



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

**COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS
CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO**

Julio Roberto Cáceres Díaz

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2014

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 | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza |
| EXAMINADOR | Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría |
| EXAMINADOR | Ing. José Mauricio Arriola Donis |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2013.



Julio Roberto Cáceres Díaz



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



Guatemala, 17 de marzo de 2014

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO**, elaborado con el estudiante universitario Julio Roberto Cáceres Díaz, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Cáceres Díaz, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera CMI
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
28 de abril de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Roberto Cáceres Díaz, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Melini Salguero

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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





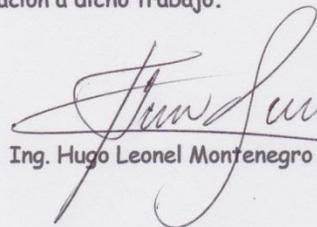
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Jefe del Departamento de Materiales de Construcción, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Julio Roberto Cáceres Díaz, titulado **COMPARACIÓN DE RESISTENCIA EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.231-2014

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: **COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO**, presentado por el estudiante universitario: **Julio Roberto Cáceres Díaz** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por quien fui formado, llamado y redimido, con un propósito eterno.
- Mi padre** Julio Cáceres Cabrera, ejemplo de lucha, sacrificio y honradez, sus consejos y enseñanzas me acompañarán toda la vida, por estar siempre cuando lo necesité, gracias y aunque ya no estás con nosotros, te seguimos recordando.
- Mi madre** Mirna Elizabeth Díaz, su ejemplo, amor y sacrificio me sacaron siempre adelante y formaron en mí principios y valores primordiales.
- Mis hermanos** Fenicia, Fabio y Grecia Cáceres Díaz, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome.
- Mis maestros** Por compartir conmigo los principios y valores elementales necesarios para posicionarme dentro de los marcos de entendimiento correctos.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|---|
| Dios | Por darme el don de la vida eterna y permitirme culminar con éxito este proceso y por quien todas las cosas son posibles. |
| Mis padres | Por su apoyo incondicional demostrado en toda mi educación. |
| Facultad de Ingeniería y Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser la institución de formación profesional donde he adquirido los conocimientos indispensables en ingeniería civil. |
| Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol | Por su ayuda, consejos y asesoría en la elaboración del presente trabajo de graduación. |
| Centro de Investigaciones de Ingeniería | En especial a los amigos de la sección de Agregados, Concretos y Morteros y miembros del capítulo estudiantil ACI de la Facultad de Ingeniería, USAC, por su ayuda en la elaboración de este trabajo. |
| Mis amigos y compañeros | Por su apoyo y ayuda, por los consejos y amistad durante todo este proceso. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | IX |
| GLOSARIO..... | XI |
| RESUMEN..... | XIX |
| OBJETIVOS..... | XXI |
| INTRODUCCIÓN..... | XXIII |
| | |
| 1. HISTORIA DEL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Origen..... | 1 |
| 1.2. Fabricación..... | 7 |
| 1.3. Características del acero..... | 8 |
| 1.3.1. Características positivas del acero..... | 8 |
| 1.3.1.1. Trabajabilidad..... | 8 |
| 1.3.1.2. Soldabilidad..... | 8 |
| 1.3.1.3. Forjabilidad..... | 9 |
| 1.3.1.4. Alta resistencia mecánica..... | 9 |
| 1.3.1.5. Resistencia al desgaste..... | 9 |
| 1.3.2. Características negativas del acero..... | 9 |
| 1.3.2.1. Oxidación..... | 10 |
| 1.3.2.2. Transmisor de calor y electricidad..... | 10 |
| 1.3.3. Ventajas del acero como material estructural..... | 10 |
| 1.3.3.1. Alta resistencia..... | 11 |
| 1.3.3.2. Uniformidad..... | 11 |
| 1.3.3.3. Durabilidad..... | 11 |
| 1.3.3.4. Ductilidad..... | 11 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.3.3.5. | Tenacidad..... | 12 |
| 1.3.3.6. | Otras ventajas importantes del acero estructural..... | 12 |
| 1.3.4. | Desventajas del acero como material de construcción | 13 |
| 1.3.5. | Elementos que conforman el acero | 14 |
| 1.3.5.1. | Impurezas en el acero | 19 |
| 1.3.6. | Propiedades físicas | 21 |
| 1.3.6.1. | Clasificación | 23 |
| 1.3.7. | Propiedades mecánicas | 34 |
| 1.3.8. | Propiedades térmicas..... | 41 |
| 1.3.9. | Propiedades químicas | 43 |
| 2. | MÉTODOS DE CORTE EN BARRAS DE ACERO | 45 |
| 2.1. | Muestreo en obras de infraestructura..... | 45 |
| 2.2. | Métodos más utilizados..... | 52 |
| 2.3. | Clasificación de método por tipo de barra | 59 |
| 2.4. | Estimación de rendimiento | 61 |
| 3. | ENSAYOS DE LABORATORIO..... | 69 |
| 3.1. | Ensayo en barras a tensión..... | 71 |
| 3.1.1. | Procedimiento del ensayo | 72 |
| 3.1.2. | Procedimiento | 73 |
| 3.1.3. | Cálculos | 75 |
| 3.2. | Ensayo en barras a doblado..... | 76 |
| 3.2.1. | Procedimiento del ensayo | 77 |
| 3.2.2. | Procedimiento | 77 |
| 3.3. | Ensayo de dureza Rockwell | 78 |
| 3.3.1. | Nomenclatura..... | 80 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3.2. | Procedimiento del ensayo | 80 |
| 3.4. | Uso de barras de acero de acuerdo a su aplicación | 84 |
| 3.4.1. | Barras de acero corrugado | 84 |
| 3.4.2. | Barras redondas lisas y pulidas | 84 |
| 3.4.3. | Pletinas o pletina (perfil metálico) | 85 |
| 3.4.4. | Barras cuadradas..... | 85 |
| 3.4.5. | Barras hexagonales | 85 |
| 4. | COMPARACIÓN DE RESULTADOS | 87 |
| 4.1. | Barras cortadas con sierra de arco | 87 |
| 4.2. | Barras cortadas con pulidora de mano | 88 |
| 4.3. | Barras cortadas con acetileno | 89 |
| | CONCLUSIONES | 91 |
| | RECOMENDACIONES..... | 93 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 95 |
| | ANEXOS | 99 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Tipos de barras de acero corrugadas para refuerzo..... | 27 |
| 2. | Diagrama de tipo de corrugas según Norma COGUANOR NGO 36011..... | 31 |
| 3. | Ángulos mínimos de corrugaciones según Norma COGUANOR NGO 36011..... | 31 |
| 4. | Dirección de corrugas de acuerdo al ángulo normalizado por COGUANOR NGO 36 011 | 32 |
| 5. | Marcado en barras de acero | 33 |
| 6. | Diámetros comerciales y sus respectivos marcajes | 33 |
| 7. | Curva típica de esfuerzo–deformación unitaria de los aceros para refuerzo | 37 |
| 8. | Representación de método de corte en porcentaje 1 | 47 |
| 9. | Representación de método de corte en porcentaje 2 | 48 |
| 10. | Representación de método de corte en porcentaje 3 | 49 |
| 11. | Representación de método de corte en porcentaje 4 | 50 |
| 12. | Representación de método de corte en porcentaje 5 | 51 |
| 13. | Cizalla manual o caimán | 52 |
| 14. | Sierra de arco | 53 |
| 15. | Hoja de acero dentada para corte | 54 |
| 16. | Pulidora o esmeriladora de mano | 55 |
| 17. | Disco de corte para uso en pulidora | 56 |
| 18. | Mezcladora con cilindros para corte o soldadura con oxiacetiléno | 59 |
| 19. | Procedimiento de corte de barras de acero con cizalla (caimán)..... | 64 |

