoce ahora, ha tenido una evolución interesante a lo largo de la historia de la humanidad; aunque su uso original no fue para construcción. Sus orígenes dieron la pauta para llegar a emplearlo ahora como barras de acero para refuerzo (CAPSA, 2000); o varillas de hierro, como comúnmente se le denomina en la jerga del sector construcción en Guatemala, aunque barras de acero para refuerzo es el nombre técnico correcto.

Se desconoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado. Se estima que la primera pieza hecha de acero data del año 4000 a. C., la cual correspondió a un utensilio para cocina que fue encontrado en la región de Anatolia (región del Oeste asiático, en lo que hoy se conoce como Turquía). Después de esa época se emplearon adornos de hierro y los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a. C. Los griegos hacia el 1000 a. C. ya conocían la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico (CAPSA, 2000).

Según indica McCormac (2002:4), los primeros usos de alguna clase de acero o similar en la construcción, junto con concreto no son bien conocidos. Muchos de los trabajos iniciales fueron hechos por los franceses Joseph – Louis

Lambot (1814-1887) y Joseph Monier (1823-1906). Para 1850, Lambot terminó de construir un bote de concreto reforzado con una red de alambres o barras paralelas. Sin embargo, se le acredita a Monier la invención del concreto reforzado. En 1867 él recibió una patente para la construcción de receptáculos de concreto reforzado con una malla de alambre de hierro. Su meta al trabajar con ese material era obtener una bajo peso sin tener que sacrificar resistencia.

Entre 1867 a 1881 Monier recibió patentes para la fabricación de durmientes, losas de piso, arcos, puentes peatonales, edificios y otros elementos de concreto reforzado en Francia y en Alemania. Paralelamente, otro francés llamado François Coignet construyó estructuras simples de concreto reforzado y desarrolló métodos básicos de diseño. En 1861 Coignet publicó un libro en el que presentaba un buen número de aplicaciones. Fue la primera persona en darse cuenta que la adición de mucha agua a la mezcla de concreto reducía considerablemente la resistencia del mismo (McCormac, 2002:5).

William E. Ward construyó en 1875 el primer edificio de concreto reforzado en Estados Unidos en Port Chester, Nueva York. En 1,883 Ward presentó una disertación sobre el concreto reforzado ante la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME por sus siglas en inglés) donde afirmó haber obtenido la idea del concreto reforzado, al observar a trabajadores ingleses en 1867 intentando limpiar el cemento endurecido de sus herramientas de hierro (McCormac, 2002:5).

Se cree que E.L. Ransome, de San Francisco, California, Estados Unidos, usó concreto reforzado en los primeros años de la década de 1870 y se le considera el inventor de las barras corrugadas, para las que obtuvo una patente en 1884 (Figura 1). Estas barras, que eran cuadradas en su corte transversal, se torcían en frío con una vuelta completa a una longitud de no más

de 12 veces el diámetro de la barra. El propósito de torcerlas era proporcionar mejor adherencia entre el concreto y el acero (McCormac, 2002:5).

**Figura 1. Barra corrugada torcida**



Fuente: James, et.al., 1912

En 1890 Ransome construyó el museo Leland Stanford Jr en San Francisco, California, Estados Unidos. Se trata de un edificio de concreto reforzado de 95.10 m de largo y 2 pisos de altura en el que se usó como refuerzo de tensión el alambre de los cables de desecho del sistema de tranvías. Este edificio sufrió pocos daños en el terremoto de 1906 en San Francisco, California, el cual se estima que tuvo una magnitud aproximada entre 7.7 y 8.3 grados en la escala de Richter (McCormac, 2002:6); lo cual pone en evidencia la resistencia que el acero proporciona en las construcciones.

### **1.1.2 Usos del acero**

El uso del acero en la vida cotidiana es diversa, tanto que no se puede concebir una sociedad humana moderna sin este material, como ejemplos se puede mencionar: la estructura de la pirámide del museo de Louvre, las latas de conserva, las plataformas petroleras, las cámaras catalíticas, los clips de las oficinas, y los soportes de los circuitos integrados, todos los objetos anteriores mencionados, son de acero (Metal Deck, 2004:45).

De acuerdo con Metal Deck (2004:46), el acero está en el origen de infinidad de productos elaborados por la industria humana, desde el objeto más corriente hasta el instrumento más sofisticado, algunos ejemplos van desde lo microscópico (piezas menores de un gramo en los micro motores de relojes eléctricos) hasta lo gigantesco (cubas de metanero, capaces de alojar el volumen del Arco del Triunfo en París).

En general, en la construcción el acero puede tener múltiples usos y de acuerdo a la carga que soporta, se clasifica en: acero estructural (refuerza losas, columnas, cimientos, postes y puentes, entre otros) y acero no estructural (empleado en elementos de construcción que no soportan mucha carga y en ornamentos decorativos) (Metal Deck, 2004:46).

El acero estructural o acero para refuerzo también es empleado para armar el hormigón, para reforzar tuberías que transportan agua, gas u otros fluidos. Permite igualmente formar el armazón de edificios, sean éstos de oficinas, escuelas, fábricas, residenciales o polideportivos. Y también revestirlos en fachadas y tejados. El acero resulta ser el elemento esencial en la construcción de un proyecto de infraestructura (Metal Deck, 2004:46).

El sector automovilístico constituye el segundo mercado de acero, después de la construcción, que incluye las obras públicas. En los automotores el acero representa entre el 55 al 70% del peso de un automóvil distribuido en el chasis y carrocerías, piezas de motor, de la dirección o de la transmisión, instalaciones de escape, aros de llantas, etc. En lo cotidiano numerosos envases son fabricados a partir de hojas de acero revestidas en ambas caras de una fina capa de estaño que les hace inalterables. Este tipo de acero fue denominado durante largo tiempo “hierro blanco” (debido al color blanco del estaño). Los aceros para envase se convierten en latas de conserva o de

bebidas y también en botes de aerosol para laca, tubos para lápices labiales, botes, y latas o bidones para pinturas, grasas, disolventes u otros productos que requieren un medio hermético de conservación (Metal Deck, 2004:48).

Para conservas de alimentos se utiliza el acero no aleado llamado “al carbono” porque requiere una protección contra la corrosión brindada ya sea por una capa de zinc y pintura para las carrocerías de automóvil, o una capa de estaño y barniz para las latas de conserva o de bebidas. El acero inoxidable, consiste en acero aleado con níquel y cromo, que así puede permanecer desnudo y resulta ser totalmente inalterable; se utiliza en platos, cazos, y cuberterías. Otras ventajas del acero inoxidable son que resiste indefinidamente al agua y a los detergentes, es perfectamente sano y no altera ni el sabor ni el color de los alimentos (Metal Deck, 2004:48).

En las comunicaciones, el acero es utilizado para los componentes electrónicos empleados en la informática o en las telecomunicaciones, así como los elementos funcionales del tubo que proyecta los colores en los televisores. En todo caso, son piezas delicadas con exigencias particulares, por ello, se fabrican en aleaciones adaptadas específicamente al tipo de objeto a producir. Para la generación de energía el petróleo y la industria nuclear requieren infraestructuras, equipos y redes de conductos de fluidos muy específicos. El acero se muestra como un material clave en este mundo que, como la industria química, debe hacer frente a numerosos desafíos: medios altamente corrosivos, altas temperaturas y condiciones mecánicas sumamente exigentes (Metal Deck, 2004:48).

En el sector salud se emplea el acero porque es inalterable y perfectamente neutro, por lo que de cara a los tejidos humanos el acero inoxidable es idóneo para convertirse en prótesis de caderas, rótulas, tornillos,

bisturís, y hasta agujas desechables, que se fabrican a partir de una hoja de acero inoxidable de 0.15 a 0.45 mm de grosor (Metal Deck, 2004:48).

De la anterior clasificación se puede observar la variada cantidad de usos del acero, de los cuales, la manufactura de las barras de acero para refuerzo, llamadas varillas de hierro en Guatemala, es la que interesa en este estudio.

### **1.1.3 Generalidades de las propiedades del acero para refuerzo**

En las construcciones, la ductilidad del acero (generada por medio de la formación de articulaciones plásticas) es necesaria para disipar la energía que se produce durante un sismo, por ello se requiere que dicho acero cumpla con los estándares de manufactura dados por los códigos de manufactura industrial de los mismos.

De acuerdo con Nawy (1988:62), el acero para refuerzo es el componente que en construcción trabaja a tensión en el concreto reforzado, esto se debe a que el concreto es fuerte en compresión, pero débil en tensión. Algunas veces se utiliza refuerzo adicional de acero para fortalecer la zona de compresión de las secciones de las vigas de concreto. Este acero es indispensable para construcciones que soportarán cargas grandes, a fin de reducir las deformaciones a largo tiempo.

El acero para refuerzo empleado con el concreto consiste en barras, alambres y mallas de alambres soldados, los cuales se fabrican de acuerdo con las normas de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Las propiedades físicas y mecánicas más importantes del acero para refuerzo, consideradas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) son (Tabla I):



**Tabla I. Propiedades físicas y químicas del acero para refuerzo**

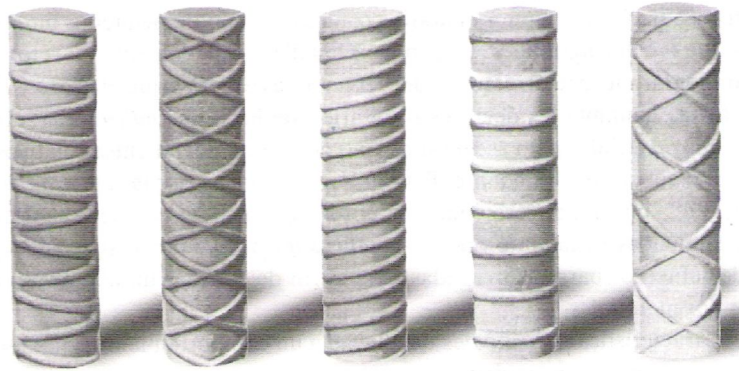
Características físicas	Propiedades mecánicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masa unitaria</li> <li>▪ Diámetro</li> <li>▪ Área de la sección transversal</li> <li>▪ Perímetro</li> <li>▪ Espaciamiento promedio</li> <li>▪ Ancho máximo de separación entre extremos de corrugaciones</li> <li>▪ Altura de corruga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Punto de fluencia</li> <li>▪ Carga de fluencia</li> <li>▪ Carga máxima</li> <li>▪ Máxima resistencia a la tensión</li> <li>▪ Elongación</li> <li>▪ Módulo de Young, Es</li> <li>▪ Resistencia de fluencia, fy</li> <li>▪ Resistencia última, fu</li> <li>▪ Designación del grado de acero</li> <li>▪ Tamaño y diámetro de la varilla o alambre</li> </ul>

Fuente: COGUANOR, 2005 y Nawy, 1988

Según Nilson (2004:51), para lograr una acción efectiva del refuerzo es esencial que el acero y el concreto se deformen en forma conjunta, es decir, es necesario que haya una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales para asegurar que no ocurrirán movimientos relativos entre las barras de acero para refuerzo y el concreto circundante. Esta unión se produce por la fuerte adhesión química que se desarrolla en la interfase acero–concreto, dada por la rugosidad natural de la superficie de las barras para refuerzo laminadas en caliente y por los resaltes superficiales que se forman en las barras para refuerzo (barras corrugadas) con el fin de proveer un alto grado de trenzado entre los materiales.

Los tipos más comunes de barras de acero para refuerzo están determinados por el diámetro de las mismas y normas de la ASTM y la COGUANOR. En Guatemala, según estas normas, las barras deben cumplir con requisitos de corrugación y con sus diámetros en pulgadas (Figura 2), los cuales oscilan entre 3/8 de pulgada (denominadas barras No. 3) hasta 1 3/8 de pulgada (barras No. 11), 1 3/4 de pulgada (barras No. 14) y 2 1/8 de pulgada (barras No. 18) (ANEXOS, página 87).

**Figura 2. Tipos de corrugas en barras de acero para refuerzo**



Fuente: Nilson, 2004

Las características adicionales del acero para refuerzo que llevan a un comportamiento conjunto acero–concreto son las siguientes (Nilson, 2004:51):

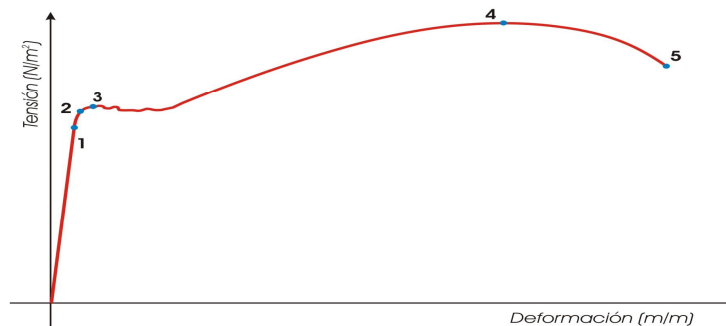
- Los coeficientes de expansión térmica son muy similares, esto ayuda a que no se agrieten y a evitar otros defectos no deseables ocasionados por las deformaciones térmicas diferenciales.
- La resistencia a la corrosión del acero descubierto es pobre por lo que el concreto que rodea el acero para refuerzo provee una excelente protección, minimizando los problemas de corrosión y los correspondientes costos de mantenimiento.
- La resistencia al fuego del acero desprotegido se ve empeorada por su alta conductividad térmica y porque su resistencia disminuye considerablemente a altas temperaturas. Por el contrario la conductividad térmica del concreto es relativamente baja. De esta forma, los daños producidos por la exposición prolongada al fuego son limitados a la superficie exterior del concreto, no así al acero.

### 1.1.3.1 Módulo de elasticidad

Las características principales características que determinan los rasgos de una barra de acero para refuerzo son su punto de fluencia y su módulo de elasticidad ( $E_s$ ). Este último prácticamente es el mismo para todos los aceros para refuerzo y se toma como  $E_s = 29,000,000 \text{ lb/pulg}^2$ . Adicionalmente, la forma de la curva típica de esfuerzo–deformación unitaria de los aceros para refuerzo (Figura 3), y en particular la curvatura del tramo inicial, tiene una influencia significativa en el comportamiento de elementos de concreto reforzado (Nilson, 2004:51).

Los cinco puntos críticos en la curva típica de esfuerzo-deformación unitaria describen el comportamiento de los aceros para refuerzo en ensayos experimentales (Tabla II).

**Figura 3. Curva típica de esfuerzo–deformación unitaria de los aceros para refuerzo**



Puntos críticos: (1) Límite de proporcionalidad, (2) Límite elástico, (3) Límite de fluencia o cedencia, (4) Punto de máxima tensión o carga máxima y (5) Tensión de rotura.

Fuente: Nilson, 2004

**Tabla II. Puntos de la típica curva de esfuerzo-deformación unitaria de los aceros para refuerzo**

<b>Punto crítico</b>	<b>Descripción</b>
<b>(1) Límite de proporcionalidad</b>	En el primer tramo del ensayo existe una relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación producida. Este coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material, así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. En esta zona se cumple la Ley de Hooke, donde la tensión es el resultado de multiplicar la elasticidad por la deformación unitaria, según la fórmula: Tensión ( $\sigma$ ) = Módulo de Young (E) * Deformación unitaria ( $\epsilon$ ).
<b>(2) Límite elástico</b>	Hasta antes de este punto, las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud. En el caso que se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. Pero a partir del punto 2, el material entra en la zona de deformación plástica, de forma que si se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera sólo parcialmente su forma, quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más usuales que en la zona elástica.
<b>(3) Límite de fluencia o cedencia</b>	A partir de este punto se produce una deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina formada, impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones, produciéndose la deformación bruscamente. No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.
<b>(4) Punto de máxima tensión o carga máxima</b>	Es el máximo de la gráfica de tensión–deformación, es decir, la máxima tensión que es capaz de soportar el material. A partir de este punto, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una evidente reducción de la sección de la probeta, denominada zona de estricción. Es en este punto a donde el material empieza lo que se denomina falla del mismo.
<b>(5) Tensión de rotura:</b>	En la zona de estricción, las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas rompiéndose la probeta de forma brusca.

Fuente: Nilson, 2004

### **1.1.3.2 Composición química de las barras de acero para refuerzo**

El acero es el resultado de la aleación del hierro (Fe), con contenidos de carbono (C) que varían entre 0.2% y 2.1%, y con distintos porcentajes de otros elementos. Aunque la composición química de cada fabricante de acero es casi secreta, ya que ellos solamente certifican a sus clientes la resistencia y dureza de los aceros que producen, sí se conocen los compuestos agregados y sus porcentajes admisibles (DIMM, 1999 y Galeano, 2010).

Entre los elementos que pueden estar aliados con el Fe y el C se encuentran el aluminio, el boro, el cobalto, el cromo, el estaño, el manganeso, el molibdeno, el nitrógeno, el níquel, el plomo, el silicio, el titanio, tungsteno o wolframio, vanadio y zinc (Tabla III) (SIDEQUA, 2007a).

Los porcentajes de cada uno de los elementos para la aleación de barras de acero para refuerzo, que pueden configurar un tipo determinado de acero, están regulados por las normas ASTM y COGUANOR. Para efectos de control de calidad en los elementos que componen el acero se hace análisis químico; que en el caso del laboratorio de la empresa Siderúrgica de Guatemala (SIDEQUA), empresa tomada como ejemplo, se emplea un espectrómetro de emisión óptica marca ARL 3460 B (Figura 4), en el cual se realizan los análisis de los elementos que interesan en la composición del acero, indicados anteriormente.

**Tabla III. Elementos que pueden formar parte de la aleación de las barras de acero para refuerzo**

<b>Elemento</b>	<b>Descripción relacionada con la aleación en las barras de acero para refuerzo</b>
<b>Aluminio (Al)</b>	Se utiliza como elemento de aleación en los aceros de nitruración (tratamiento termoquímico, en el que se modifica la composición del acero incorporando nitrógeno (N) por medio de calentamiento, en una atmósfera rica en nitrógeno; su objetivo principal es aumentar la dureza superficial de las piezas, además de aumentar su resistencia a la corrosión y a la fatiga), que suele emplear aproximadamente 1% de Al. Como desoxidante se usa frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. Todos los aceros contienen Al en bajos porcentajes, variables desde 0.001 a 0.008%.
<b>Boro (B)</b>	En cantidades del 0.001 al 0.0015% logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro y mejorando la templabilidad. El B es usado en aceros de baja aleación, en aplicaciones como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial. También es utilizado como trampa de N, especialmente en aceros para trefilación, para obtener valores de N menores a 80 ppm.
<b>Cobalto (Co)</b>	Elemento poco habitual en los aceros, es altamente endurecedor, disminuye la templabilidad, mejora la dureza en caliente y aumenta las propiedades magnéticas de los aceros. El Co se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. También se utiliza para aceros refractarios.
<b>Cromo (Cr)</b>	Elemento comúnmente empleado para la fabricación de aceros aleados, se usa indistintamente en los aceros de construcción, en aceros de herramientas, en los inoxidable y los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0.30% a 30%, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y la oxidación (con concentraciones superiores al 12%). Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidable y refractarios; también se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos y ejes.
<b>Estaño (Sn)</b>	Se utiliza para recubrir láminas muy delgadas de acero que conforman la hojalata.
<b>Manganeso (Mn)</b>	Aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade para neutralizar la perniciosa influencia del azufre (S) y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El Mn actúa también como desoxidante y evita, en parte, que durante la solidificación del acero se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material. Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981° C aprox.) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden; y al encontrarse contorneando los granos de acero, crean zonas de debilidad, y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación. Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el Mn no es elemento fundamental, suelen contener porcentajes de manganeso variables de 0.30 a 0.80%.

Fuente: SIDEQUA, 2007a

### Continuación Tabla III.

Elemento	Descripción relacionada con la aleación en las barras de acero para refuerzo
<b>Molibdeno (Mo)</b>	Elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidable auténticos contienen Mo para mejorar la resistencia a la corrosión.
<b>Nitrógeno (N)</b>	Se agrega a algunos aceros para promover la formación de austerita o austenita.
<b>Níquel (Ni)</b>	Una ventaja del empleo del Ni es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que produce en éstos gran tenacidad. Además el Ni hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos de estos aceros pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los aceros aleados con Ni se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias, que con los aceros al carbono o de baja aleación. En la actualidad se ha restringido su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para máquinas y motores de alta tecnología, se destacan sobre todo en los aceros Cr-Ni y Cr-Ni-Mo. El Ni es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidable y resistentes a altas temperaturas, en los que además de Cr se emplean porcentajes de Ni variables de 8 a 20%. El níquel es el principal formador de austerita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El Ni se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.
<b>Plomo (Pb)</b>	Este elemento realmente no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado; lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, por ello se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maleabilidad. El porcentaje de Pb en los aceros oscila entre 0.15% y 0.30% debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0.5% debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente.
<b>Silicio (Si)</b>	Aumenta moderadamente la templabilidad, se usa como elemento desoxidante y aumenta la resistencia de los aceros bajos en C.
<b>Titanio (Ti)</b>	Se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura.
<b>Tungsteno o Wolframio (W)</b>	Forma con el Fe carburos muy complejos estables y durísimos, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas.
<b>Vanadio (V)</b>	Posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.
<b>Zinc (Zn)</b>	Elemento clave para producir chapa de acero galvanizado.

Fuente: SIDEQUA, 2007a

De acuerdo con SIDEGUA (2007b), durante el proceso de fundición del acero se envía muestras al laboratorio, mediante un tubo neumático, éstas son analizadas en el espectrómetro de emisión óptica (Figura 4) y los resultados se muestran en la pantalla de la computadora que existe en la cabina (Figura 5) del horno de fusión llamado horno de arco eléctrico (EAF siglas en inglés de *Electric Arc Furnace*) (Figura 6).

**Figura 4. Espectrómetro de emisión óptica ARL 3460 B del laboratorio de SIDEGUA**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 5. Horno de acero de SIDEGUA visto desde el cuarto de control**



Fuente: elaboración propia, 2009



**Figura 6. Horno de arco eléctrico de la acería Allegheny Ludlum, Pennsylvania, EUA**



Fuente: Palmer, 1941

Con base en los resultados de los análisis, el ingeniero de turno define el tipo de acero a fabricar, y en función de los requerimientos técnicos se adicionan ferroaleaciones u otros elementos y se disminuyen elementos nocivos como el fósforo (P) y el azufre (S), de tal forma que las barras de acero para refuerzo, fabricadas en la acería de SIDEGUA, localizada en Escuintla, Guatemala tengan la composición de elementos químicos requerida (Tabla V en Anexo). Durante el ensayo en el espectrómetro de emisión óptica se detecta la cantidad que existe de cada elemento, esto para determinar si la colada que se está llevando a cabo en ese momento pasa o no los límites requeridos de P y S, hasta el punto que, si su concentración se excede por mucho y no se pueden eliminar, es posible que se llegue a perder la colada en mención (SIDEGUA, 2007b).