| | | |
|-----|--|----|
| 20. | Procedimiento de corte de barras de acero con sierra de arco | 65 |
| 21. | Procedimiento de corte de barras de acero con pulidora de mano | 66 |
| 22. | Procedimiento de corte de barras de acero con acetileno | 67 |
| 23. | Barra en máquina universal para ensayo de tensión | 74 |
| 24. | Comportamiento del acero a tensión | 75 |
| 25. | Ensayo de doblado en las barras de en máquina universal | 78 |
| 26. | Muestra para el ensayo Rockwell | 81 |
| 27. | Ensayo sobre barra | 82 |
| 28. | Durómetro Rockwell aplicando carga sobre barra | 82 |
| 29. | Indicador de escala de durómetro Rockwell | 83 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Clasificación de barras de acero corrugado por grado según sistemas de medida | 27 |
| II. | Designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones..... | 28 |
| III. | Requisitos de límite de fluencia, resistencia a la tensión y elongación..... | 36 |
| IV. | Parqueo CALUSAC, Campus Central | 46 |
| V. | Muestreo de tipo de corte | 46 |
| VI. | Gimnasio estadio USAC, Campus Central | 47 |
| VII. | Muestreo de tipo de corte | 48 |
| VIII. | Escuela Jocotán Chiquimula | 48 |
| IX. | Muestreo de tipo de corte | 49 |
| X. | Proyecto CAIMI Sololá | 50 |
| XI. | Muestreo de tipo de corte | 50 |
| XII. | Proyecto edificio CALUSAC | 51 |
| XIII. | Muestreo de tipo de corte | 51 |

| | | |
|--------|---|----|
| XIV. | Resumen de método utilizado pos diámetro de barras | 60 |
| XV. | Datos de rendimiento por método de corte con caimán | 62 |
| XVI. | Datos de rendimiento por método de corte con sierra de arco | 62 |
| XVII. | Datos de rendimiento por método de corte con pulidora | 63 |
| XVIII. | Datos de rendimiento por método de corte con acetileno | 63 |
| XIX. | Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con cizalla de corte (caimán)..... | 64 |
| XX. | Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con sierra de arco | 65 |
| XXI. | Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con pulidora | 66 |
| XXII. | Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con acetileno..... | 67 |
| XXIII. | Resumen temperaturas registradas en barras número 3 | 69 |
| XXIV. | Resumen temperaturas registradas en barras número 7 | 70 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------------------|--|
| A | Área |
| Ae | Área efectiva |
| CaC₂ | Carburo de calcio |
| P | Carga |
| cm | Centímetro (s) |
| k | Coefficiente de conductividad térmica |
| α | Coefficiente de dilatación |
| δ | Deformación |
| ε | Deformación unitaria |
| ρ | Densidad |
| dA | Diámetro atómico |
| σ | Esfuerzo |
| FeP | Fosfuro de hierro |
| G 40, G 60 | Grado estructural de 40 000 psi y 60 000 psi respectivamente |
| °C | Grado (s) Celsius (s) |
| gr | Gramo (s) |
| Fe | Hierro (abreviatura del latín <i>ferrum</i>) |
| kg | Kilogramo (s) |
| kg/cm² | Kilogramo (s) por centímetro (s) cuadrado (s) |
| lb/pulg² | Libra (s) por pulgada (s) cuadrada (s) |
| psi | Libra por pulgada cuadrada (siglas en inglés para <i>Pound Square Inch</i>) |

| | |
|-------------------------|--|
| L | Longitud |
| mu | Masa unitaria |
| Mp | Mega Pascales |
| m | Metro (s) |
| m² | Metro (s) cuadrado (s) |
| mm | Milímetro (s) |
| mm² | Milímetro (s) cuadrado (s) |
| Es | Módulo de Young |
| No. | Número de la barra de acero |
| π | Pi = 3,1416 |
| % | Por ciento |
| L-D | Proceso de oxígeno básico Linz-Donawitz-Verfahren es un método de producir acero en el cual el hierro fundido rico en carbono se transforma en acero |
| ” | Pulgada (s) |
| fy | Resistencia de fluencia del acero |
| fu | Resistencia última del acero |
| R | Ribetes en centímetros |
| SI | Sistema Internacional de Medidas |
| FeS | Sulfuro de hierro |
| MnS | Sulfuro de manganeso |
| t | Temperatura |