#### 1.1.4 Tipos de aceros

Las características de resistencia y demás propiedades del acero y de los elementos para aleación dan como resultado diferentes tipos de acero que son usados en la industria y en la construcción. En general, se puede decir que los aceros se pueden clasificar en aceros forjados, aceros estructurales que incluye tres grados, según el límite de fluencia mínimo (Tabla IV), aceros al carbón ordinarios y otros productos ferrosos, así como semi-productos, hierros elaborados, perfiles laminados y cables (Tabla V) (Hornbostel, 2002:68).

**Tabla IV. Clasificación del acero por grado según sistemas de medida**

<b>Sistema Internacional de Medidas (SI) dado en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Sistema Inglés dado en miles de lb/pulg<sup>2</sup></b>
Grado 280	Grado 40
Grado 414	Grado 60
Grado 517	Grado 75

Fuente: COGUANOR, 2005

**Tabla V. Tipos de aceros**

<b>Tipo de acero</b>	<b>Descripción</b>
<b>Aceros forjados</b>	Se puede decir que la forja es una manera de dar forma a los metales por medio de esfuerzos de compresión y tracción cuando son maleables o dúctiles, en frío o caliente, al usar martillos, prensas o martinets. Los aceros usados para la forja tienen generalmente las siguientes características: C 0.25-0.35%, Mn 0.35-0.50%, Si 0.10-0.30%, S < 0.06%, P < 0.04%, rotura de tracción 40-60 kg/mm <sup>2</sup> , alargamiento 20% y dureza Brinell 130.
<b>Aceros estructurales</b>	<p>Las clasificaciones generales los agrupan en la actualidad en cuatro categorías principales y algunas tienen subdivisiones.</p> <p>Los aceros que utilizan el carbono como elemento principal en la aleación se denominan aceros estructurales al carbono, entre este grupo están los aceros al carbono con baja aleación. A fin de ofrecer mayores resistencias que los aceros comunes al carbono, los aceros con bajo contenido de aleación tienen cantidades moderadas de uno o más elementos de aleación, aparte del carbono.</p> <p>Las designaciones de las normas de la ASTM sirven para clasificar los aceros según variables de producción como proceso, contenido químico y tratamiento térmico, así como mínimos de rendimiento en propiedades de tracción y dureza.</p> <p>El agrupamiento por resistencia al límite de fluencia puede establecerse mediante otro sistema de clasificación. De los requisitos de la ASTM para acero estructural (para hacer refuerzo y anclajes) se clasifican los aceros para refuerzo para concreto de barras grado 40 y 60, siendo los más usados, aunque existen los de grado 75 que son reguladas por la norma ASTM A615, que son las de interés en este estudio.</p>
<b>Aceros al carbón ordinarios</b>	<p>Los aceros al carbono constituyen el grupo más importante de materiales utilizados en la ingeniería y en la industria. De hecho, las propiedades mecánicas de esos aceros simplemente al carbón, sin ningún elemento de aleación, y en la mayoría de los casos también sin ningún tratamiento térmico, son suficientes para atender la mayoría de las aplicaciones.</p> <p>Como se sabe, los estados normales de utilización de estos materiales son el acero fundido y el acero trabajado. Las piezas fundidas, generalmente requieren un tratamiento térmico de recocido o normalizado para alivio de las tensiones originadas en las solidificaciones y para homogeneización de la micro-estructura.</p> <p>El acero trabajado por forjado, laminación, estiramiento, trefilación, etc., es utilizado directamente en la forma de perfiles obtenidos a través de esos procesos, sin necesidad de tratamientos térmicos complejos, a no ser en los casos de trabajo final en frío, cuando es necesario eliminar el efecto de enfriamiento.</p>

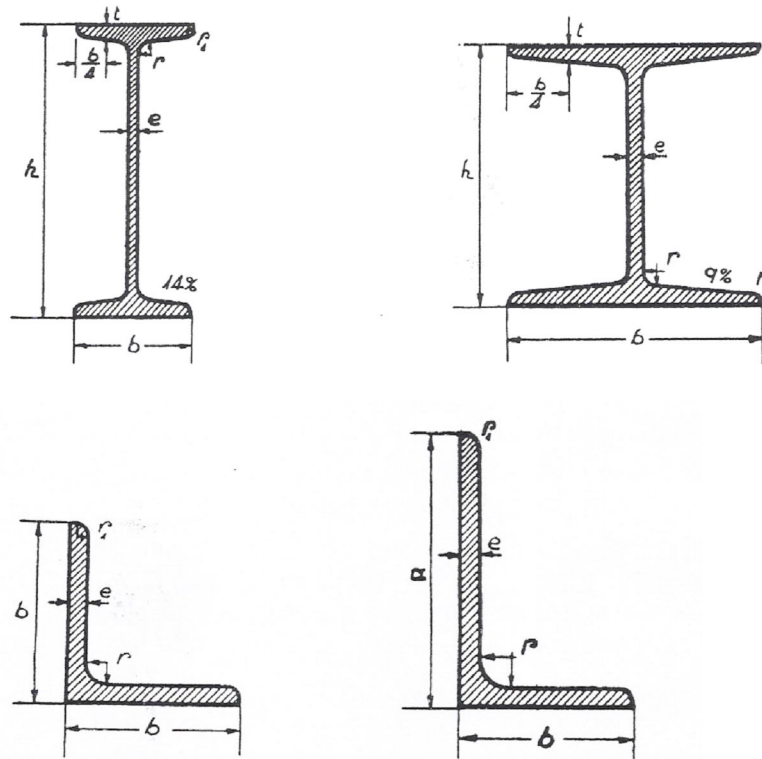
Fuente: Hornbostel, 2002

## Continuación Tabla V.

Las fábricas clasifican los hierros y aceros en semi-productos cuando no han sido trabajados (lingotes, tochos, palanquillas); y en hierros elaborados, así como los perfiles, chapas, y roblones.		
Semi-productos	Hierros elaborados	Otros
<p><b>Lingotes de acero:</b> bloques de forma piramidal tal y como se obtienen en las lingoterías, no habiendo sufrido ninguna elaboración. Se hacen desde 4 a 40 toneladas.</p> <p><b>Tochos:</b> bloques que han sufrido una laminación o forja de sección rectangular y aristas redondeadas, desde 130 x 130 a 340 x 340 y 550 x 210 mm de ancho y 5 a 50 mm de espesor.</p> <p><b>Palanquillas:</b> son barras de sección aproximadamente cuadrada, de aristas romas, de 50 a 120 mm de lado.</p>	<p><b>Fleje:</b> perfil plano de 4 mm de espesor y 200 mm de ancho.</p> <p><b>Pletina:</b> perfil de 4 a 10 mm de espesor y 200 mm de ancho.</p> <p><b>Llanta:</b> perfil rectangular de 4 a 100 mm de espesor y 200 mm de ancho.</p> <p><b>Plano ancho:</b> es aquel cuyo espesor es de 6 a 20 mm y el ancho de 200 a 600 mm y 12 m el largo máximo.</p> <p><b>Chapa negra:</b> perfiles planos que exceden de 600 mm de ancho. La chapa fina tiene espesores desde 0.4 a 2.7 mm; ancho de 1.25 m y largo de 2.5 a 5 m. La chapa mediana y gruesa tiene de 3 a 35 mm de grueso; ancho de 1 m hasta 2.6 m y longitud de 5 a 16 m.</p> <p><b>Chapa galvanizada lisa:</b> se obtienen revistiendo las chapas negras con zinc. Espesores desde 0.4 a 2.7 mm y dimensiones de 2 x 1 m.</p> <p><b>Chapa galvanizada ondulada:</b> destinada a cubiertas que tienen la ondulación en arco de parábola, fabricándose de una longitud de onda, altura y ancho útil siguiente: 76-24-60, 90-24-810, 105-23-840 y 130-35-780 mm. La longitud corriente es de 2 m y el espesor desde 0.6 a 2 mm.</p> <p><b>Hierros de sección circular:</b> entre ellos pueden estar los alambres, el fermachine, las barras o varillas y los redondos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Alambres:</b> &lt; 5 mm de diámetro.</li> <li>▪ <b>Fermachine:</b> 5 mm de diámetro.</li> <li>▪ <b>Barras o varillas:</b> 5 -20 mm de diámetro.</li> <li>▪ <b>Redondos:</b> &gt; 20 mm de diámetro. También se fabrican de sección hexagonal, octogonal, medios redondos y triangulares.</li> </ul>	<p><b>Perfiles laminados:</b> Se obtienen por laminación de aceros suaves soldables, designándose, además de la forma por números que indican su altura o ancho expresados en centímetros. Se fabrican con longitudes desde 4 a 16 m. Las formas más usadas son hierros angulares (Figura 7), hierros en U y en T sencilla (Figura 8), hierros en doble T de ala estrecha I y en doble T de ala ancha I (Figura 9).</p> <p><b>Cables:</b> cuerpos flexibles formados por la reunión de alambres alrededor de un alma de hierro dulce para constituir cordones y varios de éstos reunidos por torsión en forma de hélice integran los cables (Figura 10).</p>

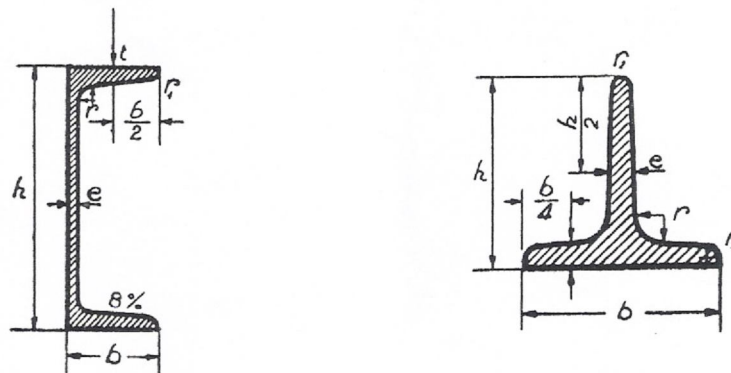
Fuente: Hornbostel, 2002

**Figura 7. Hierros angulares**



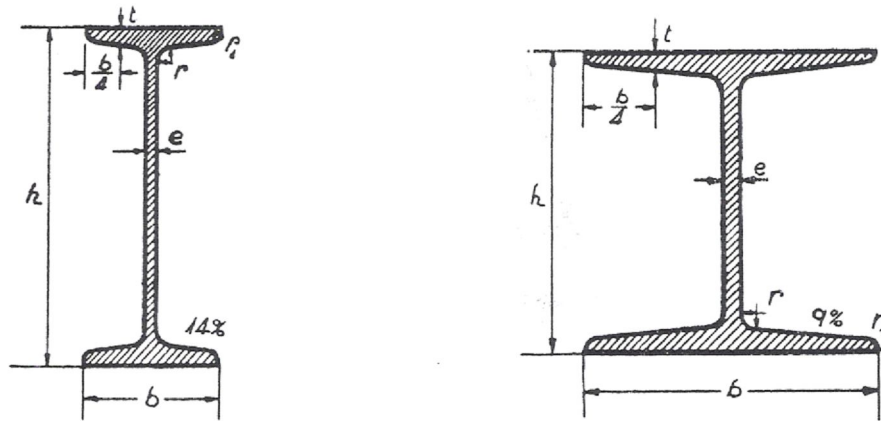
Fuente: Hornbostel, 2002

**Figura 8. Hierros tipo "U" y "T" sencilla**



Fuente: Hornbostel, 2002

**Figura 9. Hierros en doble “T” de ala estrecha “I” y en doble T de ala ancha en “I”**



Fuente: Hornbostel, 2002

**Figura 10. Secciones de cables**



Fuente: Hornbostel, 2002

### 1.1.5 Grados del acero para refuerzo en Guatemala

En Guatemala, las barras de acero para refuerzo se fabrican de las palanquillas que se obtienen del metal reciclado en plantas o acerías como SIDEGUA; las mismas deben cumplir con las normas que para su efecto han sido creadas. Hay varios tipos de barras de acero para refuerzo con designaciones de la ASTM y de la COGUANOR. En estas designaciones, el

grado de las barras está dado en los sistemas de medida Sistema Internacional (SI) y el Sistema Inglés. El grado del acero para refuerzo está determinado de acuerdo al límite de fluencia mínimo que tienen dichas barras, de tal forma que el punto de fluencia específico de 40,000 lb/pulg<sup>2</sup> corresponde al grado 40 en el Sistema Inglés y su equivalente en el SI de 280 kg/cm<sup>2</sup> o grado 280 (Tabla IV). Es de hacer notar que el acero de grado 75 o grado 517 es un acero considerablemente más caro y las barras No. 14 y 18 suelen ser de poca demanda, por lo que tienen que ser solicitadas especialmente a los fabricantes y no son usadas para el tipo de construcciones que se analizan en este estudio.

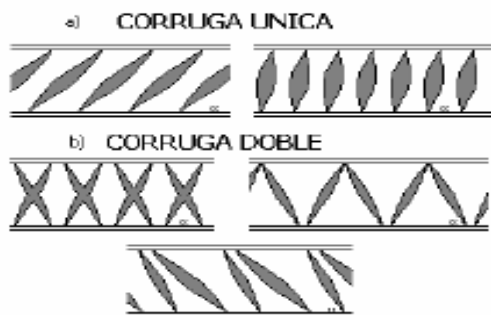
En relación al acabado, la COGUANOR estipula que las barras se clasifican como Clase 1 para barras de acero lisas y Clase 2 para barras de acero corrugadas. Dentro de las dimensiones que las barras de acero para refuerzo deben tener, según las normas de la COGUANOR están las medidas nominales del diámetro, de la masa por metro lineal y del área de la sección transversal. En cuanto a sus tolerancias de fabricación, están expresadas en función de la tolerancia por la masa de una barra considerada. De esta cuenta, la norma indica que para las barras de diámetro nominal de 9.53 mm (3/8") o mayores, se aceptará una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria de la barra. Se indica también en dicha norma que en ningún caso, una masa unitaria mayor que la especificada en la misma podrá ser causa de rechazo (COGUANOR, 2005:19/21).

La longitud de las barras de acero para refuerzo se suministra según la norma de la COGUANOR en longitudes de 6, 9 y 12 metros y se permiten tolerancias para las mismas no menores de -25 mm o no mayores de +50 mm, en la longitud en que se suministran las barras. Sobre las corrugaciones, la norma COGUANOR denominada Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO) 36011 indica que se tomará como corruga única aquella que presenta sólo un

tipo de nervadura respecto al eje longitudinal de la barra y como corruga doble aquella que tenga más de un tipo de nervadura respecto al eje de la barra (Figura 11). La norma señala también que toda aquella corruga que presente características especiales o diferentes a las descritas deben de ser aceptadas de manera contractual entre comprador y vendedor (COGUANOR, 2005:8/21).

Según esta norma, las corrugaciones de las barras deberán espaciarse a distancias uniformes y las de igual geometría serán similares en tamaño y forma, así también el espaciamiento promedio entre corrugaciones en cada lado de la barra no deberá exceder siete décimos del diámetro nominal de la barra. En cuanto al ángulo de las corrugaciones, dicha norma indica que las corrugaciones deberán localizarse con respecto al eje longitudinal de la barra, de tal forma que el ángulo no sea menor de 45° (Figura 12).

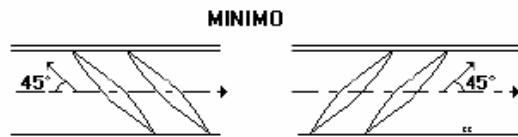
**Figura 11. Diagrama de tipo de corrugas según norma COGUANOR NGO 36011**



(a) Corruga única y (b) Corruga doble.

Fuente: COGUANOR, 2005

**Figura 12. Ángulos mínimos de corrugaciones según norma COGUANOR NGO 36011**



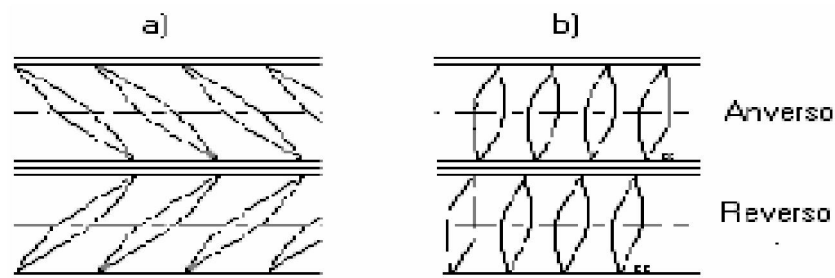
Fuente: COGUANOR, 2005

La norma determina que cuando las corrugaciones formen ángulos entre 45° y 75° inclusive, dichas corrugaciones deberán alternarse opuestas en



dirección a cada lado de la barra o bien, aquellas localizadas sobre un lado deberán ser en dirección inversa, con respecto a las localizadas sobre el lado opuesto (Figura 13), y cuando las corrugaciones formen ángulos mayores de 75° no se requerirá alternar en la dirección.

**Figura 13. Dirección de corrugas de acuerdo al ángulo según norma COGUANOR NGO 36011**



(a)  $45^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$     (b)  $75^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ .

Fuente: COGUANOR, 2005

Sobre la longitud total de corrugaciones, la norma COGUANOR indica que la longitud total de cada corrugación deberá ser tal que el espacio sin corruga entre los extremos de las corrugaciones no exceda del 12.5% del perímetro nominal de la barra. En el caso de barras con más de dos espacios sin corruga, el ancho total de los espacios sin corruga no deberá exceder del 25% del perímetro nominal de la barra, la altura promedio mínima de las corrugaciones así como de las longitudes totales están referenciadas por el diámetro (COGUANOR, 2005:8/21).

### 1.1.5.1 Identificación de las marcas en las barras para refuerzo

Es importante que los trabajadores que manipulan las barras de acero para refuerzo (en fábrica, al transportar y en obra) puedan ser capaces de identificar de un vistazo las dimensiones y grados de las barras. En caso que no sean capaces de hacerlo, por equivocación pueden utilizar barras más pequeñas y/o de menor grado que aquéllas que el diseñador señaló originalmente.

Para prevenir tales errores, las barras tienen marcas de identificación impresas en su superficie. Según las normas de la ASTM y la COGUANOR, cada barra deberá ser marcada por el fabricante por lo menos a cada metro de longitud de la misma en relieve o en otra forma clara e indeleble. Se puede utilizar una marca convencional común cuyo significado sea de conocimiento público y esté reconocida y autorizada por la entidad competente.

Las marcas describen la letra o símbolo del fabricante, el número con la designación o diámetro nominal de la barra y el grado y clase de barra (Figuras 14 y 15).

**Figura 14. Marcaje según Aceros de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 15. Marcaje según Aceros Suárez**



Fuente: elaboración Aceros Suárez, 2009

### 1.1.6 Propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo

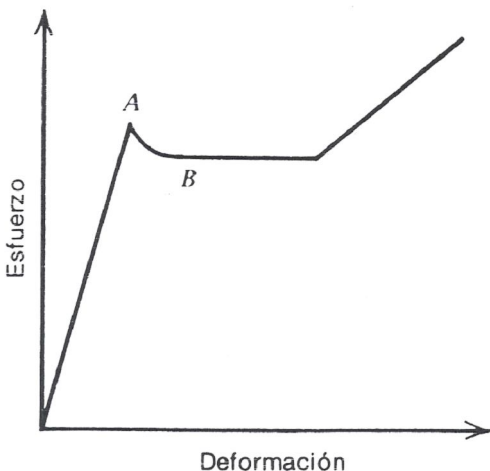
Entre las propiedades mecánicas de las barras corrugadas de acero para refuerzo están la resistencia (máxima resistencia a la tensión, límite de fluencia y porcentajes mínimos de elongación) y la cedencia (Park y Paulay, 1997:41):

- **Resistencia de las barras de acero para refuerzo:** la resistencia a la tensión se determina dividiendo la máxima carga que soporta una barra durante una prueba a tensión, entre el área nominal de la sección transversal de la misma. De esta cuenta, las normas de la ASTM y la COGUANOR indican que las barras de acero reforzado deben cumplir con los requisitos mínimos de la máxima resistencia a la tensión, el límite de fluencia y los porcentajes mínimos de elongación (ANEXOS, página 89).
- **Cedencia:** corresponde al esfuerzo en el punto de cedencia, también conocido como resistencia de cedencia. Ocasionalmente a la cedencia le acompaña una disminución abrupta en el esfuerzo, que puede ser graficada y mostrar la relación esfuerzo–deformación (Figura 16). En tal caso, a los esfuerzos en los puntos A y en B se les conoce como las

resistencias de cedencia superior e inferior respectivamente. La posición del punto superior de cedencia depende de la velocidad de la prueba, la forma de la sección y la forma de la muestra analizada. Por lo general se considera que la resistencia de cedencia inferior es la verdadera característica del material y se denomina simplemente como la resistencia de cedencia.

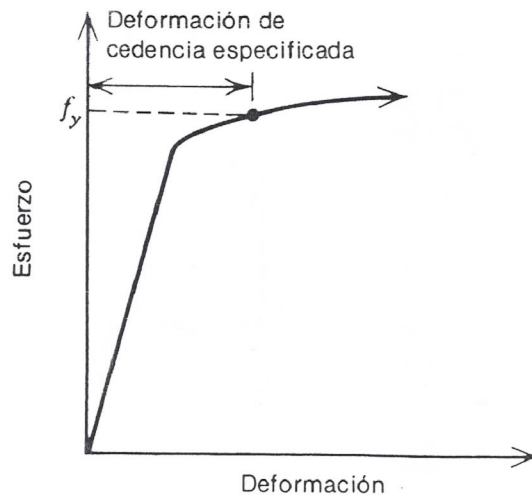
Para los aceros que no tienen una plataforma bien definida de cedencia, generalmente se considera la resistencia a la cedencia como el esfuerzo que corresponde a una deformación específica (Figura 17).