GLOSARIO

| | |
|--------------------------|--|
| Acero | Denominación comúnmente dada, en ingeniería metalúrgica, para describir a una aleación de hierro con un contenido de carbono variable entre el 0,03 y el 1,76 por ciento en peso de su composición. |
| Acero refractario | Son aquellos cuyos componentes principales son: cromo, níquel, y silicio. Utilizados para exposición a temperaturas mayores de 1 200 grados Celsius. |
| Acetileno | Es un gas, altamente inflamable, más ligero que el aire e incoloro. Produce una llama de hasta 3 000 grados Celsius, una de las temperaturas de combustión más altas conocidas. Se utiliza en combinación con otros gases para realizar fundiciones de metales, cortes y soldaduras. |
| ACI | American Concrete Institute |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| Aleación | Es una mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos. |

| | |
|------------------------------|--|
| Alquino | Son hidrocarburos alifáticos con al menos un triple enlace entre dos átomos de carbono. La mayor parte de los alquinos se fabrica en forma de acetileno. |
| Altos hornos | Es la instalación industrial donde se transforma o trabaja el mineral de hierro. |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| Austenita o austerita | Es una forma de ordenamiento distinta de los átomos de hierro y carbón. |
| Barras corrugadas | Se trata de barras de acero que presentan resaltos o corrugas que mejoran la adherencia. |
| Caimán | Nombre como popularmente se les conoce a las cizallas de manuales de corte. |
| COGUANOR | Comisión Guatemalteca de Normas |
| Concreto | Es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. |

| | |
|------------------------------|---|
| Concreto reforzado | Es la combinación de un concreto estructural o no con un refuerzo que usualmente son barras de acero con características adecuadas para poder trabajar conjuntamente. |
| Conductividad térmica | Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. |
| Corrosión | Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. |
| Corrugada | Son las deformaciones en relieve (resaltadas o nervaduras), no paralelas al cordón de la barra, hechas con el objeto de aumentar su adherencia al concreto. |
| Diámetros nominales | Son los números o diámetros convencionales con los que se identifica a las barras de acero. |
| Dilatación | Aumento de volumen de un cuerpo por la separación de sus moléculas y disminución de su densidad al elevarse su temperatura o disminuir la presión a la que está sometido, sin que se produzca ningún cambio en su naturaleza. |
| Dureza | 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. |

| | |
|----------------------------|--|
| Elementos aleantes | Participantes en la mezcla, o fundición de dos o más elementos químicos, de los cuales al menos uno es un metal, para obtener una aleación. |
| Etino | Es un gas, altamente inflamable, un poco más ligero que el aire e incoloro. |
| Extensómetro | Instrumento para medir cambios en dimensiones lineales. También se denomina indicador de deformación. |
| Falla | Es la pérdida de función de un material o elemento, tanto por deformación (fluencia) como por separación de sus partes (ruptura o fractura). |
| Fatiga | Es la disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos. |
| Fluencia o cedencia | Es la deformación brusca de un material sin incremento de la carga aplicada que se puede llegar a producir por ejemplo en un ensayo a tensión. |
| Forjado | Es un proceso de conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión. |
| Fosfina | Es un gas incoloro, inflamable, que explota a temperatura ambiente y que huele a ajo o a pescado |

podrido. Pequeñas cantidades ocurren naturalmente provenientes de la degradación de materia orgánica.

| | |
|--------------------------------|--|
| Grado estructural | Resistencia a la tracción de las barras de acero estructural. |
| Horno de arco eléctrico | Los hornos de fusión más comunes, son los de tipo de arco eléctrico. En este tipo de hornos, el arco pasa entre los electrodos a través de la chatarra. |
| Intemperismo | Es la descomposición, desgaste, desintegración y destrucción, como respuesta a la exposición a los agentes de la intemperie. |
| Laminación | Es un proceso de conformación plástica en el que el metal fluye de modo continuo y en una dirección preferente, mediante fuerzas de compresión. |
| Lingotes | Es una masa de material fundido dentro de un molde que permite su fácil manejo y estiba. |
| Máquina universal | En ingeniería se denomina a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. |
| Masa unitaria | Masa de una barra de acero de longitud unitaria. |

| | |
|-----------------------|---|
| Mordazas | Término con que se le conoce a los mecanismos usados para la sujeción de las piezas en la máquina universal. |
| NGO | Norma Guatemalteca Obligatoria |
| Pulidora | Nombre con el que comúnmente se les conoce a las esmeriladoras eléctricas de mano. |
| Siderúrgico | Propio a la técnica del tratamiento del mineral de hierro para obtener diferentes tipos de éste o de sus aleaciones. |
| Sierra de arco | Es una herramienta manual de corte formada por una hoja de sierra montada sobre un arco tornillos tensores. |
| Templado | Es un tratamiento térmico consistente en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener determinadas propiedades de los materiales. |
| 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 aumento de la temperatura generado por los diferentes métodos de corte en barras de acero, repercute directamente en las propiedades físicas y mecánicas del acero, por lo que después de un análisis de las temperaturas alcanzadas, registradas en los ensayos de laboratorio se puede determinar la influencia del uso de estos métodos en las barras de acero, utilizadas en las armaduras a utilizar en los elementos estructurales de concreto armado.

Se elaboraron los especímenes, reproduciendo en cada uno de ellos las temperaturas registradas, a fin de lograr las características obtenidas en cada extremo de las barras de acero cortadas con los métodos analizados. Todo esto a fin de que los ensayos realizados representen de la forma más cercana, los resultados obtenidos en barras de acero influenciadas por las variaciones de temperatura.

Mediante los muestreos de campo y los ensayos de laboratorio, se pudo determinar cuáles eran los métodos más utilizados y la forma en que estos repercuten en la elaboración de los proyectos constructivos, basados en diseños previos realizados teóricamente, bajo el conocimiento de las propiedades aparentes de los materiales utilizados. Como lo es en este caso de análisis, las barras de acero.

Con base en el análisis de los resultados, puede evaluarse si es considerable la variación de las propiedades causadas por cada método de corte utilizado en campo.

OBJETIVOS

General

Evaluar la repercusión significativa del aumento de la temperatura provocada por cada uno de los métodos analizados en las propiedades de las barras de acero.

Específicos

1. Por medio de ensayos de laboratorio, determinar la variación de las propiedades en barras influenciadas por los diferentes aumentos de temperatura en los métodos de corte.
2. Determinar si el uso de estos métodos en el corte de las barras de acero, afecta considerablemente la resistencia de las mismas.
3. Comparar los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio de barras sometidas al aumento de temperaturas, registradas al momento del corte contra barras sin aumento de temperatura.
4. Evaluar el uso de las opciones anteriores dada la manera en que repercute su implementación en las propiedades de las barras.
5. Determinar la variación de dureza en los diferentes diámetros de barras analizadas.

INTRODUCCIÓN

Se denomina acero a una aleación de carbono y hierro utilizada en diversas áreas de la sociedad actual, el cual por características estructurales es empleado en la construcción. Gracias a sus propiedades físicas y mecánicas, es que se usa en la elaboración de estructuras de gran índole.

Dada la relación peso-resistencia permite la elaboración de estructuras ligeras y altamente resistentes, las que sin acero aumentarían considerablemente sus dimensiones. Es esta alta resistencia tanto a compresión como a tracción lo que permite a los elementos estructurales obtener una alta y considerable resistencia a flexión; considerando su elasticidad y comportamiento se observa una reacción linealmente elástica, lo cual cumple con la ley de Hooke hasta el punto donde los esfuerzos ya son considerables.

Su tenacidad le provee enorme capacidad para la absorción de energía. Posee gran ductilidad, lo que aporta al acero la capacidad de deformarse considerablemente previo a entrar en un estado plástico o de rotura. Esta característica permite que los elementos estructurales de concreto armado presenten agrietamientos antes de su falla.

El acero posee un coeficiente de dilatación y contracción similar al coeficiente de dilatación del concreto, por lo que su utilización simultánea resulta muy útil en la construcción, formando un material compuesto denominado concreto armado.

Dada la premura con la que se ejecutan los proyectos constructivos para cumplir con los cronogramas establecidos, los obreros recurren a la utilización de métodos que permiten realizar cortes en las barras de acero estructural de forma rápida, son con pulidoras de mano y sopletes de acetileno, los cuales permiten reducir el tiempo empleado en realizar los cortes de barras a fin de completar los armados que posteriormente se utilizarán en los elementos estructurales.

Cabe mencionar que no existe información que haga referencia a tales situaciones de variaciones de temperatura sobre las barras de acero al realizar los cortes, tampoco se hace mención de los métodos en documentos emitidos por entidades internacionales como lo es el ACI.

Mediante pruebas de laboratorio, se pretende determinar si la resistencia en barras de acero que han sido cortadas con pulidora y acetileno poseen una resistencia a tracción menor a otras que fueron cortadas con sierra de arco, dado que los primeros procedimientos producen calor que puede afectar a las mismas. Tomando en cuenta la influencia provocada por el aumento de la temperatura en el acero.

De comprobarse lo anterior, puede recomendarse o no el uso de estos métodos en el corte de barras en obra para elementos estructurales.

1. HISTORIA DEL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN

1.1. Origen

Se desconoce una fecha exacta en que fue descubierta la técnica de obtención de hierro a partir de la fusión de minerales, los restos arqueológicos de los primeros utensilios elaborados de hierro, datan del año 3000 a. C. descubiertos en Egipto. Se conoce que los primeros aceros son provenientes del este de África, cerca del año 1400 a. C., asimismo se tienen indicios que en la cultura griega a través de un tratamiento térmico, producían armas endurecidas de hierro, hacia el año 1000 a. C. hallándose vestigios de adornos de épocas anteriores. Durante la dinastía Han de China producían acero mediante el proceso de fundir hierro forjado con hierro fundido, en torno al siglo I a. C.

Estas también adoptaron y perfeccionaron métodos de producción para la creación del denominado acero *wootz*, este proceso surgió en India y en Sri Lanka, y data aproximadamente del año 300 a. C. el cual fue exportado a China hacia el siglo V. Este método utilizaba un horno de viento, soplado por los monzones. También conocido como acero Damasco, este era una aleación de hierro conformada de diversos materiales, la cual incluía trazas de distintos elementos en concentraciones menores a 1 000 partes por millón o 0,1 por ciento de la composición de la roca.

Los primeros artesanos en trabajar el hierro, producían aleaciones que en estos días se clasificarían como hierro forjado, realizando esto por medio de una técnica que implicaba someter a altas temperaturas una masa de mineral

de hierro y carbón vegetal, procedimiento realizado en hornos de dimensiones mayores a las antes utilizadas, por este método reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico, la cual contenía escoria de impurezas metálicas, junto con restos de cenizas de carbón vegetal. Este material férrico era extraído mientras permanecía incandescente, golpeándolo fuertemente con pesados martillos a fin de poder limpiarlo de la escoria y unir todo el hierro. Ocasionalmente esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierros forjado.

Eventualmente los trabajadores del hierro aprendieron técnicas para obtener acero mediante el proceso de unir hierro forjado y carbón de origen vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, proceso por el cual el hierro se impregnaba de una cantidad suficiente de carbono para convertirse en acero. Posteriormente, según estudios realizados por Peter Paufler sugieren la inclusión en su estructura de nanotubos de carbono, lo que explicaría algunas de las cualidades del acero obtenido por este método, tales como su durabilidad y capacidad de mantener un filo, no obstante la limitante tecnológica de la época, tales aceros fueron producto de meras casualidades y no basados en diseños previos.

En los años comprendidos entre los siglos IX y X se produjo en Merv el denominado acero de crisol, proceso en el cual se obtenía acero fundiendo y enfriando el hierro y carbón utilizando distintos métodos. En el siglo XI, durante la dinastía Song en China, se producía acero empleando 2 técnicas; con la primera se obtenía acero de baja calidad por la falta de homogeneidad del método Berganesco y por medio de la segunda técnica, la cual fue precursora del método Bessemer, se quitaba el carbón con repetidas forjas y sometía la pieza a repentinos enfriamientos.

En el siglo XIV fue notable el aumento en las dimensiones de los hornos destinados para la actividad del trabajo del acero, al igual que el tiro para forzar el paso de los gases de combustión para carga o mezcla de materias primas.

Debido a que estos hornos eran de mayor tamaño, el mineral del hierro de la parte superior se reducía a hierro metálico y como resultado este absorbía más carbono, lo cual sucedía como una consecuencia de los gases que lo atravesaban durante el proceso. Al producto final de este proceso en los hornos mencionados, se le denominaba arrabio, la cual es una aleación fundida a una temperatura menor a las que el acero y el hierro forjado están sometidas posteriormente, el arrabio era refinado para la fabricación de acero.