**Figura 16. Curva de cedencia del acero**



Fuente: Park, R. y Paulay, 1997

**Figura 17. Curva de esfuerzo – deformación del acero para refuerzo**



Fuente: Park. y Paulay, 1997

Por lo general, la longitud de la plataforma de cedencia es función de la resistencia del acero. Los aceros de alta resistencia con alto contenido de carbono generalmente tienen una plataforma más corta de cedencia que los aceros de menor resistencia y menor contenido de carbono. En forma

semejante, trabajaren frío el acero puede producir un acortamiento de la plataforma de cedencia, al grado tal que el endurecimiento por deformación comienza inmediatamente después de principiar la cedencia. Los aceros de alta resistencia también tienen una elongación previa a la fractura más pequeña que los aceros de baja resistencia (Park y Paulay, 1997:42).

### **1.1.7 Proceso para obtención de acero en Guatemala**

En Guatemala dos empresas tienen la producción y distribución del acero: Aceros Suárez y la Corporación Aceros de Guatemala (que incluye a SIDEGUA, Indeta y Distum). Se tomó esta última como ejemplo para describir el proceso para la obtención del acero, debido a que hasta el momento es la empresa productora de acero más grande del país y por las facilidades que ofreció para obtener datos para este estudio.

La obtención del acero en Guatemala se produce por medio del proceso de chatarra que es recolectada en la planta de SIDEGUA en Escuintla. Dicha chatarra es clasificada y cargada en un patio, por lo que la superficie total del mismo es grande, y situada fuera de la acerería. La chatarra que se usa para la fabricación de los diferentes tipos de acero se clasifica en chatarra No. 1, 2 y 3 de acuerdo a su densidad y contenido (Figuras 18, 19 y 20) (SIDEGUA, 2007b).

**Figura 18. Chatarra No. 1 de alta densidad**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

**Figura 19. Chatarra No. 2 de baja densidad**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

**Figura 20. Chatarra No. 3 de muy baja densidad**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

A su vez, para SIDEGUA (2007b) las chatarras No. 1 y 2 están clasificadas como chatarra de altos residuales, predominando en esto la No. 2, mientras que la chatarra No. 3 se clasifica como chatarra de bajos residuales.

En el predio de la fábrica de SIDEGUA se dispone de grúas aéreas llamadas “pórticos” para descargar y luego compactar la chatarra voluminosa, así como de grúas móviles para clasificar y descargar la chatarra en lugares apartados de la acería. Dentro de la acería, en la nave de chatarra preparada, hay dos grúas aéreas que llenan las cestas, una con una “garra” electrohidráulica para cargar piezas grandes y pesadas, y otra con un electroimán para cargar piezas pequeñas. Estas cestas son vaciadas en el horno EAF (Figura 6), el cual funde la chatarra y se eleva la temperatura utilizando tres quemadores de diesel, una lanza supersónica que inyecta oxígeno y tres electrodos de grafito que transmiten electricidad. Al alcanzar 1,600 °C se traslada el acero líquido al horno de cucharón (LF siglas en inglés de *Ladle Furnace*) donde se da el proceso de refinamiento, ajustando todos los elementos químicos acorde a la composición requerida (Figura 21).

Posteriormente, el acero líquido es procesado en la máquina de colada continua (MCC) (Figura 22), convirtiéndose en lingotes de acero sólido, los cuales se enderezan y cortan a la medida requerida para el proceso de laminación.

**Figura 21. Horno de cucharón de fábrica de acero en Chicago, EUA**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

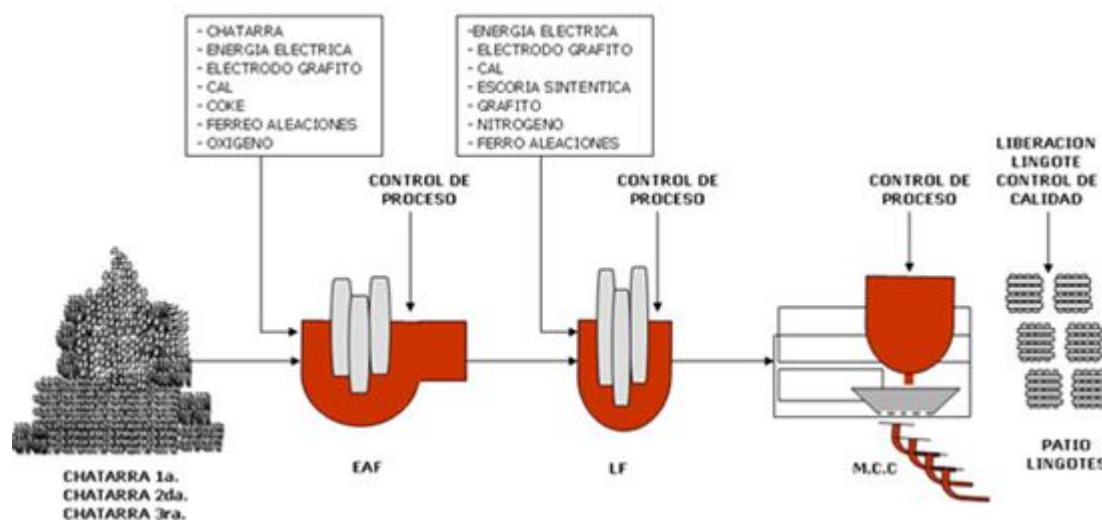
**Figura 22. Máquina de colada continua de SIDEGUA**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

Finalmente, los lingotes son enviados a patios abiertos para su enfriamiento y posterior traslado a las plantas de laminación. El proceso de fabricación descrito se puede resumir en un diagrama de cinco pasos (Figura 23).

**Figura 23. Diagrama de fabricación de palanquilla**



(EAF) Horno de Arco Eléctrico (LF) Horno de Cucharón (MCC) Máquina de Colada Continua.

Fuente: SIDEGUA, 2007b

### 1.1.7.1 Tratamiento de chatarra en Guatemala

Según SIDEGUA (2007b), el mercado nacional de chatarra es limitado en cuanto a calidad se refiere, sin embargo, con alguna frecuencia se puede contar con chatarra de buena calidad. Para su tratamiento, es importante conocer la clase de chatarra con que se cuenta y por ello en lo posible, es necesario clasificar la chatarra en: mermas del proceso de fundiciones y laminación, chatarra compactada (pacas), chicharrón, riel de ferrocarril, chatarra de troquelado, estructuras y misceláneas (chatarra de diferente clase).



Para hacer un uso racional de la materia prima es necesario analizar ciertos factores como la calidad del acero que debe producirse; misma que está definida por sus especificaciones químicas (porcentajes de cobre, níquel, cromo, molibdeno y estaño, o bien la suma de éstos). Otro factor a considerar son los contenidos máximos de fósforo y azufre en el acero, aunque éstos son escorificables durante el proceso, según sus condiciones preliminares implican un mayor tiempo de refinación. Si se consideran que el 100% de la chatarra tiene altos contenidos de estos residuales es necesario que desde la primera carga se adicione cal para formar una escoria que permitirá dosificar estos elementos (SIDEGUA, 2007b).

De esta forma se tiene una idea de que clase de residual se obtendrá al final del proceso de fusión y así se puede hacer una tabla con alternativas que permita establecer la carga de mejor calidad, de acuerdo con la existencia de chatarra y por ende una mejor calidad de acero a producir.

Para la elaboración de un buen acero es necesario un determinado tiempo de afino, por ello se necesita de fundentes tales como: cal y escorias sintéticas. Tales materiales son colocados en cestas, dependiendo de la cantidad y tipo de chatarra a cargar, para obtener un buen análisis de fin de fusión. Esto se hace para lograr el desequilibrio químico entre los óxidos de hierro disueltos en el acero y en la escoria, y también se logran azufres más bajos de fin de fusión (SIDEGUA, 2007b).

#### **1.1.7.2 Laminación de barras y perfiles**

De acuerdo a SIDEGUA (2007b), es un proceso que transforma palanquillas de acero en productos de diferentes formas, entre las que se encuentran las barras de acero para refuerzo. Dicho acero, se obtiene a través

de un proceso de transformación termodinámico llamado laminación en caliente donde se da forma al acero en una serie de perfiles normalizados (Figura 24).

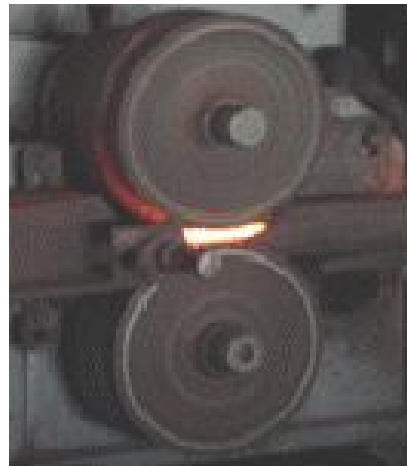
Esta transformación se realiza en cilindros de laminación (Figura 25), que ejercen fuerzas de compresión sobre el material calentado hasta 1200 °C, sucede deformación plástica, alargamiento del lingote y un ensanchamiento, que es restringido por los canales que se maquinan en los cilindros. Las dimensiones del acero que se consigue no tienen tolerancias muy ajustadas y por eso muchas veces a los productos laminados hay que someterlos a fases de mecanizado para ajustar su tolerancia (SIDEGUA, 2007b).

**Figura 24. Vista general del proceso de laminado**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

**Figura 25. Detalle del proceso de laminado**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

La laminación en caliente sucede luego de que el acero pasa por varios pasos de deformación, donde el endurecimiento del material por efecto del trabajo mecánico o acritud, es contrarrestado con el ablandamiento térmico del mismo. Para obtener las barras de acero para refuerzo se procede al enfriado al aire (Figura 26) y luego al corte conforme a las longitudes deseadas para obtener el producto final. Posteriormente se procede al proceso de empaque (Figura 27) y el marcaje por medio de pintura para registrar la fecha de

manufactura así como el etiquetado. Finalmente se almacenan las barras de acero (Figura 28) para su futuro transporte.

**Figura 26. Enfriamiento**



Fuente: SIDEGUA, 2007b

**Figura 27. Proceso de empacado de SIDEGUA**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 28. Almacenamiento de barras de acero de SIDEGUA**



Fuente: elaboración propia, 2009

### **1.1.8 Normas a cumplir en Guatemala**

Para regular la fabricación de barras de acero para refuerzo en Guatemala (en cuanto a las características físicas y mecánicas) se utilizan las normas ASTM A615/ A615M y la norma COGUANOR NGO 36011, esta última

toma de base las normas ASTM antes mencionadas (Tabla VI). Dichas normas rigen tanto las barras corrugadas como las barras lisas.

**Tabla VI. Contenidos de las normas que aplican en Guatemala para fabricación de barras de acero**

Norma COGUANOR NGO 36011	Norma ASTM A615
<p>Objeto de la norma, campo de aplicación, normas COGUANOR a consultar, definiciones o glosario, clasificación de las barras, materias primas y materiales constituyentes, especificaciones, verificación de las dimensiones y análisis químico, muestreo en la fabricación, métodos de prueba, marcado y bases de compra de las barras de acero, inspección y aceptación o rechazo según especificaciones de las barras de acero, almacenamiento y transporte, e informes de ensayos de barras de acero.</p>	<p>Alcance de la norma, documentos ASTM de referencia, terminología o glosario, orden de la información, composición química de las barras de acero, requerimientos para deformaciones, medidas de las deformaciones, requisitos para ensayo de tensión, requisitos para doblado de barras de acero, variación permisible en peso o masa, acabado de las barras, muestras para ensayo, número de ensayos, repetición de ensayos, inspección en la fabricación de barras de acero, rechazo en la fabricación de barras de acero, repetición de ensayos, reporte de ensayos, marcado de barras de acero y empaque de barras de acero.</p>

Fuente: COGUANOR, 2005 y 1999 respectivamente

### **1.1.9 Normas utilizadas por fabricantes de barras de acero para refuerzo**

Dentro de las normas utilizadas para la fabricación de barras de acero para refuerzo, la COGUANOR determina que aparte de la norma NGO 36011, aplican para la fabricación de barras de acero otras normas de la COGUANOR y algunas de la ASTM (Tabla VII).

**Tabla VII. Normativas aplicadas a la fabricación de barras de acero para refuerzo según CONGUANOR**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
87COGUANOR NGO 4010	Rige el SI, mismo que aplica a las normas COUGUANOR.
COGUANOR NGO 7005	Norma de métodos de prueba para ensayos de tensión de materiales metálicos, la misma no está en uso por no estar terminada, pero refiere que se puede usar en su defecto la norma ASTM E8-01.
88COGUANOR NGO 7011	Norma de terminología relacionada para métodos de ensayos mecánicos, no está en uso y en su defecto se usa la norma ASTM E6-99.
89COGUANOR NGO 7019	Indica las definiciones y procedimientos para pruebas mecánicas en productos de acero, no está en uso y en su defecto se usa la norma ASTM A370-97a.
COGUANOR NGO 7020	Clasificación y verificación de extensómetros, en su defecto se usa la ASTM E83-85.
COGUANOR NGO 36023	Métodos de embalaje, marcado y embarque de productos de acero, no está en uso esta norma y en su defecto se usa la norma ASTM A700-90.
ASTM A615	Norma a la que se rigen los fabricantes en Guatemala para fabricar barras de acero para refuerzo, en la misa se hace referencia a normas como: 92A6/A6M, A370, A510, A510M, A700, A706/A706M, E29; que sirven de base para la realización de la norma ASTM A615.
También hace referencia a la norma ASTM E83-85, A370-9a, norma española UNE 36-088-81 parte II, norma mexicana NMX-C407-ONNCCE-2001, norma internacional ISO 6935-2 <i>first edition</i> y norma COCUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC/17025:2000.	

Fuente: CONGUANOR, 2005

### **1.1.10 Ensayos y cálculos de laboratorio**

Los ensayos y pruebas de laboratorio que aplican para barras de acero para refuerzo son los ensayos de dureza, impacto, sección equivalente, adherencia y tensión; así como las pruebas, de densidad, corrugación, doblado simple y doblado desdoblado.

De acuerdo con Morales (2006) los ensayos y pruebas anteriores, el ensayo de tensión, según la norma CONGUANOR NGO 36011 y la norma de la ASTM A615 son los indicados para determinar el grado estructural de las barras de acero para refuerzo, esta prueba es realizada en laboratorios de pruebas del acero con equipo especializado para el efecto.

### **1.1.10.1 Ensayo de tensión en barras de acero para refuerzo**

Según las normas, para este ensayo se sigue el siguiente procedimiento, donde se usa una barra corrugada de acero de un metro de longitud, por cada 10 toneladas métricas o fracción de la producción. Las barras de acero son empleadas como refuerzo en el hormigón armado clasificando las barras en grados estructurales de acuerdo al límite de fluencia, esfuerzo máximo y las especificaciones de dicha norma (Morales, 2006:23).

Para realizar el ensayo de tensión de barras de acero para refuerzo se necesita maquinaria, equipo y materiales específicos (Morales, 2006:23):

- Cinta métrica graduada en milímetros
- Vernier o calibrador digital
- Balanza con capacidad de 20 kg y aproximación de  $\pm 0,5$  gr
- Punzón de 2" (aproximadamente 5 cm)
- Martillo
- Pinzas para elongación de 5% y 20%
- Máquina Universal con sistema para ensayo de tensión de barras de acero (Figura 29).

**Figura 29. Máquina Universal del CII ensayando a tracción**



Fuente: elaboración propia, 2009

El proceso para realizar el ensayo de tensión de barras de acero para refuerzo incluye varios pasos descritos a continuación (Morales, 2006:24):

- Identificar con número o letra correlativa cada muestra o cualquier nomenclatura de identificación.
- En un formulario con un formato preestablecido registrar la clasificación, identificación y medidas.
- Medir la longitud inicial de cada barra en metros.
- Medir el espacio de las corrugas en mm, sin tomar en cuenta el área marcada con símbolos, letras o números que utiliza como identificación el fabricante.
- Medir con el vernier altura y diámetro; tomando la altura de corruga más el diámetro simultáneamente, en cm. Si la barra es lisa se obvia este dato.
- Medir con vernier el diámetro inicial en cm; tomando en cuenta la parte lisa de la barra.
- Medir con vernier el ancho de ribete en mm. En barra es lisa se obvia dato.

- Tomar la masa de cada barra en kg.
- Anotar en el formato el tipo de corruga de cada barra ya sea en “X”, “V”, espiral o lisa.
- Marcar cada barra a lo largo con el punzón de 5 cm (2”), esto para realizar posterior al ensayo, la medición de la separación y así determinar el ensayo del 20% de elongación de las muestras.
- Colocar la barra en la Máquina Universal, sujetándola con mordazas, (mordazas planas para barras lisas y barras corrugadas menores de 3/8” de diámetro y mordazas curvas para barras de diámetro mayor a 3/8”).
- Aplicar carga axial a tensión en kilogramo fuerza, observando y anotando la carga cedente, carga máxima y carga de ruptura.
- Retirar la barra ensayada, unir las dos piezas; para tomar las medidas finales, medir con las pinzas la elongación ocurrida en 5% y 20% tomando de referencia las cuatro marcas más cercanas a la falla, se supone que la falla del acero será entre el espacio que queda a un tercio de la muestra (al centro de la misma), para considerarse una falla equilibrada dentro de los límites de la norma COGUANOR y ASTM.
- Medir con vernier el diámetro final en cm, donde ocurrió la falla de la barra.

#### **1.1.10.2 Cálculos de laboratorio**

Durante el proceso para realizar el ensayo de tensión de barras de acero para refuerzo se obtienen varios datos que permiten calcular las propiedades del acero (Tabla VIII).



**Tabla VIII. Fórmulas de cálculos para determinar la tensión de barras acero para refuerzo**

<p><b>Altura de corruga:</b>  <math>HC = [(H \text{ y } Di) - Di] \times 10</math></p> <p>Donde:          HC= Altura de corruga en mm          H y Di = Altura y diámetro inicial en cm          Di = Diámetro inicial en cm</p>	<p><b>Esfuerzos:</b>  <math>\sigma_{cedente} = (P_{ced.} / Ae) \times 0,0980665</math>  <math>\sigma_{m\acute{a}ximo} = (P_{m\acute{a}x.} / Ae) \times 0,0980665</math>  <math>\sigma_{ruptura} = (P_{rup.} / Ae) \times 0,0980665</math></p> <p>Donde:  <math>\sigma_{cedente}</math> = Esfuerzo cedente en MPa  <math>\sigma_{m\acute{a}ximo}</math> = Esfuerzo máximo en MPa  <math>\sigma_{ruptura}</math> = Esfuerzo de ruptura en MPa          Pced. = Carga cedente en kg          Pmáx. = Carga máxima en kg          Prup. = Carga de ruptura en kg          Ae = Área efectiva en <math>cm^2</math></p>
<p><b>Área:</b>  <math>A_e = (\mu / \rho_{acero}) \times 10,000</math></p> <p>Donde:          Ae= Área efectiva de la barra en <math>cm^2</math>  <math>\mu</math> = Masa unitaria en kg/ m  <math>\rho_{acero}</math> = Densidad del acero (<math>7,850 \text{ kg/ m}^3</math>)</p>	<p><b>Masa unitaria:</b>  <math>\mu = m / l</math></p> <p>Donde:  <math>\mu</math> = Masa unitaria en kg /m          m = Masa de la barra en kg          l = Longitud de barra en metros</p>
<p><b>Cordón o ribete:</b>  <math>\Sigma R / 2</math></p> <p>Donde:          R = Ribetes en cm</p>	<p><b>Perímetro:</b>  <math>P = \pi \times Di</math></p> <p>Donde:          P= Perímetro de la barra en cm          Di = Diámetro inicial calculado en cm</p>
<p><b>Diámetro inicial calculado:</b>  <math>Di = [\sqrt{(Ae / 0.785)}] \times 10</math></p> <p>Donde:          Di = Diámetro inicial en mm          Ae = Área efectiva en <math>cm^2</math>  <math>0,785 = \pi / 4 = \text{constante}</math></p>	

Fuente: Morales, 2006

Los datos a obtener luego de ensayar las barras de acero para refuerzo son (Morales, 2006:29):

- Clasificación e identificación del proveedor
- Masa unitaria
- Área efectiva
- Diámetro inicial calculado

- Perímetro
- Espaciamiento
- Altura de corruga
- Ribete
- Porcentaje de elongación en 5% y 20%
- Esfuerzo cedente
- Esfuerzo máximo
- Esfuerzo de ruptura
- Grado estructural
- Número de barra

Los datos obtenidos de cada ensayo de las barras de acero para refuerzo deben de cumplir con las especificaciones de las normas vigentes en el laboratorio a donde se ensayan, en este caso la norma COGUANOR 36011 que se usa en el CII, (ANEXOS, página 89), así también se deberá de indicar el grado mencionado en la Tabla VI (Morales, 2006:29).

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1 Determinación cuantitativa de la toma de muestras en el campo**

Para determinar el número de muestras a recolectar en el campo, se realizó el cálculo estadístico y se eligió el muestreo simple aleatorio en esta investigación debido a: a) la sencillez de la misma, b) a que tiene un marco muestral definido, c) que posee una población muestral pequeña, con listados, en otras palabras finita, y d) que éste es un estudio experimental.

El objetivo del cálculo del tamaño de la muestra con herramientas estadísticas es definir la muestra representativa que se debe analizar y determinar el tipo de barras de acero para refuerzo que se utilizan en las construcciones (viviendas unifamiliares y comercios) en el área urbana del municipio de Mixco, departamento de Guatemala, lugar donde se desarrolló el estudio; sin necesidad de tomar la totalidad de la población para tal efecto.

Para el cálculo de la muestra, inicialmente se contó con los datos de construcción proporcionados por la Dirección de Construcción Privada de la Municipalidad de Mixco, reunidos en un listado de las licencias de construcción vigentes (ANEXOS, página 90). Según el número total de licencias vigentes se determinó que la población total corresponde a 195 lugares de construcción, entre viviendas unifamiliares y comercios con áreas de construcción mayores a 100.00 m<sup>2</sup>, en las 11 zonas del municipio de Mixco, reportados al mes de septiembre del 2009.

Debido a que no se conoce la varianza se utilizó la misma probabilidad de éxito y fracaso para obtener de esta forma la máxima varianza. Se utilizó un error de precisión del 15 % y un nivel de confianza del 95%. Con estas consideraciones, se empleó la fórmula siguiente (Devore, 2006):

$$n = \frac{N * Z^2_{\frac{a}{2}} * p * q}{N * d^2 + Z^2_{\frac{a}{2}} * p * q}$$

En donde:

n = tamaño de la muestra o número de muestras a coleccionar

N = número total de la población = 195

$Z_{\frac{a}{2}} = 1.96$

a = 5%

d = precisión expresada en porcentaje = 15% = 0.15

p = probabilidad de éxito = 0.5

q = probabilidad de fracaso = 0.5 (se asumió la varianza máxima para este estudio, igual probabilidad de éxito y fracaso)

Con estos datos se calculó el tamaño de la muestra de la siguiente manera:

$$n = \frac{195 (1.96)^2 (0.5) (0.50)}{195(0.15)^2 + (1.96)^2(0.5) (0.5)} = 35.02 \text{ muestras}$$

Por lo que para este estudio se debían tomar 36 muestras, como mínimo, en las unidades de construcción tomadas al azar. Sin embargo, por la cercanía y acceso, se tuvo la facilidad de trasladarse a más sitios de muestreo y se coleccionaron finalmente 51 muestras. En cada caso se coleccionó una muestra de las barras de acero de refuerzo empleadas en cada construcción visitada al azar, para posteriormente realizar los análisis respectivos en el laboratorio.

## **2.2 Análisis estadístico de muestreo y resultados de laboratorio**

Luego de los ensayos de laboratorio establecidos según la norma COGUANOR 36011, se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos y de esta forma se pudo determinar la calidad de las barras de acero para refuerzo ensayadas, esto con el objeto de verificar si las mismas cumplen con las características físicas y propiedades mecánicas (por medio de comparación con normas COGUANOR y ASTM) necesarias en las construcciones unifamiliares y comerciales del municipio de Mixco.

Se tomó como referencia las construcciones para uso comercial y vivienda unifamiliar de más de 100 m<sup>2</sup> porque las mismas tienen un uso más común, y porque se deseaba investigar a que clase de supervisión están sujetas, la calidad de acero que utilizan y si cumplen o no con las normas establecidas en el país para la construcción en general, esta información se calculó y analizó en los Capítulos 3 y 4 denominados Resultados y Análisis de resultados, respectivamente.

El análisis estadístico de las muestras se realizó por medio de graficas circulares, también conocidas como gráficas de pie o pastel, debido a que es la mejor forma de mostrar porcentajes y/o proporciones. Una de las facilidades con que se cuenta es que la cantidad de elementos representados puede ser relativamente grande como se verá en el análisis respectivo de este estudio.

## **2.3 Ensayo organoléptico del acero utilizado en construcción**

El desarrollo experimental de este estudio inició con un ensayo organoléptico de las barras de acero utilizadas en las obras de construcción visitadas (Figura 30), para obtener las muestras que luego se ensayaron en el laboratorio.

El mismo se llevó a cabo en obra, antes de recolectar las muestras, con el propósito de desechar aquellas muestras que no tenían las características necesarias para ser ensayadas, dentro del muestreo aleatorio realizado. El ensayo o prueba organoléptica permite determinar si las barras:

- Tienen demasiado óxido por exposición a la intemperie o a la humedad (Figura 31)
- Tienen material sobrante como mortero o cemento
- Tienen fisuras o deformaciones por aplastamiento
- Estén dobladas o deformadas

**Figura 30. Obra típica para toma de muestras**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 31. Almacenamiento de barras de acero en obra en lugares de muestreo**



Fuente: elaboración propia, 2009

Además, durante el ensayo organoléptico se obtuvieron algunas características previas, útiles para ensayo en laboratorio, como: marcas de fábrica, longitud de muestra (Figura 32), diámetro de muestra y tipo de corrugación.

Este procedimiento permitió aceptar o rechazar las muestras y de no cumplir con las características necesarias, se tomó otra muestra en el mismo lugar en estudio (según el muestreo aleatorio) y así garantizar una muestra ideal para ensayar. Se desecharon las muestras que no cumplían con el ensayo organoléptico mencionado, en especial por deformaciones, y fueron cambiadas por otras que llenaban los requisitos mínimos para ser tomadas en cuenta.

Muchas veces, el cuidado que deben de tener las barras de acero en los lugares de construcción no es la más adecuado, dando lugar a que las barras sean expuestas a variados elementos externos como pueden ser: los climatológicos al estar a la intemperie, parcial o inapropiado almacenaje, exposición a elementos nocivos propios de la obra (fundiciones, contacto con humedad por mucho tiempo, exposición a elementos químicos y someterlos a cargas no adecuadas) y doblado en el transporte, entre otros.

## **2.4 Toma de muestras**

Se tomó una muestra por cada vivienda unifamiliar o comercio visitado para un total de 51 muestras, según el tamaño de la muestra. La localización de los lugares donde se encontraban las construcciones y la colecta de muestras se realizó entre el 16-21 de noviembre del 2009, se obtuvo de la Dirección de Construcción Privada de la Municipalidad de Mixco, contándose para ese entonces con un total de 195 posibles lugares de muestra (puntos donde se localizaban construcciones) en las 11 zonas de dicho municipio.

Los 51 lugares, para coleccionar la muestra, se eligieron al azar en el listado de la Dirección de Construcción Privada del Municipio de Mixco con más de 100.00 m<sup>2</sup> y se empleó una hoja cartográfica a escala 1:50,000 del municipio de Mixco, para tener una referencia de la dirección descrita en el listado indicado.

Debido a la dificultad de obtener muestras en la zona 5 de Mixco por la negativa de proporcionar muestras en las construcciones visitadas, esta zona quedó excluida del estudio. Para mantener la cantidad de muestras colectadas, se hizo más colectas en el resto de zonas.

Posteriormente, al llegar al lugar se constató sí efectivamente en los lugares que se indicaba según listado:

a) se estaba construyendo actualmente b) sí se autorizaba la toma de muestra, c) sí el acero tenía las condiciones necesarias para ser muestreado y d) de no darse lo anterior, se procedía a tomar la muestra en otro lugar del listado.

En cada punto se tomó una muestra con una longitud entre 0.90-1.05 m (Figura 33) de diferentes diámetros; todas las muestras reunían las características mencionadas en el ensayo organoléptico.

**Figura 32. Medición de barras de acero para muestra en lugares de muestreo**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 33. Corte de barras de acero para muestra en sitios de muestreo**



Fuente: elaboración propia, 2009



## 2.5 Ensayo de muestras en el laboratorio

El ensayo de muestras según la norma COGUANOR NGO 36011 y la norma ASTM A615, indica que para determinar el grado estructural del acero, las muestras se deben ensayar a tensión, empleando el equipo, aparatos y/o instrumentos adecuados, debidamente calibrados.

El esfuerzo de fluencia debe determinarse por uno de los métodos siguientes:

- a) Método de detención de la aguja indicadora o del lector digital de la máquina de prueba (determinación de la aguja cuando marca la fuerza que produce la fluencia).
- b) Cuando el acero no tenga esfuerzo de fluencia definido, la fluencia convencional debe determinarse con base en el alargamiento bajo carga, usando un diagrama esfuerzo-deformación unitaria o un extensómetro clase C (descrito en la norma ASTM A370 Métodos de ensayo y definiciones, en inglés: *Test Methods and Definitions*). La deformación unitaria bajo carga debe ser de 0.5 % de la longitud calibrada para los grados 40, 60 y de 0.35% de la longitud calibrada, para grado 75.
- c) Además de los requisitos de tensión especificada, la relación entre la máxima resistencia a la tensión (esfuerzo máximo a la tensión) y el esfuerzo de fluencia determinados no debe ser menor de 1.25.

Los ensayos de laboratorio de las 51 muestras colectadas en el municipio de Mixco se realizaron en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala entre el 23 y el 25 de noviembre del 2009.

En este laboratorio, inicialmente se etiquetó cada muestra para llevar un control de datos cada vez que se tomaban sus características físicas y propiedades mecánicas. Luego se clasificó y ordenó cada muestra por el tamaño de su diámetro, empezando desde los diámetros menores hasta los mayores; esto debido a que a la máquina requiere de mordazas diferentes conforme a cada diámetro de las muestras que analiza y es necesario cambiarlas conforme se aumenta de diámetro a ensayar.

Seguidamente, se continuó con el procedimiento indicado en el capítulo anterior para el ensayo de muestras de barras de acero para refuerzo. De tal forma que cada muestra fue pesada (Figura 34) y se tomaron medidas de su diámetro, longitud, ancho de ribete, altura de ribete, separación de corrugas (Figura 35).

Los datos obtenidos del pesaje, de las mediciones y otros ensayos hechos en el laboratorio del CII fueron registrados en tablas (Tablas IX y X en 3. Resultados) para su posterior análisis.

**Figura 34. Pesaje de muestras en laboratorio del CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 35. Medición de muestras con Vernier en laboratorio del CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

También se marcaron las muestras a cada 2 pulgadas para determinar su elongación al 20%, posterior al ensayo de tensión (Figura 36) y se estableció el tipo de corrugación que tenía cada muestra. Posteriormente, se hizo para cada muestra un ensayo de tensión en la Máquina Universal en el laboratorio del CII (Figura 37).

**Figura 36. Marcaje de muestras para prueba de elongación en laboratorio del CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 37. Ensayo de tensión de muestras en la Máquina Universal del laboratorio del CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

El proceso final de ensayo contempla la medición de la elongación de las muestras, luego de fallar en el ensayo de tensión (Tabla II) (Figura 41). La medición de la elongación se realiza uniendo la barra fallada y luego se mide con las pinzas de elongación, la nueva separación de las marcas correspondientes (Figuras 38, 39, 40 y 41).

**Figura 38. Escala para lectura de la Máquina Universal en ensayo de tensión, laboratorio del CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 39. Detalle de falla a tensión en muestra en el laboratorio de CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 40. Lectura de elongación al 20% luego de ensayo en laboratorio de CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 41. Lectura de la elongación al 20% con el extensómetro, luego de ensayo en laboratorio de CII**



Fuente: elaboración propia, 2009

Luego de la toma de los datos en el laboratorio de las barras de acero para refuerzo, se procedió al cálculo de varios factores, según la Tabla VI del capítulo anterior, estos resultados permitieron determinar la calidad del acero. Los datos de los cálculos realizados se muestran en las Tablas IX y X.

## **2.6 Determinación de la calidad de acero de la muestra en laboratorio**

Para determinar la calidad de las barras de acero para refuerzo se ensayaron las muestras en el laboratorio del CII y se realizaron los cálculos para determinar:

- Clasificación e identificación del proveedor
- Masa unitaria
- Área efectiva
- Diámetro inicial calculado
- Perímetro
- Espaciamiento
- Altura de corruga
- Ribete
- Porcentaje de elongación en 5% y 20%
- Esfuerzo cedente
- Esfuerzo máximo
- Esfuerzo de ruptura
- Grado estructural
- Número de barra

Estos cálculos (Tablas IX y X) permitieron realizar las comparaciones con los límites establecidos en las Tablas XI y XII, de la norma COGUANOR 36011 y la norma ASTM A615 y de esa forma poder verificar si las muestras cumplen

con las características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo requeridas en Guatemala.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados obtenidos de ensayos en laboratorio**

Los resultados finales de las mediciones y ensayos realizados en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) proporcionaron los datos para realizar los cálculos respectivos, que a su vez generaron la información sobre las características físicas y las propiedades mecánicas de las muestras colectadas de barras de acero para refuerzo.

Estos cálculos permitieron realizar las comparaciones con los límites establecidos en las normas COGUANOR y ASTM. De esa forma se pudo verificar si las muestras cumplen con las características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo requeridas en Guatemala.

Las mediciones básicas de peso y medidas realizadas a las 51 muestras que fueron colectadas en las construcciones del área urbana de Mixco se describen en la Tabla IX, mientras que los resultados de los ensayos hechos y calculados en el laboratorio del CII se encuentran resumidos en las Tablas X; y los resultados de laboratorio entregados por el CII se describen en las ANEXOS páginas de la 96 a la 99.

**Tabla IX. Resultados de pesaje y mediciones de 51 muestras hechos en el laboratorio del CII**

No. muestra	Identificación	Ubicación de muestreo por zona	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Perímetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )
1	74X 4-B	8	0.569	9.62	30.21	0.726
2	75N 12-A	4	0.533	9.31	29.24	0.680
3	76X 11-B	8	0.550	9.45	29.69	0.701
4	77X 9-A	4	0.551	9.46	29.73	0.703
5	78X 16-A	9	0.409	8.15	25.62	0.522
6	79X 18-B	9	0.582	9.72	30.54	0.742
7	80X 8-A	4	0.440	8.45	26.56	0.561
8	81X 17-A	9	0.407	8.13	25.54	0.519
9	82X 10-A	4	0.402	8.08	25.39	0.513
10	83X 2-B	8	0.562	9.55	30.02	0.717
11	84X 3-A	8	0.567	9.60	30.15	0.723
12	85X 18-B	9	0.534	9.31	29.26	0.681
13	86X 6-A	8	0.567	9.60	30.15	0.723
14	87V 5-A	8	0.557	9.51	29.87	0.710
15	P01X A-X	4	0.720	8.90	33.96	0.917
16	P01X B-X	4	0.592	9.00	30.10	0.754
17	P03 A-X	10	0.578	9.69	30.40	0.737
18	P03 B-X	10	0.510	8.28	20.40	0.650
19	N02 A-X	1	0.510	9.09	28.60	0.650
20	N02 B-X	1	0.558	9.55	30.00	0.710
21	N03 A-X	4	0.451	8.55	26.80	0.574
22	N03 B-X	4	0.448	8.52	26.70	0.570
23	N04 A-V	8	0.532	9.29	29.20	0.678
24	N04 B-V	8	0.513	9.13	28.70	0.654
25	P05 A-X	1	0.523	9.21	28.90	0.667
26	P05 B-X	1	0.553	9.48	29.70	0.705
27	P06 A-X	1	0.403	8.08	25.40	0.513
28	P06 B-X	1	0.415	8.20	25.76	0.528
29	P07 A-X	2	0.575	9.66	30.35	0.733
30	P07 B-X	3	0.598	9.85	30.95	0.762
31	P08 A-X	8	0.561	9.54	29.97	0.715
32	P08 B-X	8	0.548	9.43	29.63	0.698
33	P09 A-X	6	0.530	9.27	29.13	0.675
34	P09 B-X	6	0.564	9.56	30.05	0.718

Fuente: elaboración propia, 2009



**Continuación de Tabla IX.**

No. muestra	Identificación	Ubicación de muestreo por zona	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Perímetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )
35	P10 A-X	9	0.548	9.43	29.62	0.698
36	P10 B-X	9	0.544	9.40	29.52	0.693
37	P10 C-X	9	0.547	9.42	29.60	0.697
38	N01 B-X	11	0.440	7.30	22.40	0.560
39	88X 13-A	7	0.736	10.93	34.36	0.939
40	89X 15-A	1	0.973	12.57	39.50	1.241
41	90X 9-B	4	0.959	12.47	39.20	1.223
42	91X 4-A	8	0.974	12.57	39.50	1.242
43	92X 7-A	8	1.029	12.93	40.60	1.312
44	93X 2-A	8	0.974	12.58	39.50	1.242
45	94X 11-A	4	0.953	12.43	30.07	1.215
46	95X 11-B	4	0.956	12.46	39.13	1.219
47	96X 18-A	9	1.198	13.94	43.81	1.528
48	N01 A-X	11	1.030	12.92	40.59	1.310
49	97X 1-A	8	1.531	15.76	49.32	1.952
50	P02 A-X	4	1.549	16.00	49.79	1.974
51	P02 B-X	4	1.550	16.00	49.80	1.974

Fuente: elaboración propia, 2009

**Tabla X. Resultados de 51 ensayos y cálculos efectuados en el laboratorio del CII**

No. muestra	Identificación	Altura (mm)	Esfuerzo fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento 20% (cm)	Diámetro nominal No.	Grado nominal encontrado (x 1,000 psi)
1	74X 4-B	0.72	335.6	484.8	28.0	3	40
2	75N 12-A	0.66	331.4	497.2	23.0	3	40
3	76X 11-B	0.65	328.7	464.0	25.0	3	40
4	77X 9-A	0.68	328.7	450.2	23.0	3	40
5	78X 16-A	0.63	255.5	353.5	22.0	3	-
6	79X 18-B	0.68	359.1	522.1	25.0	3	40
7	80X 8-A	0.50	262.4	379.8	28.0	3	-
8	81X 17-A	0.63	267.9	372.9	18.0	3	-
9	82X 10-A	0.60	294.2	441.9	17.0	3	40
10	83X 2-B	0.74	345.3	480.6	28.0	3	40
11	84X 3-A	0.73	331.4	469.6	28.0	3	40
12	85X 18-B	0.83	317.6	453.0	24.0	3	40

Fuente: elaboración propia, 2009

**Continuación Tabla X.**

No. muestra	Identificación	Altura (mm)	Esfuerzo fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento 20% (cm)	Diámetro nominal No.	Grado nominal encontrado (x 1,000 psi)
13	86X 6-A	0.65	339.7	479.2	22.0	3	40
14	87V 5-A	0.91	345.3	538.6	20.0	3	40
15	P01X A-X	0.50	241.6	346.3	23.0	3	-
16	P01X B-X	0.95	301.9	435.9	13.0	3	40
17	P03 A-X	2.00	330.5	478.1	18.0	3	40
18	P03 B-X	2.00	366.6	331.9	23.0	3	40
19	N02 A-X	0.80	362.1	510.0	19.0	3	40
20	N02 B-X	0.50	350.8	544.2	23.0	3	40
21	N03 A-X	0.50	341.7	468.2	22.0	3	40
22	N03 B-X	0.40	342.4	464.5	24.0	3	40
23	N04 A-V	1.80	448.4	720.4	13.0	3	60
24	N04 B-V	0.49	449.8	764.7	16.0	3	60
25	P05 A-X	0.48	370.5	536.7	15.0	3	40
26	P05 B-X	0.42	308.8	511.9	16.0	3	40
27	P06 A-X	0.75	378.5	560.1	21.0	3	40
28	P06 B-X	0.73	352.9	538.6	22.0	3	40
29	P07 A-X	0.70	313.3	448.5	11.8	3	40
30	P07 B-X	0.90	303.8	430.0	11.5	3	40
31	P08 A-X	1.00	286.4	480.3	12.0	3	-
32	P08 B-X	1.00	321.6	460.6	26.0	3	40
33	P09 A-X	1.80	340.0	501.2	29.0	3	40
34	P09 B-X	1.20	341.5	505.4	29.0	3	40
35	P10 A-X	1.95	345.6	491.7	21.0	3	40
36	P10 B-X	1.94	350.7	496.3	19.0	3	40
37	P10 C-X	2.30	351.7	496.6	25.0	3	40
38	N01 B-X	1.37	420.3	595.4	18.0	3	-
39	88X 13-A	0.83	285.0	396.8	19.0	4	-
40	89X 15-A	1.16	319.2	464.4	22.0	4	40
41	90X 9-B	0.96	314.7	447.7	28.0	4	40
42	91X 4-A	1.17	315.4	456.1	25.0	4	40
43	92X 7-A	1.27	311.6	454.6	25.0	4	40
44	93X 2-A	1.11	319.2	447.0	27.0	4	40
45	94X 11-A	0.82	320.0	450.8	30.0	4	40
46	95X 11-B	1.05	299.5	429.5	22.0	4	40
47	96X 18-A	0.73	334.4	486.5	28.0	4	40
48	N01 A-X	0.80	299.4	440.2	15.0	4	40
49	97X 1-A	1.04	463.2	734.2	15.0	5	60
50	P02 A-X	1.20	303.0	441.7	7.5	5	40
51	P02 B-X	1.40	293.1	454.6	8.2	5	40

Fuente: elaboración propia, 2009

Para poder verificar la calidad de las 51 muestras de barras de acero para refuerzo colectadas en las construcciones del área urbana de la ciudad de Mixco, los resultados de los cálculos realizados se compararon con los límites establecidos en la norma COGUANOR NGO 36011 y la norma ASTM A615 (ANEXOS, página 89).

Las Tablas XI y XII proporcionan los parámetros mínimos permitidos de las barras de acero para refuerzo No. 3, 4 y 5 (datos también incluidos en la Tabla II, en Anexo), los cuales se compararon con los cálculos y ensayos obtenidos en el laboratorio; y de esa forma se determinó si las muestras cumplen con dichas normas, así como establecer en qué porcentajes se cumplen las mismas.

**Tabla XI. Normas COGUANOR y ASTM requeridas para barras de acero para refuerzo de las características físicas**

Barra No.	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Perímetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Espaciamiento longitudinal (mm)	Ancho ribete (mm)	Altura (mm)
3	0.560	9.53	29.92	0.71	6.700	3.6	0.381
4	0.994	12.70	39.90	1.29	8.890	4.9	0.508
5	1.552	15.88	49.86	2.00	10.100	6.1	0.711

Fuente: COGUANOR, 2005 y ASTM, 1990

**Tabla XII. Normas COGUANOR y ASTM requeridas para barras de acero para refuerzo de las propiedades mecánicas**

Barra No.	Esfuerzo fluencia (Mpa) G40	Esfuerzo Máximo (Mpa) G40	Alargamiento 20% (cm)	Esfuerzo Máximo (Mpa) G60	Alargamiento 20% (cm)	Esfuerzo fluencia (Mpa) G60
3	280	414	11	620	9	414
4	280	414	12	620	9	414
5	280	414	12	620	9	414

Fuente: COGUANOR, 2005 y ASTM, 1990

### 3.2 Tablas y gráficos de resultados

Para facilitar el análisis, además de tablas de resultados, se prepararon gráficas de pastel que permiten visualizar el análisis de los cálculos hechos con los datos obtenidos en campo y laboratorio.

En cuanto a las zonas del área urbana del municipio de Mixco donde se realizó la colecta de muestras para este estudio, la Tabla XIII y la Figura 42 describen la cantidad de zonas muestreadas y las zonas donde no se hizo muestreo.