En el año 1500 a. C. en Medzamor y monte Ararat, (Armenia) se descubrió el hierro de uso industrial. La tecnología de este hierro se mantuvo en secreto por mucho tiempo, sin embargo, el uso de este se difundió de forma extensa cerca del año 1200 a. C., no hay registros de que la templabilidad existiera sino hasta la Edad Media.

Los antiguos métodos de fabricación de aceros radicaban en la obtención del denominado hierro dulce en hornos, empleando el tiro de aire y carbones de origen vegetal, expulsando las impurezas contenidas en los mismos por métodos de golpe con martillos y carburación del hierro dulce para cementarlo. Posteriormente se perfeccionó la cementación por medio de la fundición del acero cementado en crisoles de arcilla y a partir del 1740, en Sheffield (Inglaterra) y fue desarrollada por Benjamin Huntsman.

La producción actual de acero utiliza hornos que han sido mejorados y perfeccionados a los que se utilizaban antiguamente. El proceso de refinación

de arrabio mediante chorros de aire, se le atribuye al inventor británico Henry Bessemer, quien en 1855 fabricó el horno convertidor que lleva su nombre.

Sir Henry Bessemer, desarrolló en 1856 un método para producir acero en cantidades mayores, pero debido a que solo podía utilizarse hierro que contuviese cantidades pequeñas de fósforo y azufre, este proceso fue descartado. Tiempo después, Carl Wilhelm Siemens desarrolló el proceso Martin-Siemens, con el cual se producía acero mediante la descarburación de la fundición del hierro dulce y óxido de hierro como resultado del calentamiento con aceite o gas de coque, este último era calentado con gas de alto horno.

Este método también fue descartado. Considerando que en 1878, Siemens fue el pionero en emplear hornos de arco eléctrico, en la producción comercial de acero, en 1902 Paul Hérolt, quien fue uno de los inventores del método moderno para la fundición de aluminio, inicia con el uso de los hornos de arco eléctricos para la producción comercial. En este proceso, se introduce un arco eléctrico entre la chatarra de acero, cuya composición ya se conoce, y unos electrodos de carbono los cuales se encuentran colocados en el techo del horno.

Tras la segunda guerra mundial, en 1948 se inventa el proceso L-D o del oxígeno básico. Se realizaron experimentos en diferentes países, en los cuales se utilizó oxígeno puro en lugar del aire para refinar el acero. Este proceso tuvo éxito en Austria en 1948 cuando una fábrica de acero que se encontraba cercana a la ciudad de Linz Donawitz logró desarrollar con éxito el proceso del oxígeno básico o L-D.

En 1950, se descubre el proceso de colada continua, el cual es utilizado cuando se necesita producir perfiles laminados de acero de sección constante y

en grandes cantidades. Este proceso consiste en colocar un molde con la forma que se requiere debajo de un crisol, el cual por medio de una válvula dosifica el material fundido en el molde. El material fundido pasa al molde por gravedad. El molde es enfriado por un sistema de agua y como resultado de este proceso, el material fundido al pasar por el molde frío, se convierte en material pastoso que adquiere la forma del molde. Luego de esto, se le da forma al material por medio de unos rodillos que al mismo tiempo lo arrastran hacia la parte exterior del sistema.

Una vez conformado el material con la forma requerida y con la longitud adecuada, este se corta y almacena. Actualmente, se utilizan algunos metales y metaloides en forma de ferroaleaciones, los cuales al unirse con el acero, logran proporcionarle a este material excelentes cualidades de dureza y resistencia.

En la actualidad, el proceso de fabricación del acero se completa por medio de la metalurgia secundaria. En esta fase, al acero líquido se le otorgan las propiedades químicas, la temperatura, el contenido de gases, nivel de inclusiones e impurezas deseadas. En la metalurgia secundaria, la unidad más común a utilizarse es el horno de cuchara. El acero producido por este proceso, está listo para ser colado en forma convencional o colada continua.

El acero tiene y ha tenido un uso intensivo en la construcción de estructuras metálicas, lo cual ha dado conocer grandes éxitos y rotundos fracasos en el uso de este material, mismos que han dado paso al avance de la ciencia de materiales.

El 7 de noviembre de 1940, el puente Tacoma Narrows colapsó al entrar en resonancia con el viento y en los primeros años de la Revolución Industrial,

se produjeron roturas prematuras de ejes de ferrocarril. Estos sucesos llevaron a William Rankine a postular la teoría de la fatiga de materiales. Durante la Segunda Guerra Mundial se presentaron hundimientos imprevistos en los cargueros estadounidenses tal y como le sucedió al Liberty, ya que el acero se fragilizó por el descenso de la temperatura. Este suceso, inicialmente fue atribuido inicialmente a las soldaduras.

El acero ha ganado mucha importancia para la dinámica de la población, la industria y comercio en muchas regiones del mundo. Como es observable en cada área de la producción actual.

En 1875, William E. Ward construyó el primer edificio de concreto reforzado en Port Chester, Nueva York, Estados Unidos y en 1883 Ward expone una disertación sobre el concreto reforzado ante la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME por sus siglas en inglés) en la cual afirmó haber obtenido la idea del concreto reforzado en 1867, mientras observaba a los trabajadores ingleses intentando limpiar el cemento ya endurecido en sus herramientas de hierro.

Se cree que E. L. Ransome, originario de San Francisco, California, Estados Unidos, utilizó concreto reforzado a inicios de la década de 1870. Se le considera el inventor de las barras corrugadas, pues obtuvo una patente dichas barras en 1884 (figura 1). Estas barras, las cuales tenían una forma cuadrada 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. Las barras se torcían con el propósito de lograr una mejor adherencia entre el concreto y el acero.

1.2. Fabricación

De acuerdo con lo establecido en la Norma COGUANOR (NGO) 36011, las barras lisas y corrugadas de acero al carbono deben ser fabricadas por medio de la laminación de lingotes o palanquillas, los cuales se obtienen de los siguientes procesos: horno eléctrico, convertidor básico de oxígeno y horno de solera abierta.

- El acero se obtiene de 2 materias primas fundamentales:
 - El arrabio obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de alto horno (proceso integral).
 - Las chatarras, tanto férricas como inoxidable, son el tipo de materia prima que condiciona el proceso de fabricación.

En términos generales, para la fabricación del acero por medio de arrabio, se utiliza el convertidor con oxígeno. Por otro lado, si la materia prima es chatarra, se utiliza exclusivamente el horno de arco eléctrico. (Proceso electro-siderúrgico). Los procesos en el horno de arco eléctrico pueden llegar a utilizar casi un 100 por ciento de chatarra metálica como materia prima, lo cual lo convierte en un proceso favorable para la ecología. Las estadísticas en la actualidad calculan que el 85 por ciento de las materias primas que se utilizan en los hornos de arco eléctrico, son chatarra metálica.

El cálculo del porcentaje a nivel mundial en el uso del método convertidor de oxígeno en la industria durante 1995, era del 59 por ciento y de un 33 por ciento para la industria que utilizaba el horno de arco eléctrico. Por lo general, las aleaciones de aceros se realizan en horno de arco eléctrico, incluyendo el

acero inoxidable. Con el fin de conferir a los aceros distintas propiedades, en algunos tipos de acero se añade molibdeno, titanio niobio u otro tipo de elemento.

1.3. Características del acero

En todo diseño constructivo, para realizar un diseño real y de forma correcta, es importante conocer los materiales que se utilizan en la elaboración de los elementos así como conocer las características significativas de los mismos.

1.3.1. Características positivas del acero

Al tener como referencia las características del acero deben tomarse en cuenta aquellas que puedan dar un diseño eficiente y aprovecharlas al máximo, ya que producirán mejores resultados tales como:

1.3.1.1. Trabajabilidad

A pesar de ser un material muy resistente, este se puede cortar y trabajar sin perder su eficacia. La trabajabilidad es una propiedad que influye en el uso del acero y de su uso en múltiples áreas de la industria.

1.3.1.2. Soldabilidad

Este material puede unirse utilizando la soldadura y gracias a ello se puede construir una serie de estructuras con piezas rectas. Esto favorece la unión de piezas de acero que pueden llegar a formar estructuras mas grandes y elaboradas.

1.3.1.3. Forjabilidad

Se refiere a que al acero se le puede dar la forma que se necesita con el propósito de elaborar elementos necesarios en la composición de una armadura que se utilizará en una construcción.

1.3.1.4. Alta resistencia mecánica

Al someter los aceros a esfuerzos de tracción y compresión, estos lo soportan por la contribución química que contiene. A esto también se le denomina alta resistencia mecánica. Se ha determinado a través de ensayos de laboratorio la resistencia a tracción y a compresión que poseen los aceros, evaluando el límite elástico y esfuerzo de rotura.

1.3.1.5. Resistencia al desgaste

Resistencia que presenta un material ante la erosión cuando este entra en contacto o fricción con otro material. Esta propiedad favorece el uso del acero en uniones mecánicas, las cuales tienden a friccionarse entre una o más piezas.

1.3.2. Características negativas del acero

Es importante tener en cuenta las características de los materiales y prestar una mayor consideración a todas aquellas características que puedan repercutir en el diseño de los elementos o que representen el deterioro de los mismos, lo cual afectaría la integridad de una estructura que en este caso podrían ser:

1.3.2.1. Oxidación

Los aceros poseen una capacidad alta de oxidarse si estos se encuentran expuesto al aire y al agua en forma simultánea, y si se encuentran expuestos al agua salina se producirá la corrosión del metal.

1.3.2.2. Transmisor de calor y electricidad

El acero es un transmisor de corriente y al mismo tiempo este se debilita ante las altas temperaturas. Por esta razón es recomendable usar aceros al níquel o al aluminio, o bien protegerlos haciendo ventilados y evitar hacer fábricas para el almacenaje de combustibles o plásticos utilizando este tipo de material. Estas 2 propiedades son manejables, si se toma en cuenta el uso y mantenimiento que se le dé a estos materiales.

Cuando el acero es expuesto presenta grandes inconvenientes como lo que se mencionaron anteriormente. Sin embargo, en la construcción de elementos donde se utiliza concreto armado, estas desventajas disminuyen en forma considerable, debido a que el acero se recubre de concreto. Este recubrimiento lo protege de la humedad y la exposición a los factores que puedan provocar su deterioro e intemperismo.

1.3.3. Ventajas del acero como material estructural

Como material para la construcción, el acero se distribuye en barras de diferentes diámetros y grados estructurales. Estas se pueden adquirir con diferentes características; puede ser por su forma y dimensión, debiendo utilizarse las mismas para una función específica o según sea el diseño o el elemento estructural.

1.3.3.1. Alta resistencia

Su alta resistencia por unidad de peso permite elaborar elementos estructurales dúctiles y con mayor resistencia a las combinaciones de esfuerzos. Esto se debe a que el acero aporta al concreto propiedades importantes como por ejemplo la resistencia a tensión en un elemento de concreto armado.

1.3.3.2. Uniformidad

Las propiedades del acero no varían significativamente con el paso del tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado. Esta ventaja brinda la rigidez del diseño inicial en la vida útil de una estructura.

1.3.3.3. Durabilidad

Si a la estructura se le provee del mantenimiento adecuado, estas lograrán el servicio esperado durante toda su vida útil y perdurará indefinidamente. Esto permitirá períodos de vida largos y se reducirá el costo de construcción de nuevas edificaciones.

1.3.3.4. Ductilidad

Propiedad característica de ciertos materiales que les permite soportar deformaciones mayores bajo la acción de esfuerzos, esto sin fallar debido a los altos esfuerzos de tensionantes. Los aceros estructurales dúctiles y comunes pueden fluir localmente, evitando así fallas prematuras.

1.3.3.5. Tenacidad

Los aceros estructurales se caracterizan por su tenacidad, es decir tienen resistencia y ductilidad. Esto es la capacidad de un material para absorber energía en grandes cantidades sin que este se vea afectado en forma significativa.

1.3.3.6. Otras ventajas importantes del acero estructural

Dentro de todas las ventajas del acero, se pueden mencionar aquellas que no precisamente deben aplicarse o que sean producto del proceso constructivo o que intervengan en el mismo, pero que aportan beneficios en el uso del material.

- Facilidad para unir diferentes piezas por medio del uso de varios tipos de conectores como por ejemplo la soldadura, tornillos, remaches, amarres o traslapes.
- Posibilidad de prefabricar las piezas de una estructura.
- Facilidad y rapidez de montaje.
- Capacidad para laminarse en una cantidad mayor de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Es un material reciclable.