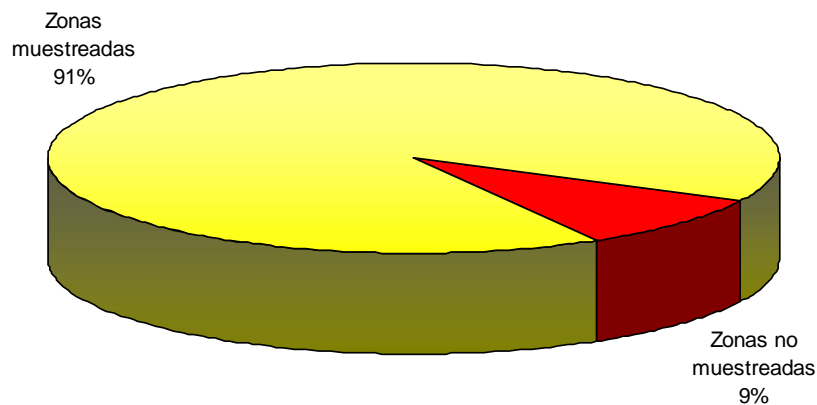
**Tabla XIII. Zonas de muestreo del área urbana del municipio de Mixco**

Muestreo	Cantidad de zonas	Porcentaje (%)	Numeración de las zonas
Zonas muestreadas	10	91	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 11
Zonas no muestreadas	1	9	5*

La Zona 5 no fue muestreada debido a la negativa que se dio en las construcciones para proporcionar muestras.

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 42. Zonas de muestreo del área urbana del municipio de Mixco**



Fuente: elaboración propia, 2009

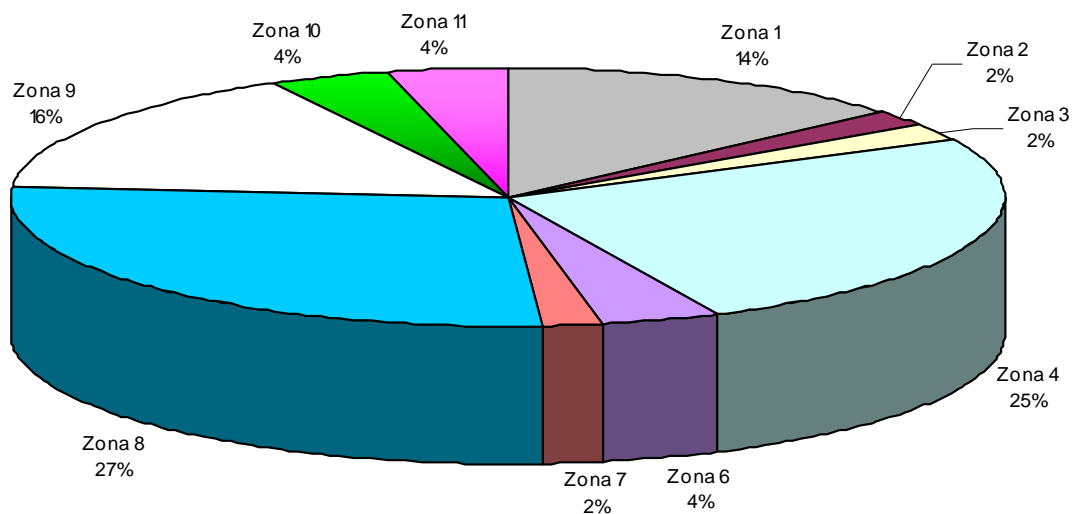
La Tabla XIV y la Figura 43 describen la cantidad de muestras que se colectaron en cada una de las diez zonas.

**Tabla XIV. Ubicación de muestreo por zonas del área urbana del municipio de Mixco**

Zona No.	No. de muestras colectadas	Porcentaje (%)
Zona 1	7	14
Zona 2	1	2
Zona 3	1	2
Zona 4	13	25
Zona 6	2	4
Zona 7	1	2
Zona 8	14	27
Zona 9	8	16
Zona 10	2	4
Zona 11	2	4

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 43. Ubicación de muestreo por zonas del área urbana del municipio de Mixco**



Fuente: elaboración propia, 2009

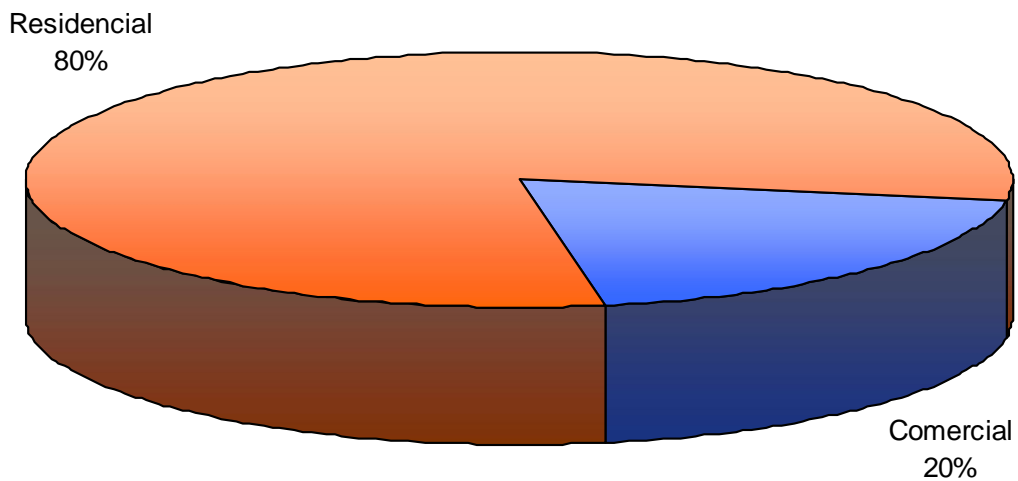
De acuerdo al uso de las construcciones de donde se obtuvieron las muestras para realizar los ensayos en el laboratorio, la Tabla XV y la Figura 44 clasifican las construcciones como residencial y de uso comercial.

**Tabla XV. Uso de las construcciones muestreadas en el área urbana del municipio de Mixco**

Uso de las construcciones	Cantidad	Porcentaje (%)
Residencial	41	80
Comercial	10	20

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 44. Uso de las construcciones muestreadas en el área urbana del municipio de Mixco**



Fuente: elaboración propia, 2009

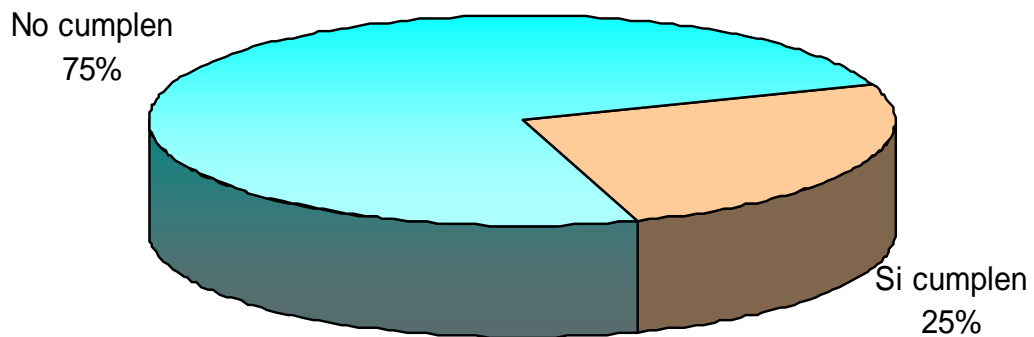
Luego de realizar el pesaje en el laboratorio, la Tabla XVI y la Figura 45 registran el porcentaje de muestras de barras de acero para refuerzo que cumplen con el peso establecido en las normas COGUANOR Y ASTM.

**Tabla XVI. Cumplimiento de las muestras con el requisito de peso**

Norma de peso	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Muestras que sí cumplen	13	25
Muestras que no cumplen	38	75

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 45. Cumplimiento de las muestras con el requisito de peso**



Fuente: elaboración propia, 2009

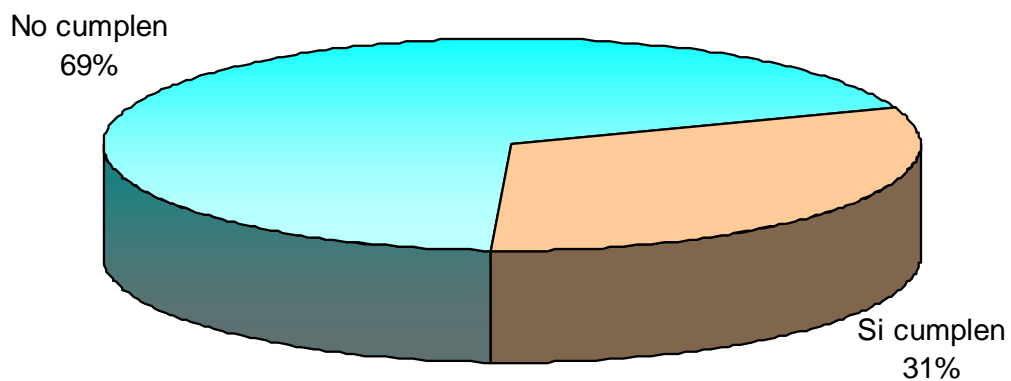
En cuanto al diámetro de las barras de acero para refuerzo colectadas, la Tabla XVII y la Figura 46 indican el porcentaje de muestras que cumplen con el requisito de la norma.

**Tabla XVII. Cumplimiento de las muestras con el requisito de diámetro**

Norma de diámetro	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	16	31
No cumplen	35	69

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 46. Cumplimiento de las muestras con el requisito de diámetro**



Fuente: elaboración propia, 2009



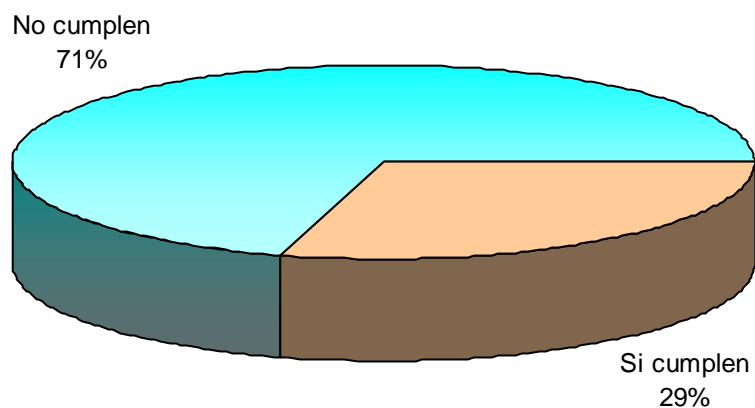
Luego de realizar la medición del perímetro de las barras de acero para refuerzo en el laboratorio, la Tabla XVIII y la Figura 47 registran el porcentaje de muestras que cumplen con el perímetro establecido en las normas COGUANOR Y ASTM.

**Tabla XVIII. Cumplimiento de las muestras con el requisito de perímetro**

Norma de perímetro	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	15	29
No cumplen	36	71

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 47. Cumplimiento de las muestras con el requisito de perímetro.**



Fuente: elaboración propia, 2009

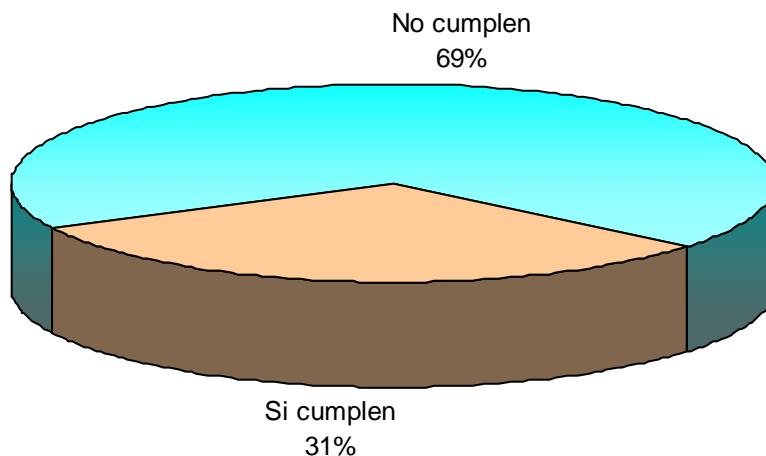
En relación al cumplimiento del requisito del área transversal de las barras de acero para refuerzo, la Tabla XIX y la Figura 48 indican el porcentaje de muestras colectadas en las zonas muestreadas, que cumplen con el requisito de la norma.

**Tabla XIX. Cumplimiento de las muestras con el requisito de área**

Norma de área	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	16	31
No cumplen	35	69

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 48. Cumplimiento de las muestras con el requisito de área**



Fuente: elaboración propia, 2009

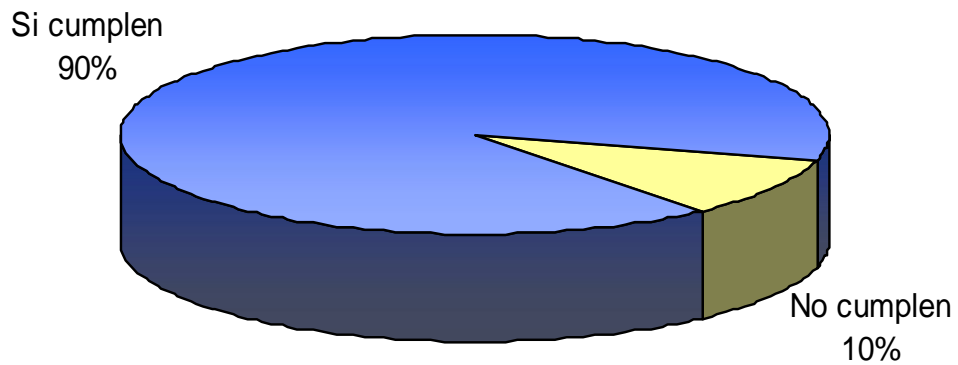
Luego de realizar los ensayos de esfuerzo de fluencia en general a cada una de las barras de acero para refuerzo en el laboratorio, la Tabla XV y la Figura 49 registran el porcentaje de muestras que cumplen con el esfuerzo de fluencia establecido en las normas COGUANOR Y ASTM.

**Tabla XV. Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo de fluencia en general**

Norma de esfuerzo de fluencia en general	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	46	90
No cumplen	5	10

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 49. Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo de fluencia en general**



Fuente: elaboración propia, 2009

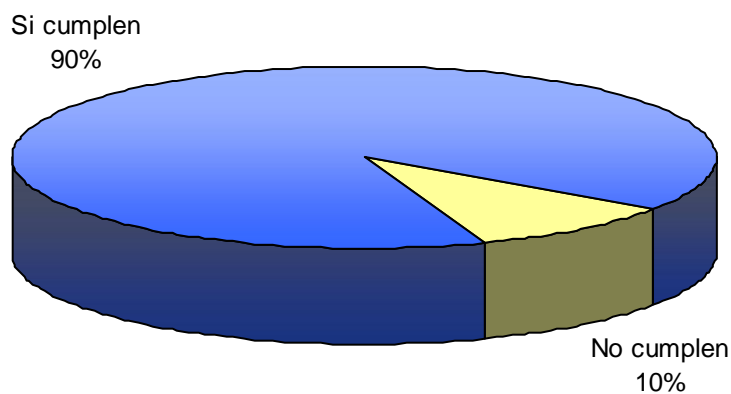
Los resultados de los esfuerzos máximos obtenidos de los cálculos correspondientes, se describen en la Tabla XXI y la Figura 50, pudiéndose observar el porcentaje de muestras que cumplen con la norma.

**Tabla XXI. Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo máximo en general**

<b>Norma de esfuerzo máximo en general</b>	<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Sí cumplen	46	90
No cumplen	5	10

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 50. Cumplimiento de las muestras con el requisito de esfuerzo máximo en general**



Fuente: elaboración propia, 2009

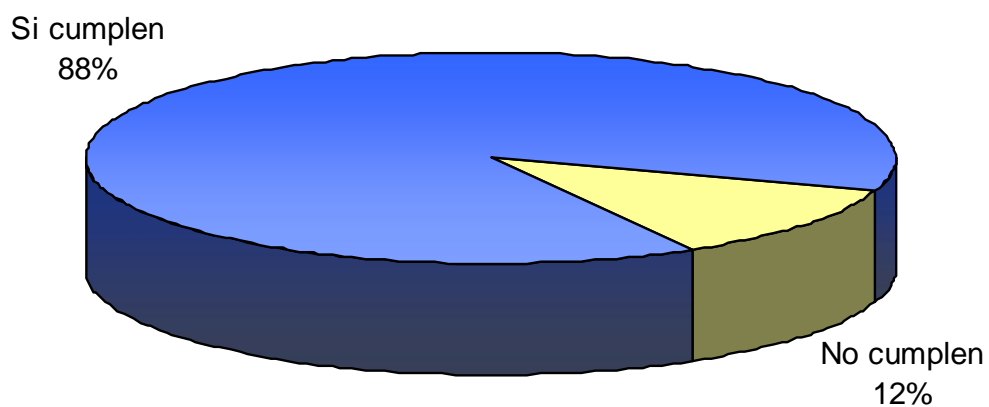
El porcentaje de barras de acero para refuerzo que cumplen a la vez con los requisitos de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general, se describen en la Tabla XXII y la Figura 51.

**Tabla XXII. Cumplimiento de las muestras con los requisitos de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general**

<b>Norma de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general</b>	<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Sí cumplen	45	88
No cumplen	6	12

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 51. Cumplimiento de las muestras con los requisitos de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo en general**



Fuente: elaboración propia, 2009

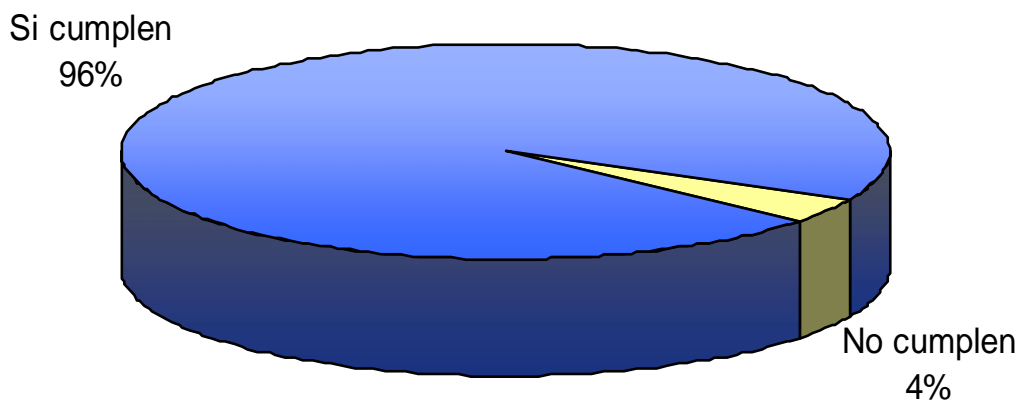
En cuanto a la verificación de cumplimiento de la norma de alargamiento del 20% de la longitud de las muestras ensayadas en el laboratorio, la Tabla XXIII y la Figura 52 indican el porcentaje de muestras que cumplen con la norma.

**Tabla XXIII. Cumplimiento de las muestras con el requisito de alargamiento del 20%**

<b>Norma de alargamiento 20% (cm)</b>	<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Sí cumplen	49	96
No cumplen	2	4

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 52. Cumplimiento de las muestras con el requisito de alargamiento del 20%**



Fuente: elaboración propia, 2009

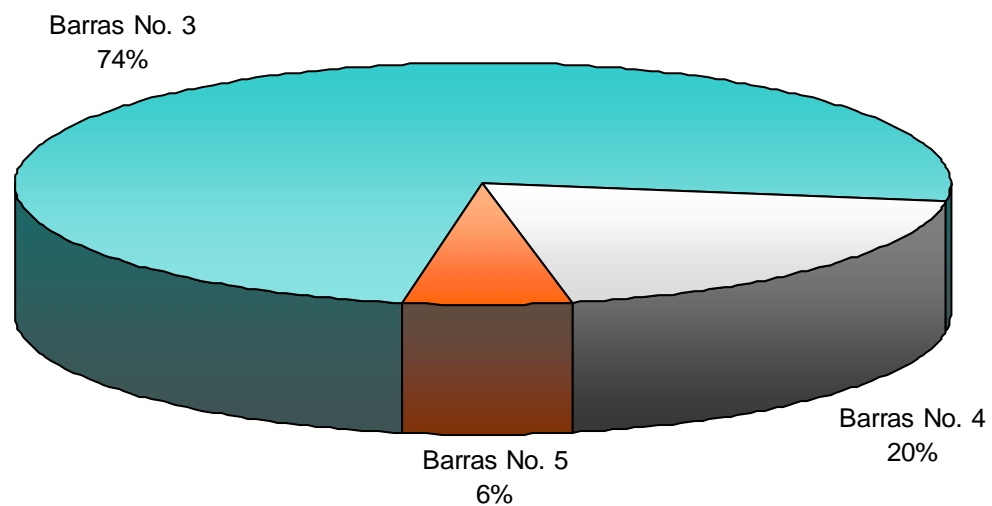
Los resultados de las mediciones de diámetros nominales para las muestras ensayadas en el laboratorio, se describen en la Tabla XXIV y la Figura 53. Estas mediciones permiten clasificar las barras en números 3, 4 y 5, así mismo determinar el porcentaje al que pertenece cada número de barra.

**Tabla XXIV. Diámetros nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas**

<b>Barra No./ Diámetro nominal</b>	<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Barras No. 3	38	74
Barras No. 4	10	20
Barras No. 5	3	6

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 53. Diámetros nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas**



Fuente: elaboración propia, 2009

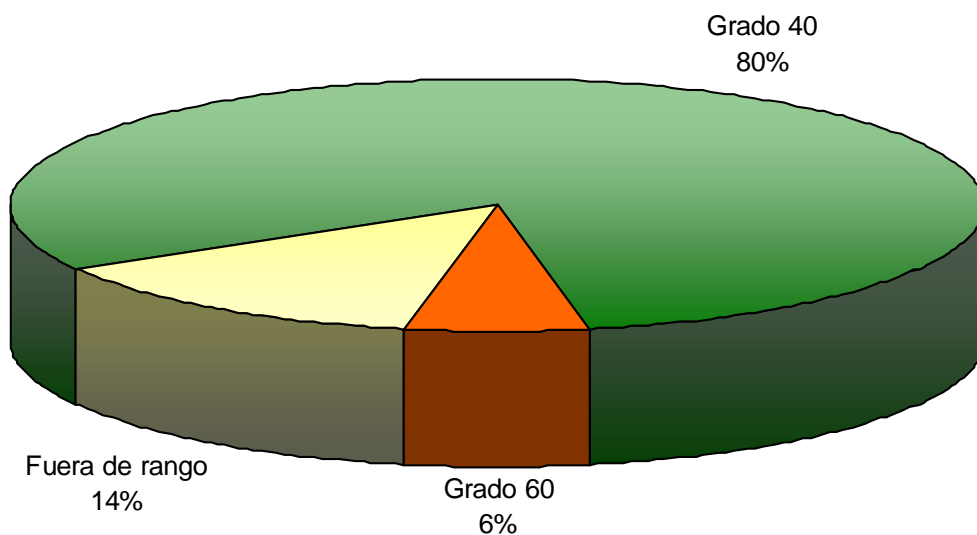
En cuanto a los grados nominales encontrados en las barras de acero para refuerzo colectadas en el área urbana del municipio de Mixco, la Tabla XXV y la Figura 54 muestran la clasificación de las muestras según estos rangos.

**Tabla XXV. Grados nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas**

Grado estructural nominal	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Grado 40	41	80
Grado 60	3	5
Fuera de rango	7	14

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 54. Grados nominales de las barras de acero para refuerzo ensayadas**



Fuente: elaboración propia, 2009



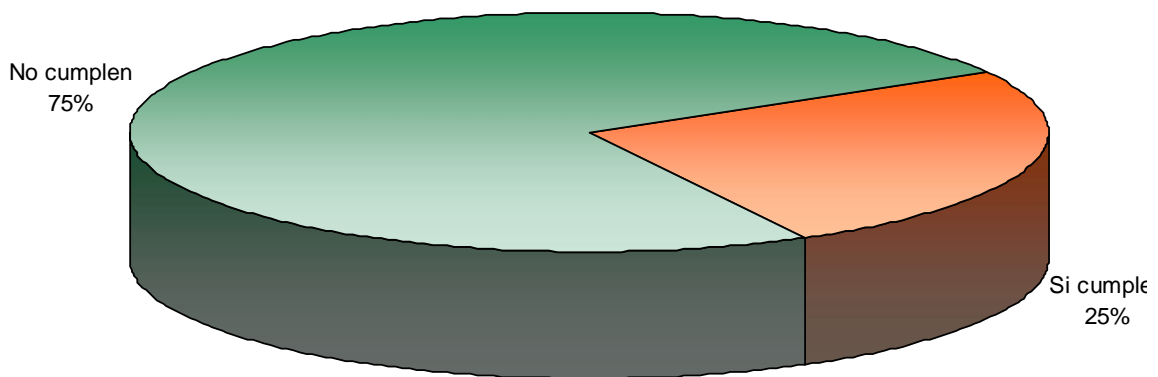
En cuanto a la verificación de cumplimiento de las características físicas de las barras de acero ensayadas en el laboratorio, la Tabla XXVI y la Figura 55 muestran el porcentaje de muestras que cumplen con la norma.

**Tabla XXVI. Cumplimiento de las muestras con el requisito de características físicas**

<b>Norma de características físicas</b>	<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Sí cumplen	13	25
No cumplen	38	75

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 55. Cumplimiento de las muestras con el requisito de características físicas.**



Fuente: elaboración propia, 2009

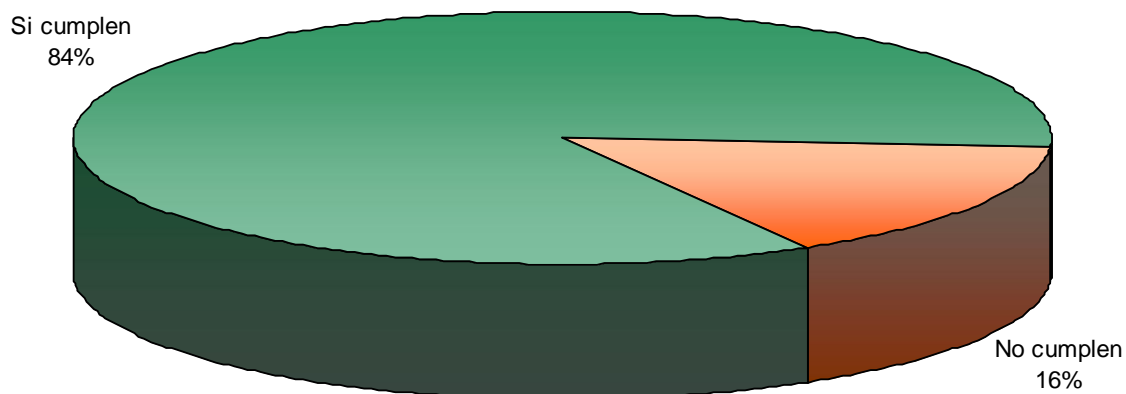
En relación al cumplimiento del requisito de las propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo colectadas en las zonas muestreadas del municipio de Mixco, la Tabla XXVII y la Figura 56 muestran el porcentaje de muestras, que cumplen con el requisito de la norma.

**Tabla XXVII. Cumplimiento de las muestras con el requisito de propiedades mecánicas.**

Norma de propiedades mecánicas	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	43	84
No cumplen	8	16

Fuente: elaboración propia, 2009.

**Figura 56. Cumplimiento de las muestras con el requisito de propiedades mecánicas.**



Fuente: elaboración propia, 2009

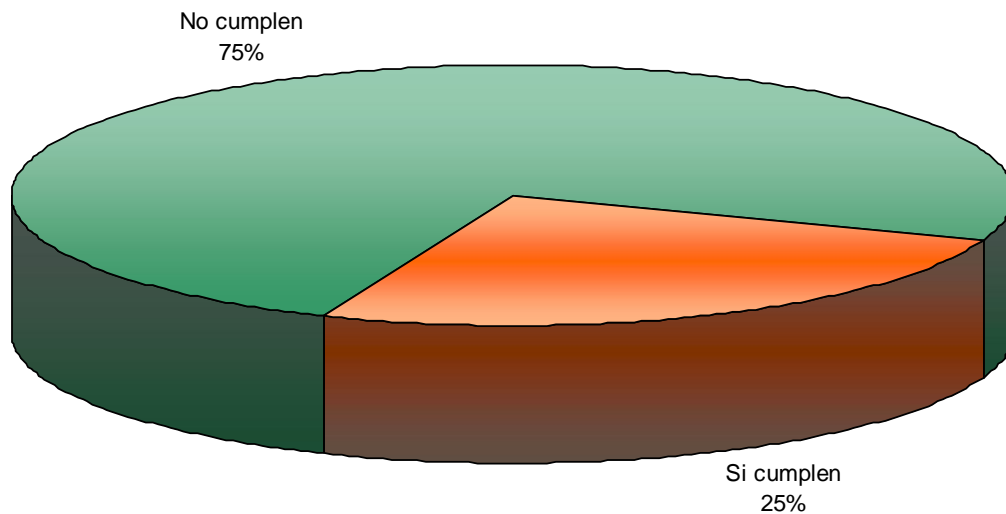
El porcentaje de barras de acero para refuerzo muestreadas que cumplen a la vez con los requisitos de las características físicas y propiedades mecánicas, se describen en la Tabla XXVIII y la Figura 57.

**Tabla XXVIII. Cumplimiento de las muestras con los requisitos de características físicas y propiedades mecánicas**

Norma de características físicas y propiedades mecánicas	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Sí cumplen	13	25
No cumplen	38	75

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 57. Cumplimiento de las muestras con los requisitos de características físicas y propiedades mecánicas.**



Fuente: elaboración propia, 2009

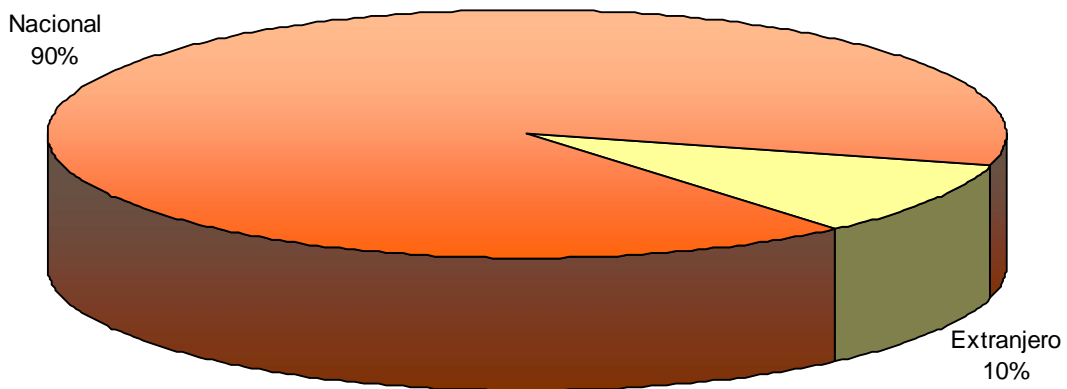
En cuanto al origen de las barras de acero para refuerzo muestreadas en el municipio de Mixco, la Tabla XIX y la Figura 58 muestran el porcentaje de muestras según su origen.

**Tabla XIX. Origen de las barras de acero para refuerzo muestreadas en el municipio de Mixco**

Origen de las barras de acero para refuerzo	Cantidad de muestras	Porcentaje (%)
Nacional	46	90
Extranjero	5	10

Fuente: elaboración propia, 2009

**Figura 58. Origen de las barras de acero para refuerzo muestreadas en el municipio de Mixco.**



Fuente: elaboración propia, 2009

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los análisis que se presentan a continuación están relacionados con las características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo y los resultados que se obtuvieron en el laboratorio al ser ensayadas.

### **4.1 Resultados del muestreo y el uso destinado para las construcciones en estudio**

Se logró cubrir la mayoría de las zonas del municipio de Mixco con 51 muestras colectadas en construcciones con áreas de construcción mayores a 100.00 m<sup>2</sup>. Inicialmente el tamaño de muestra mínimo fue de 36 unidades necesarias para este estudio, sin embargo se colectaron muestras en áreas cercanas a los puntos de muestreo hasta completar 51 muestras. Así también se logró identificar que los dos tipos de construcción muestreados fueron construcciones de uso residencial y de uso comercial, como parte de la población objetivo de este estudio. El análisis estadístico de los porcentajes encontrados al analizar los resultados obtenidos se presenta a continuación.

Durante el trabajo de campo se colectaron muestras de barras de acero para refuerzo en 10 de las 11 zonas del área urbana del municipio de Mixco, cantidad que equivale al 91% de las zonas, mientras que un 9% de las zonas no fue muestreada, reportándose una cobertura de muestreo mayoritaria en el municipio.

Del total de 51 muestras colectadas en las 10 zonas que se muestrearon, las zonas donde mayor cantidad de muestras se colectaron fueron las zonas 8

(Ciudad San Cristóbal) y la zona 4. Esto se debe a que son las zonas que contienen la mayor cantidad de construcciones en el municipio de Mixco. Contrario a lo anterior las zonas donde menos se colectaron muestras (una muestra por zona) fueron las zonas 2, 3 y 7. Esto se debió a que presentan menor cantidad de construcciones. De acuerdo a la ubicación de los sitios de muestreo, la zona 8 fue donde hubo mayor porcentaje de colecta (27% de muestras), seguida de la zona 4 (25% de las muestras) y las zonas donde hay menor cantidad de muestreos son las zonas 2, 3 y 7 (cada una con el 2% de las muestras).

De acuerdo con los datos que clasifican las construcciones muestreadas, según el uso que tienen las construcciones, de las 51 obras visitadas 41, son para uso residencial y 10 para uso comercial variado; de tal forma que, se puede ver en la Gráfica 6, la mayoría de construcciones (80%), al ser terminadas, tendrá un uso residencial y el resto (20%) será para uso comercial, donde se contemplan negocios variados.

Se ha logrado determinar que las muestras colectadas son representativas de la mayoría de las zonas comprendidas en el municipio de Mixco. Así también, que los muestreos en las diferentes zonas donde se colectaron barras de acero para refuerzo fueron directamente proporcionales a la cantidad de construcciones existentes en el momento de la toma de muestras entre el 16-21 de noviembre del 2009. Asimismo que la mayoría de las construcciones tendrá uso residencial, probablemente debido a que el municipio de Mixco, desde algún tiempo atrás, ha sido considerado como ciudad dormitorio, por la cercanía con la Ciudad de Guatemala y he allí la importancia que tiene la construcción de vivienda con materiales que cumplan con las normas de calidad, en este municipio.

## **4.2 Resultados en barras de acero para refuerzo muestreadas**

En cuanto al peso según normas se logró determinar que 38 barras de las ensayadas no cumplen con lo especificado, solamente 13 sí cumplen. Así también se ha determinado que el 75% de las muestras no cumplen con el peso mínimo requerido, es decir, la mayoría de las muestras ensayadas y únicamente el 25% de las mismas sí cumple con este requisito.

Respecto del diámetro mínimo permitido, se determinó que 35 obras visitadas no cumplen con lo normado. Esto da un resultado del 31% de las muestras que cumplen con el diámetro permitido y el 69 % no cumple

En relación con el perímetro se encontró que 36 muestras no cumplen con este requisito. Dando como resultado que el 29% de las muestras cumple con el perímetro mínimo establecido, mientras que el 71 % no cumple con el perímetro mínimo establecido.

Tocante al área mínima, se determinó que solamente 16 muestras sí cumplen y 35 no cumplen con este requisito. Por lo que solamente el 31% de las muestras cumplen con el área mínima establecida y el 61%, no cumple con el área mínima establecida en las normas.

Lo anteriormente mencionado, da como resultado que, respecto de sus características físicas, únicamente 13 muestras, de las 51 ensayadas en el laboratorio, cumplen con estas características establecidas y 38 no cumplen. Estas cantidades representan 25% y 75%, respectivamente, del cumplimiento o no de las muestras.

En lo que respecta a las propiedades mecánicas, el resultado de esfuerzo de fluencia en general, realizado a las muestras de barras de acero para refuerzo, se encontró que 46 muestras cumplen y que solamente 5 muestras no cumplen con el requisito mínimo, lo que da un resultado del 90% para las muestras que sí cumplen con el ensayo de esfuerzo de fluencia y 10% para las que no cumplen con las normas.

En los resultados de esfuerzo máximo de las muestras se encontró que 46 muestras cumplen y solamente 5 no cumplen con este requisito, como resultado se encontró que el 90% de las muestras si cumplen, mientras que 10% no cumplen con las normas.

Los resultados de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo, indican que 45 muestras sí cumplen y únicamente 6 muestras no cumplen con estos factores, esto equivale al 88% de las muestras ensayadas que sí cumple con la norma y que el 12% no cumple.

En lo que respecta al requisito de alargamiento del 20% mínimo de las muestras ensayadas, se encontró que 49 si cumplen y solamente 2 no cumplen con las normas respectivas. En porcentajes equivalen a que 96% de las muestras si cumplen y 4% no cumple.

Los diferentes diámetros nominales aparentes, encontrados en las muestras ensayadas, indican que 38 muestras corresponden a las barras número 3, 10 son barras número 4 y 3 son barras número 5. Esto da un resultado del 74% de las muestras corresponden a barras número 3, un 20% corresponden a barras número 4 y el 6% a barras número 5.

Acercas de los grados nominales encontrados en las muestras ensayadas, se puede decir que 41 muestras son del grado 40, que 3 son del



grado 60 y que 7 muestras están fuera de rango, o sea que no son barras de acero para refuerzo legítimas. Lo anterior representa un 80% de las muestras corresponden al grado 40, un 6% tiene un grado 60 y 14% está fuera de algún grado estructural. En el rango anterior se encuentran las barras de acero que muy probablemente puedan ser acero denominado comercial y las de mala calidad de fábrica, éstas no necesariamente son acero comercial sino que, por un mal control de calidad en el proceso de fabricación, tienen deficiencias de calidad y son vendidas como barras de acero denominado legítimo.

Las barras de acero para refuerzo ensayadas respecto de sus propiedades mecánicas, indican que 43 de las 51 muestras ensayadas cumplen con las propiedades mecánicas. Esto da como resultado que el 84% de las muestras sí cumple con las normas mínimas, y que el 16% no cumple con lo establecido.

En general, en el análisis hecho a los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las muestras, indica que 13 de 51 muestras si cumplen con las características físicas y las propiedades mecánicas simultáneamente, y 38 muestras no cumplen con las normas. Por lo que se encontró que solamente un 25% de las muestras sí cumplen y un 75% de muestras no cumplen con las normas establecidas. Este porcentaje resulta muy alto para muestras que no cumplen con los requisitos establecidos por las normas y constituye un riesgo para las estructuras que se construyan con esos materiales. Debido a que, al no tener las normas requeridas mínimas con las que fueron diseñadas, puede haber cambios muy significativos y hasta impredecibles respecto de las estructuras que usan esta clase de barras de acero al ser sometidas a esfuerzos generados por un sismo.

En cuanto al origen del acero del que están hechas las 51 muestras colectadas en el área urbana, en el municipio de Mixco, que fueron sujetas a

distintos ensayos en el laboratorio, se logró determinar que 46 de las muestras son de origen nacional y que cinco de las mismas son de origen extranjero. Lo cual se estableció al revisar e identificar las marcas de origen respectivas, según las especificaciones establecidas en el acápite 1.1.5.1 y por el marcaje correspondiente de las barras de acero y el tipo de corruga que se logró observar en el ensayo organoléptico respectivo, de acuerdo con el procedimiento descrito en el acápite 2.3. Estos resultados demuestran que el 90% de las muestras tienen como origen de fabricación Guatemala, y el restante -10%- tiene su origen en el extranjero.

## CONCLUSIONES

1. Debido a que las características físicas y la propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo son importantes para el diseño estructural, las mismas han de cumplir con lo establecido por las normas COGUANOR NGO 36011 y ASTM A615, de no ser así, implicaría problemas graves al interactuar con el concreto, debido a que no se puede garantizar que éste se desempeñe correctamente.
2. Las barras de acero para refuerzo, colectadas y ensayadas en laboratorio, presentan deficiencias respecto de sus características físicas: peso unitario, diámetro, perímetro y área, lo que puede incidir de manera negativa en la seguridad estructural de las edificaciones.
3. Las propiedades mecánicas verificadas: esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y alargamiento del 20%, en su mayoría cumplen con lo establecido en las normas.
4. En general, se determinó que sólo el 25% de las muestras ensayadas cumplieron con lo establecido en las normas, tanto en sus características físicas, como en sus propiedades mecánicas.

5. Se observó que el diámetro de las barras mayormente utilizadas en las construcciones estudiadas es de 71 mm equivalente a 3/8 pulgadas. Esto muy posiblemente derivado de la tipología constructiva utilizada.
  
6. En lo que respecta a los grados nominales se encontró que las barras de acero para refuerzo más usadas son el grado 40 con un 80% de uso, seguido del 6% del grado 60 y un 14% que está fuera de rango. Esto también puede ser debido a lo discutido en el inciso 5.
  
7. Se determinó que en las edificaciones muestreadas se utiliza principalmente barras de acero para refuerzo de origen nacional, con un porcentaje del 90% sobre el producto extranjero. Siendo este mismo producido mayormente por medio de reciclaje extraído de chatarra variada.
  
8. La seguridad estructural de las edificaciones se debe de garantizar con el uso de acero que cumpla con lo que establecen las especificaciones.

## RECOMENDACIONES

Considerando que las edificaciones deben de garantizar la seguridad estructural, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar materiales de construcción que procedan de fábricas que garanticen la calidad de los mismos a través de un sello o marca de garantía que demuestren que han sido fabricados de acuerdo con lo que establecen las normas correspondientes.
2. En relación con las barras de acero para refuerzo, antes de ser utilizadas o colocadas en el proceso constructivo, debe de verificarse que las mismas cumplan, principalmente, con el grado estructural requerido, diámetros y áreas de acero.
3. Si se tiene duda respecto de la calidad de acero a utilizar, deben de analizarse muestras en laboratorio que tengan la capacidad para efectuar las evaluaciones correspondientes y de acuerdo con normas.
4. Realizar estudios a las barras de acero para refuerzo similares a los realizados en este trabajo de graduación a nivel comparativo, en otros municipios e incluso de otros tipos de materiales que se

utilizan en la construcción, aplicables a las edificaciones, tales como el concreto, agregados gruesos y finos.

5. Realizar capacitación, por medio de la Escuela de Maestros de Obra de la Facultad de Ingeniería, con el fin de tecnificar la mano de obra.
  
6. Dentro de los reglamentos de construcción, con que cuentan algunas municipalidades en el país, debe de implementarse disposiciones que permitan evaluar la calidad de los materiales utilizados en los procesos constructivos.

## REFERENCIAS

1. ASTM (American Society for Testing and Materials). **Designation: ASTM A615, Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.** EUA: ASTM International, 1990. 5 p.
2. CAPSA (Compañía de Aceros del Pacífico Sociedad Anónima). **Historia del acero.** (En línea). Chile: Infoacero, 2000. Consultado 10/03/10. Disponible en <http://www.infoacero.cl/acero/historia.htm>
3. CII (Centro de Investigaciones de Ingeniería). Informe No. 45-90: resultados de ensayos de laboratorio hechos a muestras de barras de acero para refuerzo. Guatemala: CII, USAC, 2010. 4 p.
4. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). **Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO) 36011:2005.** 2ª revisión. Guatemala: Ministerio de Economía, 2005. 21 p.
5. DIMM (Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalurgia). **Designación AISI con ocho componentes. Tabla de los porcentajes admisibles de ocho componentes en los aceros normalizados AISI/SAE.** (En línea) Chile: Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999. Consultado 10/03/10. Disponible en <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/tabla2-3.html>
6. Devore, Jay. **Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.** 6ª ed. México: Thomson, 2001. 796 p.
7. Galeano, Pluvio. **Aceros aleados.** (En línea). Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2010. Consultado 10/03/10. Disponible en [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_aleados.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_aleados.htm)

8. Hornbostel, Caleb. **Materiales para construcción: tipos, usos y aplicaciones.** 2ª ed. México: Limusa, 2002. 1021 p.
9. James, C., et. al. **Cyclopedia of Architecture, Carpentry and Building: A General Reference Work.** Vol I. EUA: American Technical Society, 1912. 452 p.
10. Metal Deck. **Manual técnico.** Colombia: Andes. 2004. 99 p.
11. McCormac, Jack. **Diseño de concreto reforzado.** 4ª ed. México: Alfa y Omega, 2002. 784 p.
12. Morales, Evelyn. **Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio relacionados con materiales de construcción.** Trabajo de graduación. Ingeniería Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 136 p.
13. Nawy, Edward. **Concreto reforzado, un enfoque básico.** México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1988. 743 p.
14. Nilson, Arthur. **Diseño de estructuras de concreto.** 12ª ed. Colombia: Mc Graw-Hill, 2004. 722 p.
15. Palmer, A. **Horno de acero de la acería Allegheny Ludlum Pennsylvania.** (En línea). EUA: Library of Congress, Prints and Photographs Division, Farm Security Administration - Office of War Information Collection, 1941. Consultado 08/03/10. Disponible en <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/fsac.1a35062>
16. Park, R y Paulay, T. **Estructuras de concreto reforzado.** 2ª ed. México: Limusa, 1997. 844 p.
17. SIDEGUA (Siderúrgica de Guatemala). **Análisis de laboratorio de SIDEGUA.** (Disco compacto). Guatemala: SIDEGUA, 2007a, 2.75 MB.
18. \_\_\_\_\_ (Siderúrgica de Guatemala). **Proceso de fabricación de SIDEGUA.** (Disco compacto). Guatemala: SIDEGUA, 2007b, 2.09 MB.