1.3.4. Desventajas del acero como material de construcción

Al realizar un análisis y diseño se debe tomar en cuenta de manera objetiva cuáles son las ventajas y desventajas de los materiales que se utilizarán en la elaboración de los elementos en una estructura. En este caso podrían ser:

- Resistencia a la corrosión

Esta es una de las desventajas más notables en el acero, ya que el hierro se oxida fácilmente, aumenta su volumen y provoca grietas superficiales que dan paso al progreso de la oxidación hasta que la pieza se consume completamente. Los aceros se han venido protegiendo de manera tradicional por medio de diferentes tratamientos superficiales. Existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada, como por ejemplo los aceros de construcción, los cuales resultan ser apropiados para intemperie (en algunos ambientes) o los aceros inoxidable.

De la misma forma debe procurarse el uso de los recubrimientos mínimos establecidos en los códigos constructivos, con el objetivo de proteger el acero de refuerzo de los elementos que causan la corrosión y que a largo plazo, pueden dañar la integridad de los elementos estructurales.

- A continuación se mencionan algunas características adicionales del acero corrugado para refuerzo, que tienen un comportamiento conjunto acero-concreto.
 - Los coeficientes de expansión térmica son similares y esto ayuda a que el material no se agriete, al mismo tiempo evita otros efectos

no deseables que se producen por las deformaciones térmicas diferenciales.

- La resistencia a la corrosión del acero descubierto es muy escasa, por lo que el concreto que rodea el acero de refuerzo provee una protección muy buena y de esta forma se minimizan los problemas de corrosión y los costos de mantenimiento.
- La resistencia al fuego del acero desprotegido empeora por su alta capacidad de conductividad térmica, y porque la resistencia disminuye de manera considerable ante las altas temperaturas. Por otro lado, la conductividad térmica del concreto, es relativamente baja, lo que provoca que los daños causados por la exposición prolongada al fuego sean limitados a la superficie exterior del concreto, más no así del acero.

1.3.5. Elementos que conforman el acero

En ingeniería metalúrgica, a la aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 y el 1,76 por ciento en peso de su composición o dependiendo del grado, se le denomina comúnmente acero. Si la aleación posee una concentración de carbono mayor al 2,0 por ciento, se producen fundiciones que en oposición al acero, estas son más frágiles y no se pueden forjar sino que se deben moldear.

No debe confundirse el acero con el hierro, ya que este último es un material duro y tenaz con un diámetro atómico (dA) de 2,48 Å, con temperaturas de fusión entre 1 y 535 grados Celsius y un punto de ebullición de 2 740 grados Celsius.

Por otra parte, el carbono es un no metal de diámetro menor ($d_A = 1,54 \text{ \AA}$), lo cual lo hace blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma diamante). La difusión de este elemento en la estructura cristalina del elemento anterior, se consigue gracias a la diferencia en diámetros atómicos. La diferencia principal entre el hierro y el acero, se encuentra en el porcentaje del carbono: el acero es hierro con un porcentaje de carbono entre 0,03 por ciento y 1,76 por ciento. A partir de este valor, se consideran otras aleaciones con hierro.

Se debe mencionar que el acero posee diferentes constituyentes según su temperatura, esto es en concreto de mayor a menor dureza, perlita, cementita y ferrita, además de la austenita.

El acero conserva las características metálicas del hierro en su estado puro, pero debido a la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos, este tiende a mejorar sus propiedades físicoquímicas.

Existen varios tipos de acero en función del o los elementos de aleación que estén presentes. La definición en porcentaje de carbono, corresponde a los aceros al carbono, en los cuales este no metal es el único material de aleación. En algunos casos, hay otros materiales, pero en concentraciones menores. Otras composiciones específicas, reciben denominaciones muy particulares en función de otras variables, por ejemplo, los elementos que predominan en su composición (aceros de silicio), así como de su susceptibilidad ciertos tratamientos y procesos (aceros de cementación) o de alguna característica potenciada (aceros inoxidables) incluso, de su uso (aceros estructurales).

Generalmente, las aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, motivo por el que en este documento se ha

adoptado la definición de los comunes o al carbono, que además de ser los primeros aceros fabricados y los más utilizados, los mismos sirvieron de base para los demás. Esta gran variedad de aceros, motivó a Siemens a definir el acero como un material compuesto de hierro y otra sustancia que incrementaría su resistencia.

Las clasificaciones normadas del acero como la AISI y ASTM establecen los valores mínimos o máximos para cada tipo de elemento. Estos se agregan para obtener las características que determinan al material, como por ejemplo: templabilidad, resistencia mecánica, dureza, tenacidad, resistencia al desgaste, soldabilidad o maquinabilidad. En el siguiente listado se mencionan algunos de los efectos de los elementos aleantes al acero.

- Aluminio: se utiliza en algunos aceros de nitruración y de alta dureza en concentraciones cercanas al 1 por ciento y en porcentajes inferiores al 0,008 por ciento como desoxidante en aceros de alta aleación.
- Boro: en cantidades pequeñas (del 0,001 al 0,006 por ciento) aumenta la templabilidad sin afectar o reducir la maquinabilidad, pues esta se combina con el carbono y forma carburos, lo que proporciona un revestimiento duro. Este es usado en aceros de baja aleación y se aplica en piezas como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial. También se usa como trampa de nitrógeno, en especial en los aceros para trefilación para obtener valores de nitrógeno menores a 80 partes por millón.
- Cobalto: este material es muy endurecedor lo que hace que la templabilidad disminuya. No obstante, este mejora la resistencia y la dureza en caliente. Este es un elemento poco habitual en los aceros y

aumenta las propiedades magnéticas en los mismos. Es utilizado en los aceros rápidos para herramientas y en aceros refractarios.