## ANEXOS

### Requisitos de diámetro y corrugación de las barras de acero para refuerzo según ASTM

No. de designación de barra <sup>A</sup>	Masa nominal, kg./m (Masa nominal, lb./pie)	Dimensiones nominales <sup>B</sup>			Requerimientos de corrugaciones, mm. (pulg.)		
		Diámetro mm. (pulg.)	Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (pulg. <sup>2</sup> )	Perímetro mm. (pulg.)	Espaciamiento máximo promedio	Altura mínima promedio	Ancho máximo de separación sin corruga <sup>C</sup> (cordón de 12.5% del perímetro nominal)
10 (3)	0.560 (0.376)	9.5 (0.375)	71 (0.11)	29.9 (1.178)	6.7 (0.262)	0.38 (0.015)	3.6 (0.143)
13 (4)	0.994 (0.668)	12.7 (0.500)	129 (0.20)	39.9 (1.571)	8.9 (0.350)	0.51 (0.020)	4.9 (0.191)
16 (5)	1.552 (1.0439)	15.9 (0.625)	199 (0.31)	49.9 (1.963)	11.1 (0.437)	0.71 (0.028)	6.1 (0.239)
19 (6)	2.235 (1.502)	19.1 (0.750)	284 (0.44)	59.8 (2.356)	13.3 (0.525)	0.97 (0.038)	7.3 (0.286)
22 (7)	3.042 (2.044)	22.2 (0.875)	387 (0.60)	69.8 (2.749)	15.5 (0.612)	1.12 (0.044)	8.5 (0.334)
25 (8)	3.973 (2.670)	25.4 (1.00)	510 (0.79)	79.8 (3.142)	17.8 (0.700)	1.27 (0.050)	9.7 (0.383)
29 (9)	5.060 (3.400)	28.7 (1.128)	645 (1.00)	90.0 (3.544)	20.1 (0.790)	1.42 (0.056)	10.9 (0.431)
32 (10)	6.404 (4.303)	32.3 (1.270)	819 (1.27)	101.3 (3.990)	22.6 (0.889)	1.63 (0.064)	12.4 (0.487)
36 (11)	7.907 (5.313)	35.8 (1.410)	1006 (1.56)	112.5 (4.430)	25.1 (0.987)	1.80 (0.071)	13.7 (0.540)
43 (14)	11.30 (7.65)	43.0 (1.693)	1452 (2.25)	135.1 (5.32)	30.1 (1.185)	2.16 (0.085)	16.5 (0.648)
57 (18)	20.24 (13.60)	57.3 (2.257)	2581 (4.00)	180.1 (7.09)	40.1 (1.58)	2.59 (0.102)	21.9 (0.864)

**A** Los números de las barras están basados en el número aproximado de milímetros del diámetro nominal de la barra (los números de las barras están basados en los octavos de pulgada incluidos en el diámetro nominal de las barras).

**B** Las dimensiones nominales de una barra deformada son equivalentes a las de una barra redonda plana teniendo el mismo peso (masa) por pie (metro) de la barra deformada.

**C** Separación entre los extremos de corrugas.

**Nota:** En tanto se establece el plazo para la transición plena del país al uso del Sistema Internacional, se usará el punto para separar las cifras decimales de las cifras enteras, pues lo correcto es el empleo de la coma.

Fuente: ASTM, 1990

## Composición de elementos químicos máximos y mínimos en las barras de acero producidas por SIDEGUA

Grado del Acero	Barras	Preferencias	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn	Al	P+S	Ceq	Resi	
G 60 SD1041	De 1" a 1 3/8"	Mínimo	0.380	1.350	0.150										0.634	0.735	
		Óptimo	0.400	1.400	0.175											0.662	0.735
		Máximo	0.420	1.450	0.200	0.040	0.130	0.040	0.005	0.060	0.030	0.400	0.040			0.691	0.735
G 60 SD1041	De 5/8" a 7/8"	Mínimo	0.370	1.350	0.150										0.624	0.735	
		Óptimo	0.390	1.400	0.175											0.652	0.735
		Máximo	0.410	1.450	0.200	0.040	0.130	0.040	0.005	0.060	0.030	0.400	0.040			0.681	0.735
G 60	De 3/8" a 1/2"	Mínimo	0.360	1.150	0.150										0.581	0.735	
		Óptimo	0.380	1.200	0.175											0.609	0.735
		Máximo	0.400	1.250	0.200	0.040	0.130	0.040	0.005	0.060	0.030	0.400	0.040			0.637	0.735
G 40 SD1025	De 3/4" a 1"	Mínimo	0.210	0.500	0.150										0.322	0.735	
		Óptimo	0.230	0.550	0.175											0.351	0.735
		Máximo	0.250	0.600	0.200	0.040	0.130	0.040	0.005	0.060	0.030	0.400	0.040			0.379	0.735
G 40 SD1016	De 3/8" a 5/8"	Mínimo	0.130	0.650	0.150										0.267	0.735	
		Óptimo	0.150	0.700	0.175											0.296	0.735
		Máximo	0.170	0.750	0.200	0.040	0.130	0.040	0.005	0.060	0.030	0.400	0.040			0.324	0.735

- Ceq = C + Mn/6 + Cu/40 + Ni/20 + Cr/10 – Mo/50 – V/10. Según Norma ASTM A-706.
- Residuales (Resi): Cr + Ni + Mo + Cu + Al + Sn.

Fuente: SIDEGUA, 2007a

**Requisitos de límite de fluencia, resistencia a la tensión y elongación según COGUANOR NGO 3611**

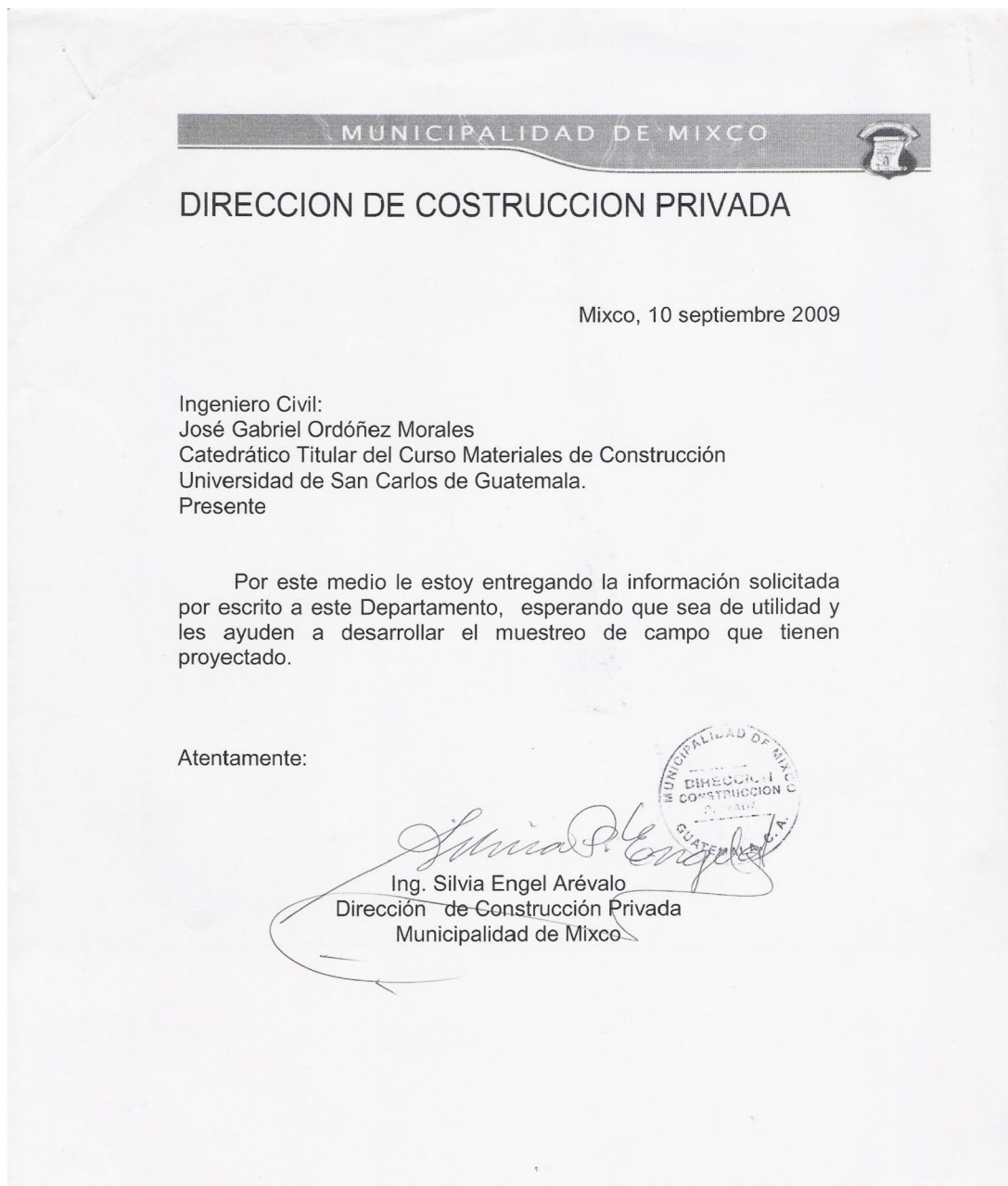
	Grado 280 (40) <sup>A</sup>	Grado 414 (60)	Grado 517 (75) <sup>B</sup>
Máxima resistencia a la tensión, min., MPa (psi)	414 (60,000)	620 (90,000)	690 (100,000)
Esfuerzo de fluencia, min., Mpa (psi)	280 (40,000)	414 (60,000)	517 (75,000)
Elongación en 203.2 mm. (8 pulg.), min., %:			
No. de designación de barra			
10 (3)	11	9	-
13, 16 (4, 5)	12	9	-
19 (6)	12	9	7
22, 25 (7, 8)	12	8	7
29, 32, 36 (9, 10, 11)	-	7	6
43, 57 (14, 18)	-	7	6

A Barras grado 280 (40) son fabricadas únicamente en designaciones de 10 a 25 (de 3 a 8).

B Barras grado 517 (75) son fabricadas únicamente en designaciones de 19 a 57 (de 6 a 18).

Fuente: COGUANOR, 2005

**Carta de entrega del listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco**



Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009

## Listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
3C A 5-36 Maz. 1 Lote 373 z.2 El Tesoro	cambio de techo 117.20 mts2 1nvl.+20.88mts2 muro perimetral 1nvl.
14Av. A 6-76 z.8 Vista Al Valle b-7	terminacion de obra
5Av. A 8-53 z.8 valle de san cristobal	consts. 381.11mts.
lote 03 maz. C tipo c-03 san jose las rosas z.6	muro perimetral de 1niv. 145m2 (2.5alt)
7c A 17-83 z.8 vista al valle	const. 292.11mts.2
33calle 5-92 z.10 nuevo Horizonte la comunidad	const. 210.79mts2
10calle a 8-26 z.11 planes de minerva	muro perimetral de 117.50m2 (2.5alt) 1niv.
31C 18-35 lote 47 z.7 res. El campestre	const. 276.42mts2
Km. 16.5Carr. San juan sacatepequez 24-10 z.6 el naranjito	cons. 1332.51mts2
8C A 7-29 z.8 Valles de San Cristobal Mz. A lote 33	Cons. 222.22
4Av. 250-60 km. 18.5 Carr. Interamericana z.1 Mixco	Pago Final construccion 2211.57mts2
11AV. 7-09 Mz. I lote 21 z.8 San Cristobal I	Muro Perimetral 1nvl. 187.50mts2
6C 9-42 Mz. M lote 8 z.8 Sect. A-10	const. 2387.1
facc. B lote 27-c z.9 labor de castilla I	const. 418.58 mts2
15C A 12-64 z.11 Jardines de Minerva I	const. 106.97mts2
5av. 6-51 z.1 Mixco	demolicion 1nvl. De 263.25mts2
2C 9-89 sect. A-1 z.8 san cristobal i A-1	consts. 354.98mts2
0C A 04-76 z.8 Col Hamburgo	const. 126.56mts2
5AV. B 08-19 z.8 Valles de san cristobal	const. 175.73mts2
22Av. 3-31 z.8 sect. B-1 san cristobal	const. 348.55
17Av. 3-52 z.10 La corona Comunidad	const. 250.39mts.2
2C 12-58 z.8 Sect. B-1 z.8 san cristobal	const. 299.09mts2
19AV. C 8-30 z.8 san crisotbal sect. B-2	const. 533.37
10AV. A 15-53 z.11 villas dre minerva	const. 236.8
10C 31-84 z.4 Bosques de san nicolas	const. 350.16m.2.
10AV. 00-59 sect. B-1 lote 22 z.8 Pinares de S.C.	cosn. 344.87
10AV. 00-59 sect. B-1 lote 19 z.8 Pinares de S.C.	const. 344.87
22AV. 7-11 Sect. B-1 z.8 San Cristobal II	muro p. 141.81 1niv- (2.5alt)
4AV. 20-05 lote 3 fase 4 z.10 valles de san jacinto	const. 103.72m2.
4C 12-76 sect. B-3 z.8 san cristobal	const. 500.68m.2.

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
lote 8 fracc. D z.9 Labor de castilla I	consts. 529.59
58-75 boul sacoj chiquito z.6	muro p. 1niv. 33.75m.2.
2C 16-80 z.8 sect. B.1 san crisotbal	const. 356.51m.2.
6c. 3-30 z.3 castaño	amp 1niv. Tipo car-port de 34m2 +amp 2niv. 108.19m2 +dem muros intrnos 12.37m2
17av. A 17-69 z.10 corona comunidad	const. 167.8
Sect. 02 mz.D lote 16 z.4 Jardines de tulan zu	const. 248.64m2
8C 8-94 z.8 sect. A-10	muro perimetral 1niv. 113.04m2 (alt3)
lote 3 maz. a sect. 1 z.9 col Saturno	cambio de t/losa 130m2 1niv.
3calle 12-32 (maz. A lote 36) z.8 sect. B-3 san cristobal	escavacion de 680m3
6C 31-72n Bloque 302 lote 5 z.4 Bosques de san nicolas	cosnt. 228.72m2
Carr. A San Lucas lote 3.18 km. 21.5 z.1 Mixco	const. 704.45m2
km. 24.5 carr. Intram lot. 9 z.9 labor de castilla I	movimiento de tierra de 238m3
29av. 8-50 z.4 col final el naranjo	amp. Tipo bodega 1niv. 603.77m2
28c. C 1-29 col bella vista z.10 comunidad.	viv. t/losa 45m2 +muro perimetral de 100.52m2
12av. B 5-587 z.8 sec. b-3 san cristobal I	cosnt. 904.76m2
6C a 14-09 Mz. E lote 25 z.8 Vista al valle b-7	cosnt. 217.21m2
8C 26-29 z.6 Col 10 de mayo	cosnt. 114.27m2
9C 03-14 z.3 El Rosario	perforacion de pozo 1300pies de profundidad +cisterna 250m3
7C a 9-55 lote 2 saec. A-10 z.8 san cristobal I	consts. 299.7mts2
lote 107 maz. A lomas del bosque z.11	mobimiento de tierra 664m3
63C 14-15 z.6 sacoj chiquito	muroperimetral 1niv. 105m2 ( 2.5 alt )
sector 003 Maz. D lote 36	nivelaciondde terreno de 108m3
3calle 13-37 z.2 Col. La Escuadrilla	demolicion de vivienda 2niv. 328.08m2
3 calle 13-53 z.2 Col. La Escuadrilla	demolicion de vivienda 2niv. 271.34m2
40calle D 1-24 z.10 Barrio san antonio	muro perimetral de 1niv. 114.5m2 (2.5alt)
finca san jose z.6 el naranjito	movi. Tierra 2000m3 +muroperimetral de 242.79m2+garita 73.28m2
10av. B 1-77 z.6 sect. 1 lote 30 maz. N	fundidicon de losa 195.98m2 1niv.
75C 11-05 la Esperalidas z.6 Sacoj Grande	muroperimetral 1niv. 114m2 (3alt.
2av. A 3-30 z.3 jacaranda	cosnt. 229.1mts2
2av.13.-89 z.8 Sect. B-1San Cristobal	Cons. 664.81m2

Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009

## Listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
37calle 2-12 z.10 Cerrito comunidad	cosnt. 177.76m2
6av. 31-36 z.1 lo de coy	cosnt. 857.80m2
lote 04 Fracc. A Colina de Minerva z.11	muro perimetral de 145m2 (2alt)
4valle 11-57 z.3 Nueva Monserat	amp. Vivi. 1niv. 84m2 +amp. 2niv. Apto indeopendiente tehcode losa 152.72m2
1calle 16-58 z.8 sect. B-1 san cristobal I	cosn. 310.85m2
4calle 11-37 z.3 nueva monserrat	amp. Viv. 1niv. 84m2 +amp. 2niv. Apto independiente tehcode losa 152.72m2
17av. 1-10 z.11 Lo de Fuentes	const. 239.75m2
18av. 5-36 Maz. Q lote 15 z.8 Vista al valle	cosnt. 124.65m2
5calle A 12-44 z.8 san cristobal b-3	cosn 119.60m2
36av. 04-98 z.4 Bosques de san nicolas	cost. 380.58m2
Boul. SAN Cristobal 16-74 Fracc. C z.8	muro perimetral de 2niv. 105.34m2 (2.5alt)
lote 4 z.9 labor de castilla I	mobimiento de tierra de 5400m3
Facc. 2 lote 72a seccion AA tronco II z.7	const. 439.62m2
7av. 03-52 z.2 Tesoro	cons. 354.66m2
9av. A 1-24 z.8 Sect. A-1 san cristobal	cost. 460.66m2
2calle a 14-88 sect. 2 z.8 pinares II	cosn 283.57m2
lote 14 maz. E sect. 04 z.4 jardines de tulan-zu	const. 176.8m2
34av. 4-19 z.4 bosques de san nicolas	cons. 219.41m2
1av. 1-61 z.4 Monserrat. I	const. 304.47m2
lote 14 Fracc. A z.9 Labor de castilla I	cons. 604.27m2
7calle 4-66 z.7 Belen	cambio de techo 120.09 m2 1niv.
1calle A 11-15 z.11 lo de fuestes	cons. 149.12m2
10av. 02-03 z.7 La Brigada	muro perimetral. 119.80m2 (3.3alt) 1niv.
3calle F 14-60 (maz. J lote 3a) z.8 vista al valle b-7	muro perim. 111m2 (3alt)
24calle 03-95 z.10 san jose comunidad	amp. 333.50m2 vence 31-12-09
7av. 04-21 z.1 mixco	demolicion de 100m2 1niv.
16calle B 10-74 sect. 5 z.11 planes de minerva	amp. 2niv. 109.30m2
14c. 9-48 z.1 tierra blanca	muro perimetral de 105m2 (2.5alt) 1niv.
comunidad z.10 lote s/n	muro perimetral de 151.92m2 (2.2.alt) 1niv.
7calle y 21a 21-71 8sect. 003 Maz, 0 Lot 5) villa de san	remodelaicon de 300m2 1niv.
5av. 06-51 z.1 Ciudad de mixco	const. 422.44m2

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
lote 20 maz. C sec. 03 z.4 jardines de minerva	amp. 2niv. Tipo apto independiente 114.15m2+pasamanos 2niv. 45.09m2
28 a 9-36 8sect. 00 Maz. 103 Lot 9) Bosques dde san nicolas	muro perimetral de 1niv. 112.50m2 (2.5alt)
37av. 5-21 z.4 bosques de san nicolas	bodega de tablayeso y duralita 211.25m2+ drenajes Q. 950.00
maz. A lote 18 z.6 El Encinal	cons. 117.16m2
06 cale 10-24 la Brigada z.7	cambio de techo lamina a losa 2niv. 22m2 +pasamanos 3niv. 19m2
5av. 3-19 Sect. C-6 Valles de San Cristobal	cos. 108
35calle 1-27 z.10 Comunidad.	amp de vivienda tehcode losa 100.38m2 2niv.
1calle 9-71 (maz. H lote 4) sect- a-1	muro perimetral de 119m2 82.5alt) 1niv.
0av. 04-02 z.8 a-4 loma real	cosn. 315.77m2
5C. A 4-53 z.7 belen	const. 236.63m2
6c. A 6-59 Mz. B lote 89 z.8 sect- c-1	viv. Nuev. l/losa 47m2 +muro per. 128.75m2+drenajes Q. 950.00
6c. 13-06 lote 1-a mz. G z.8 sect. B-2	const. 345.56m2
lote 07 maz. I sect. 03 z.4 jardines de tulan zu	cosnt. 162.72m2
finca san jose z.6 el naranjito	movimiento de tierra de 5333.33m3 por 1 mes
2av. Mz. C lote 8 z.1 Las Hojarascas	const. 270.98
7av. 11-71 z.11 colonas de minerva	muro de 187.20m2 1niv.
7av. 11-71 z.11 colinas de minerva	muroperimetral de 1niv. 187.20 (2.60alt)
9c. D 15-05 la brigada z.7	muroperimetral de 112..94m2 (2.5alt) 1niv.
7av. 8-32 (maz. J lote 18 sect. C-6 valles de san cristobal z.8.	const. 240.28m2
7av. 8-32 z.8 valles de san cristobal	cons. 6586.54m2
2calle a 10-39 sect. 2 z.8 pinares II san cristobal	Cons. 324.70m2
6av. 20-32 z.1 lo de coy	muro perimetral de 217.50m2 (2.5alt)
carr inter. 0 23calle 9-90 z.1 lo de coy	const. 243.44m2
19av. 8-13 sect. B-2 san critobal II zona 8	cosnt. 165.1m2
5calle 0-24 sect. A-54 san critobal I zona 8	const. 486.76
20av. 4-36 sect. B-1 san cristobal II	const. 209.61m2
8calle 8-92 (maz. L lote 6a) z.8 sect. A-10	const. 382.73
Maz. D lote 36 z.4 Jardines de tulan zu	const. 277.25m2
diagonal B 3-71 z.11 colinas de minerva	consr. 108m2
7calle 31-65 (bloque 306 lote 20) z.4	vivienda nuev. 38m2 l/losa + muroperimetral de 135.72m2+ drenajes q.950.00
2calle 14-20 z.8 sect. B-1 san cristobal I	const. 13277.06m2

Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009

## Listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
kilom. 24.5 interamericana bosques de castilla ll lote 2 zona 9	cons. 655.99m2
5av. 2-63 z.5 Santa Marta	Cons. 106.42m2
3av. 28-65 Comunidad z.10	cambio de techo lamina a losa 2niv. 133m2
11calle final 15-34 z.11 lo de fuentes	vivienda nueva t/losa 40m2 1niv.+ muro per. 112.50m2 +drenajes 950.00
3av. A 8-77 (maz. M lote 3) z.8 Balcones de san cristobal	const. 170m2
1calle 33-05 z.6 villa vistoria	const. 195.73m2
2calle B 11-75 z.11 aldea lo de fuentes	cambio de techo de losa 1niv. 101.11m2
6calle 7-79 z.11 jardines de minerva ll	const. 125.19m2
0calle 15-62 (sect. I lote 25 Maz. D ) z.8 col. Pinares de san cristobal	const. 313.16
13caalle 7-76 z.11 colinas de minerva	vivnda nueva. 1niv. 27m2+ muro perim. 109.35m2+drenajes q.950.00
5av. 20-64 z.5 primero de julio	cambio de techo 1niv. 100m2
15av. 12-64 z.6 san jose las rosas	muro perimetral de 145.60m2 (2.5alt) 1niv.
12av. A 4-24 z.7 la brigada	amp de vivi, techo de losa 102.72m2
maz G lote 28 z.4 Villas de san jose III	const. 329.06m2
37av. B 12-41 z.6 alamadas de yumar	cosnt. 298.14m2
0calle C 24-15 z.10 Comunidad	vivienda nueva t/losa 37.28m2 + muro perimetral de 70.50m2
lote 23 maz. A sect. 03 z.4 jardines de tulan zu	muro perimetral de 1niv. 115m2 (2.5alt)
2calle a 14-48 (maz, G lote 29a) z.8 pinares I	const. 321.96
2calle a 14-42 (maz, G lote 28) z.8 pinares I	const 321.96
0 calle 16-60 Lo de Perelda z.11 lo de fuentes	vivienda nueva t/losa 16.11m21niv.
0calle 13-15 lote 100 z.1 roconal	amp de vivi. Techdoe losa 34.44m2 1niv.
3calle c 19-87 (maz. E lote 13) sect. B-4	muroperimetral de 410.40m2 (3alt)
6av. A 4-96 (mz. C lote 13l sect. A-3 san crisotbal	muro perimetral de 112.70m2 1niv. Bloques intercalados de 6 y 2m altura
1calle B 15-62 z.8 San cristobal	const. 246
11calle 18-30 interior z.6 san jose yumar	muro perimetral de 183.35m2 (2.5alt) 1niv.
5c. A 6-60 (maz. A lote 54) sect. C-1 san critobal	vivienda nueva de 3niv. 150.94m2 + cisterna de 11m3 + muro perimetral de 47.50m2
1calle 14-66 (maz. S lote 17) z 8 sect. B-1 san cristobal	const. 421.85m2
8c. 5-56 z.7 belen	const. 269.87
18 av. 3-83 (maz. G lote 2) z.8 Sect. B-3 san Cristobal	muroperimetral de 1niv. 130m2 (2.5alt)
0a "A" 3- 14 Monserrat z.4	cambio de tcho lamina por lamina 108m2 2niv.
0av. A 18-21 lo de coy	muro perimetral de 117 (3alt)
MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
lote 72 Secc. A tronco 2 zona 7 Encinal	cons 293.97m2
10calle a 5-03 nueva Monserrat	amp de comercio techdoe losa 148.88m2 3niv.
8c. A 47-20Maz, D lote 15 z.3 villa verde ll	terminacion de obra 114.75m2 amp 3niv.
0av. C 03-78 monserrat I	cambi de techo lloosa 124.67m2 2niv. + voladizo de 0.60ml.
5av A 8-73 ( mz. F lote 8) z.8 Valles de san cristobal	const. 244.69m2
16c. 15-66 (lote 7) z.7 Col. El Alamo	cosnt. 220.41m2
15c. 15-31 z.11 jardines de minerva I	cosnt. 117.42m2
6av. 10-24 z.7 belen	bodega de 99.72m2 + muroperimetral de 106.83m2 + plancahs de concreto 109.20m2
5av. C 22-72 Primero de julio z.5	muro perimetral frontal 1niv. 110m2 (2.5alt)
0av. A 3-39 monserrat I z.4	cambio de techo lamina con estructura metalica 180m2 1niv.
0c. A 12-77 z.1 Roconal	amp de vivi. 2niv. t/losa 157.03m2 + pasamanos 3niv. 58.81m2
carr. Inter Km. 24.5 lote 3a-5 cond bosques vivo z. 1	const. 895.64m2
3av. 8-32 z.8 Balcones de san Cristobal	const. 264.82m2
10av. 04-88 z.9 satellite proyecto ll	cistn 162.85m2
0av. 03-44 z.7 belencito	const. 172.42m2
2c. A 12-63 z.8 sect. B-1 san cristobal I	cosnt. 181.66m2
11av. 26-08 z.6 San Francisco I	cosnt. 307.95m2
1c. A 6-16 (nmz. F lote 13) z.8 sect. A-6	amp de car-poot 48m2 1niv. + amp do posterior 1niv. 28m2 + mp aptos independientes 2niv.. 142m2 + muro perimetral 44.80m2 2alt
2c. 1-44 z.10 col. Majaditas	cosn 628.92m2
10av. 2-15 Mz. B lote 5) z.8 sect. A-9	const. 536.86m2
09 calle D 15-05 La Brigada zona 7	muro perimetral 1niv. 285.71 (2.5alt)
15av. B 08-81 z.7 La Brigada	muro perimetral 1 niv. 99m2 (2.5alt)
lote 11 Maz. I sector III z.4 villas de san jose	muro perimetral 128m2 (2.5alt)B 1niv.
4c. C 03-52 sector a-5 z.8 san crisotbal	cons. 209m2
7av. 14-80 z.11 colinas de minerva	cosnt 400.05
maz. B lote 61 complejo habitacional z.11	amp de vivii tehode losa 2niv. 113.90m2 + losa 1niv. 30m2 + muro lperimetral 1 iv. 2.5alt) 7m2
33c. B 13-33 z.6 col. Lo de bran I	const. 113.16m2
12av. 1-93 z.2 alvarado	aptos independientes tehode losa 134.37m2 2niv.
12av. 1-93 z.2 alvarado	amp area bodega seca 888.88m2 + parqueo sotano 1111.11m2
12av. 1-93 z.2 alvarado	amp de bodega seca 888.88m2+ parqueo sotano 111.11m2
4c... A 0-37 Mz. M lote 13 z.8 sector a--4	cons 572.20m2

Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009

## Listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
31av. 02-73 z.6 san jose los pinos	const. 166.86m2
1c. 15-47 z.8 sector b-1 san cristobal	cont. 387.39m2
13av. A 5-79 z.8 sector b-2 san crisotbal I	const. 912.41m2
lote 20 maz. C paseo de villa flor	amp de 1 apto indep. 123.07m2 2niv
10av. 01-06 z.4 monte real	amp de viivi tehode losa 169.43m2 2niv
36av. 4-82 z.4 bosques de san nicolas	mov. Tierra 75m3 + muroperimteral 1niv + col porton 196m2
18av. 0-66 z.6 las brisas	cosnt. 146.60m2
35av 03-35 z.4 bosque de san nicolas	cos. 421.6m2
sect 2 maz. D lote 22 km, 19 carr. San juan z.6	con t 95.95m2
sect 2 maz. F lote 20 km. 19 carr a san juan z.6	cosnt. 100m2
sect. 2 maz. D lote 25 km. 19 carr a san juan z.6	const 100.65m2
sect. 2 maz. F lote 19 km 19 carr. A san juan sac-	cosnt. 100m2
7c. 31-65 (bloque 306 lote 20) z.4 bosque	muroperimteral 114.28m2 (5alt) 1niv
37av. 06-56 bosques de san nicolas z.4	cost. 2020.81m2
1C: 2-85 Z.8 Caldea EL Campanero	Cosnt. 666.66m2 Primer pago
3AV. LOTE 47 Z.7 RES. CAMPESTRE EL ENCIANL	LIC. URBANIZACION 114-2009 AREA DE COSNTRUCION DE 7183.07M2
1C. A 11-39 Z.11 ALDEA lo de fuentes	const. 325.54m2
0AV. A 3-14 MONSERRAT I Z.4	CAMBIO DE TECHO LAMINA POR LAMINA 108M2 2NIV
15AV. 5-10 MAZ. K LOTE 43 BLOQUE 4 Z.3 NUEVA MONSERRAT	
6av. 3-68 mz. G lote 21 bloque 3 z3 nueva monserratt	cambio de tehco lamina por lamina 127m2 1niv
11c. 06-75 bosques de san nicolas z.4	continuiacion de muro perimteral 1niv consd la fontana 245m2 (3.5alt
9AV. 10-44 Z.11 PLANES DE MINERVA	CONST. 239.60M2
11av. B 1-64 (maz. G lote 5) z.8 sector b-4 san cristobal	cost. 209.87m2
1c. A 11-94 z.8 sector b-4 san crisotbal	cosnt. 351.38m2
2c. 12-03 maz- a lote 17C z.8 sector b-4 san cristobal	amp de vivi ktehode losa 15m2 + terminacuion de obra 210m2
7av. 11-93 setor c-1 z.8 san cristobal I	amp de vivi tehode lsoa 2niv 118.33m2+ balcon 9.40m21niv + balcon 2niv 4.99m2
9c. 0-52 maz. V lote 6 z.4 monseraat I	levantado 2n (dth) 147m2 + cambio de tcho lamina a lamina 180m2 + amp 1niv 52.80m2 + mezzanine 2niv 52.80m2
10av. 0-28 pinares de san cristobal zona 8	cosnt 206.25m2
kilometro 24.5 carretera intramericana lote 9 labor de castilla I zona 9	cosnt. 348.37m2
11av. B 14-00 z.11 planes de minerva	cosnt 106.92m2
1calle A 14-44 z.8 Sector b-1 san crisotbal 1	cosnt. 625.56m2

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
11C. 18-30 Interior San Jose Yumaqr z.6	cosnt. 199.14m2
5C. "B" 14-19 z.8 Sector B-2 San Cristobal	cosnt. 103.20m2
14av. "A" 00-53 z.2 Col. Gonzalez	const. 154.29m2
19AV. "A" 7-31 z.4 Col. Villas de SAN Jose	const. 211.27
1C. 01-28 z.1 Col. Lomas de Portugal	Comst. 118.4m2
1C: 2-85 Z.8 Caldea EL Campanero	const. 186.97m2 segundo pago
28AV. 7-25 Carretera A San Juan Sacatepequez Z.6	Cosnt. 45906.03m2 Primer Pago
15av. "B" 0-49 (maz. H Lote 56 z.8 Sol. SanCristobal Sector B-1	Const. 390.87m2
29av. 8-50 z.4 Col. Finca EL Naranjo	Const. 230.4m2
6av. 05-58 z.9 Satelite	Cosnt. 168.06m2
16av. A 13-59 (mz. A lote 88 Z.11 Condado lo de Fuentes	Const. 110m2
16av. A 13-55 (Maz. A Lote 87) z.11 Condado lo de Fuentes	Const. 110m2
13AV. 0-40 Zona 2 La Escuadrilla	Const.878.67m2
3av. 13-74 Col. EL Rosario Z:3	Const. 565.82m2
30C: 12-51 Z.6 Lo de Bran I	Const. 117.87m2
19AV. "B" 2-16 Z.8 sector B-4 Col. San Cristobal I	Const. 112.75m2
1av. 03-43 z.9 Col. Balcones de san Cristobal	Const. 310.69m2
4C. 15-73 Maz. C-2 Lote 2 Z.4 Valle del Sol	Const. 675.7m2
28AV. 7-25 Carretera A San Juan Sacatepequez Z.6	Ultimo pago urbanizacion Cosnt. 45906.03m2
6av. 30-01 (Lote 37 Condoninio Paisajes de Comunidad Z. 10	Const. 172.5m2
1C: 2-85 Z.8 Caldea EL Campanero	const. 186.97m2 tercer pago
4C. "A"13-48 Z.8 Sector B-2 Col. San Cristobal I	Const. 119.33m2
Km. 18.5 Carr. A San Juan Sac. 41-36 Z.6 Aldea El Naranjito	Const. 370.16m2
5C. 13-55 Sector B-2 San Cristobal	Const. 456.03m2
11av. 05-16 z.8 Sector c-1 San Cristobal I	Const. 122.26
0AV. "A" 3-28 Z.8 Balcones de san Cristobal	Const. 147.97m2
7C: "A" 21-26 Sector B-1 San Cristobal I Zona 8	Const. 428.5m2
Carretera Interamerica Kilometro 19 7-258 Lote 12-B Condoninio Puerta del Valle Lo de Coy Zona 1	Const. 700.28m2
12av. B 12-55 Z.11 Lo de Fuentes	Const. 150.56m2
11 AV: 5-08 Sector C-1 SAN Cristobal I Zona 8	Cosnt. 302.52m2
5AV: "C" 1-36 Sector a-6 San Cristobal I Z.8	Cosnt. 706.2m2

Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009



## Listado de licencias de construcción del área urbana de Mixco

MUNICIPALIDAD DE MIXCO	
DIRECCION DE CONSTRUCCION	TIPO DE CONSTRUCCION
7Av. 10-13 Z.8 Sec. C-1 San Cristobal I	Const. 114.61m2
16 Av. "C" 1-24 Lo De Fuentes Z. 11	Cosnt. 190.2m2
0C. 3-13 Sector B-5 San Cristobal I Z.8	Copsnt. 857.91m2
1C: 2-85 Z.8 Chaldea EL Campanero	const. 186.97m2 tercer pago
10Av. "B" 1-35 Sect. 1 Z.8 Pinares de San Cristobal	Cosnt. 438.09m2
15C "C" 13-77 (maz. 14 Lot. 5) Jardines de Minerva I	Const. 120m2
23C. 11-62 Z.10 San Jose La comunidad	Cosnt. 200.53m2
2C. "A" 10-22 Sector 2 Z.8 Pinares de san Cristobal	Cosnt. 120m2
27Av. 7-28 Z4 El Naranjo	Const. 111.11m2
42C. 00-54 Z.10 San Jose La Comunida	Cosnt. 230.83m2
9c. "A" 5-61 Z. 3 nueva Monserrat I	Cosnt. 109.24m2
14av. 05-65 Sector b-2 Z.8 SAN Cristobal I	Const. 300.17m2
Km. 19 Carr. A San Juan Sac. 44-60 Z.6	Const. 227.17m2
5AV. "A" 08-71 Z.8 Col. Valle de San Cristobal	Const. 248.16m2
7C: 12-32 "A" Z.11 Aldea lo de Fuetnes	Const. 170m2
lote 7 Maz. C saturno II Z.9	Cosnt. 116m2
16Av. "A" 01-09 Z.11 Col. Lo de Fuentes	Const. 154.51m2
7C. "C" 01-04 Z. 4 Monserrat I.	Const. 102.53m2

Fuente: Municipalidad de Mixco, 2009

# Resultados de ensayos del laboratorio del CII hechos a las muestras de barras de acero para refuerzo



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 011420

## BARRAS DE ACERO

INFORME No. 45-M

O.T. No. 26437

INTERESADO: JORGE VINICIO ARRESIS LOPEZ  
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION \* VERIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO\*.  
 PROVEEDOR: \*\*\*\*\*  
 ASUNTO: ENSAYO DE TENSION EN BARRAS DE ACERO.  
 FECHA: GUATEMALA 21 DE ENERO DE 2010.

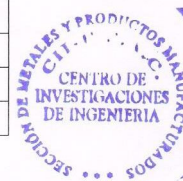
### 1. ANTECEDENTES

El estudiante Jorge Vinicio Arresis López con numero de carne 8318494 solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de tensión a 24 Barras de Acero. Los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación " VERIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO".

### 2. RESULTADOS

Identificación	Peso kg/m	Diámetro* mm	Perímetro* mm	Area*cm <sup>2</sup>	Espac. Long. mm	Ancho Ribete mm	Altura mm
74 X 4-B	0.569	9.62	30.21	0.726	9.50	2.75	0.72
75N 12-A	0.533	9.31	29.24	0.680	6.60	1.82	0.66
76X 11-B	0.550	9.45	29.69	0.701	9.60	2.72	0.65
77X 9-A	0.551	9.46	29.73	0.703	9.90	2.35	0.68
78X 16-A	0.409	8.15	25.62	0.522	11.2	2.28	0.63
79X18-B	0.582	9.72	30.54	0.742	8.7	2.44	0.68
80X 8-A	0.440	8.45	26.56	0.561	10.0	1.90	0.50
81X 17-A	0.407	8.13	25.54	0.519	12.6	2.07	0.63
82X 10-A	0.402	8.08	25.39	0.513	12.5	1.92	0.60
83X 2-B	0.562	9.55	30.02	0.717	9.50	2.68	0.74
84X 3-A	0.567	9.6	30.15	0.723	9.60	2.74	0.73
85X 18-B	0.534	9.31	29.26	0.681	10.6	2.23	0.83
86X 6-A	0.567	9.6	30.15	0.723	9.50	2.67	0.65

1-1



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, 2010

## Resultados de ensayos del laboratorio del CII hechos a las muestras de barras de acero para refuerzo



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 011421

INFORME No. 45-M

O.T. No. 26437

INTERESADO: JORGE VINICIO ARRESIS LOPEZ  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION " VERIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO".

Identificación	Peso kg/m	Diámetro* mm	Perímetro* Mm	Area*cm <sup>2</sup>	Espac. Long. Mm	Ancho Ribete mm	Altura mm
87V 5-A	0.557	9.51	29.87	0.710	13.50	2.16	0.91
88X 13-A	0.736	10.93	34.36	0.939	15.5	2.63	0.83
89X 15-A	0.973	12.57	39.50	1.241	11.50	2.52	1.16
90X 9-B	0.959	12.47	39.20	1.223	11.90	2.43	0.96
91X 4-A	0.974	12.57	39.50	1.242	12.00	2.61	1.17
92X 7-A	1.029	12.93	40.60	1.312	12.30	2.24	1.27
93X 2-A	0.974	12.58	39.50	1.242	11.80	2.11	1.11
94X 11-A	0.953	12.43	30.07	1.215	11.80	2.22	0.82
95X 11-B	0.956	12.46	39.13	1.219	11.70	2.19	1.05
96X 18-A	1.198	13.94	43.81	1.528	11.60	2.41	0.73
97X 1-A	1.531	15.76	49.32	1.952	14.50	2.69	1.04

### ESPECIFICACIONES SEGÚN NORMA COGUANOR 36011

Peso kg/m	Diámetro* Mm	Perímetro* Mm	Area*cm <sup>2</sup>	Espac. Long. Mm	Ancho Ribete mm	Altura mm
Nominal						
0.560	9.50	29.90	0.71	6.70	3.6	0.38
0.994	12.70	39.90	1.29	8.9	4.9	0.51
1.552	15.9	49.90	1.99	11.1	6.1	0.71

\*Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.

2-1



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 1502, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, 2010

## Resultados de ensayos del laboratorio del CII hechos a las muestras de barras de acero para refuerzo

Identificación	Esfuerzo Fluencia mpa	Esfuerzo Máximo mpa	Alargamiento 20 % cms
74	335.6	484.8	28
75	331.4	497.2	23
76	328.7	464.0	25
74	335.6	484.8	28
75	331.4	497.2	23
76	328.7	464.0	25
77	328.7	450.2	23
78	255.6	353.5	22
79	359.1	522.1	25
80	262.4	379.8	28
81	267.9	372.9	18
82	294.2	441.9	17
83	345.3	480.6	28
84	331.4	469.6	28
85	317.6	453.0	24
86	339.7	479.2	22
87	345.3	538.6	20
88	285.0	396.8	19
89	319.2	464.4	22
90	314.7	447.7	28
91	315.4	456.1	25
92	311.6	454.6	25
93	319.2	447.0	27
94	320.0	450.8	30
95	299.6	429.5	22
96	334.4	486.5	28
97	463.2	734.2	15



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 011422

INFORME No. 46-M

O.T. No. 20437

INTERESADO: JORGE VINICIO ARRESIS LOPEZ  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION " VERIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO "



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, 2010

## Resultados de ensayos del laboratorio del CII hechos a las muestras de barras de acero para refuerzo



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 011424**

---

INFORME No. 45-M

O.T. No. 26437

INTERESADO: JORGE VINICIO ARRESIS LOPEZ  
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "VERIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO UTILIZADOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE USO COMERCIAL Y VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE MIXCO".

ESPECIFICACIONES COGLIANOR 36011 SEGUNDA REVISION  
GRADO #0

ESFUERZO DE FLUENCIA Mpa	ESFUERZO MAXIMO Mpa	% ELONGACION 20 cm		
		#3	#4	#5
280**	414**	11	12	12

Nota: Corruje en X, el espaciamiento Long. Corresponde a dos corrugaciones.

**Observaciones:** muestras proporcionadas por el estudiante.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe de Metales y Productos  
Manufacturados



Vo.Bo.



Ing. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA Centro Investigaciones de Ingeniería



/cbr



C.I.I. - U.S.  
c.c. de la U.S.A.C.  
SECCION DE METALES  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
SECCION DE METALES Y PRODUCTOS MANUFACTURADOS

---

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 13  
 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
 Pagina web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: CII, 2010