- Cromo: este aumenta la dureza del acero por medio de la formación de carburos altamente duros, así mismo aporta resistencia y tenacidad ante la exposición a cualquier temperatura. En soledad o en combinación con otros elementos mejora la resistencia del acero a la corrosión. Asimismo aumenta la profundidad de penetración del endurecimiento por tratamiento termoquímico como la carburación o la nitruración. Este elemento es usado en aceros inoxidable, aceros para herramientas y refractarios. También se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, entre otros.
- Molibdeno: elemento común en las aleaciones de aceros, el cual provee de mucha dureza a los mismos, así como de tenacidad. Los aceros inoxidable austeníticos incluyen este elemento para mejorar la resistencia ante los agentes corrosivos.
- Nitrógeno: este es agregado a determinadas aleaciones de aceros a fin de que se logre formar austenita en las mismas según sea requerido
- Níquel: este elemento gammageno permite una estructura austenítica a temperaturas ambiente, lo cual aumenta en los aceros la resistencia y tenacidad ante esfuerzos de impacto. Este elemento es muy común en la producción de aceros inoxidable, dado que el mismo aumenta la resistencia a agentes corrosivos.

- Plomo: este elemento no se incluye en las aleaciones dado que se encuentra en el acero en forma de microscópicos glóbulos, esto ayuda a la fácil mecanización por arranque de viruta realizado en la industria de los talleres de metalurgia, (torneado, cepillado y taladrado), ya que este elemento actúa como lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0,15 y 0,30 por ciento, debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0,5 por ciento, debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente. Se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.
- Silicio: este produce un aumento de templabilidad moderado en los aceros, asimismo se usa como elemento desoxidante y aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.
- Titanio: usado para la estabilización y desoxidación del acero, así también como aporta estabilidad en las propiedades del acero sometido a altas temperaturas. Se utiliza su gran afinidad con el carbono para evitar la formación de carburo de hierro al soldar acero.
- Tungsteno: es también conocido como Wolframio. Tal elemento forma con el hierro complejos carburos, muy duros y estables, lo que permite al acero soportar muy bien las altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 por ciento, logra proporcionar aceros rápidos con los que es posible reducir a un tercio el tiempo empleado en el corte de los aceros al carbono.
- Vanadio: provee de alta capacidad desoxidante a los aceros y forma carburos complejos con el hierro, lo que proporcionan una buena

resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.

1.3.5.1. Impurezas en el acero

Se denomina como impurezas a todos los elementos no deseados presentes en las aleaciones de aceros. Se encuentran en las fundiciones y aceros como consecuencia de que están presentes en los minerales aleantes o los combustibles. En los procesos de colada se busca reducir o eliminar el contenido de las mismas, dado que son perjudiciales y afectan las propiedades de las aleaciones. Dado que la eliminación total es muchas veces imposible o genera altos costos es admitida la presencia de las impurezas en cantidades menores.

- **Azufre:** este forma sulfuros en combinación con el hierro, el mismo combinado con la austenita da lugar a un eutéctico de bajo punto de fusión, por lo que aparece en bordes de grano. En el proceso de laminado de lingotes de acero colado, este se encuentra presente en forma líquida, lo que provoca un efecto de desmenuzamiento en el material. Según la norma COGUANOR, los lingotes y palanquillas, empleados para la fabricación de las barras de acero de refuerzo para hormigón armado, deberán tener un contenido de azufre no mayor de 0,060 por ciento.

Para la reducción del sulfuro se agrega manganeso, logrando con esto el control presente en la aleación. Dada la afinidad del manganeso con el azufre, este en lugar de formar FeS (sulfuro de hierro) se forma MnS (sulfuro manganoso), el cual tiene un punto de fusión elevado y muy buenas propiedades plásticas. El contenido presente de manganeso

debe ser al menos de aproximadamente 5 veces la concentración presente de azufre para que se produzca la reacción.

Finalizado el proceso y una vez eliminados los gases causantes, el resultado obtenido es una fundición menos porosa y de mayor calidad. El contenido de azufre mejora la maquinabilidad del acero en procesos de mecanizado, aunque este no debe estar presente en mayores cantidades que las recomendadas, dado que si este es alto genera alteración en las propiedades mecánicas, así como causar poros en la soldadura.

- Fósforo: este resulta muy perjudicial, pues disminuye la ductilidad al estar disuelto en la ferrita sea al disolverse, así como por formar FeP (fosfuro de hierro). Este último en combinación con las austenita y cementita, dan lugar a un eutéctico ternario denominado esteadita, el mismo es sumamente frágil y posee punto de fusión relativamente bajo, por lo cual aparece en bordes de grano, transmitiéndole al material su fragilidad. Según la Norma COGUANOR 2005 los lingotes y palanquillas, empleados para la fabricación de las barras de acero de refuerzo para concreto armado, deberán tener un contenido de fósforo no mayor de 0,060 por ciento. Y se podrá aceptar como máximo 0,075 por ciento de contenido de fósforo.

No obstante dado que se considera perjudicial en las aleaciones de los aceros, dado la reducción de ductilidad y tenacidad provocada por este, lo que vuelve al acero en un material sumamente quebradizo, en ocasiones es agregado en mínimas cantidades para aumentar la resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.

A pesar de ser complicado el establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero, dado que estas sufren variaciones con los ajustes realizados en su composición, así como por los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que se obtienen aleaciones de acero con combinaciones que cumplen a cabalidad con los requerimientos según sea su aplicación y el uso que tendrán, entre las propiedades pueden mencionarse.

1.3.6. Propiedades físicas

El conocer las propiedades físicas de acero permite evaluar y determinar de forma más exacta la manera en que este material se acopla con el concreto, así como se integran y realiza el aporte de propiedades de un material a otro. Las propiedades mecánicas mínimas requeridas por la Norma COGUANOR NGO 36011, se mencionan a continuación.

- Masa unitaria: con una balanza calibrada que tenga una exactitud no menor de 1 gramo, se determina la masa de cada muestra, se promedian las pesadas y se verifica el cumplimiento del valor promedio con lo establecido en la tabla III, del cual se aceptará una tolerancia de 6 por ciento por debajo de la masa unitaria de la barra. Este dato se encuentre cerca del valor de 7 850 kilogramos por metro cúbico aproximadamente, dependiendo del tipo de aleación según COGUANOR.
- Espaciamiento promedio: se determina dividiendo una longitud de un mínimo de 10 corrugaciones entre el número de espacios que están incluidos en el largo de la muestra, o el número de intersecciones y/o puntos homólogos para el caso de corrugaciones dobles, contadas sobre el mismo lado de la barra en dicha longitud; empleando para tal efecto un calibrador vernier, y deberá medirse desde el punto central de una

corrugación. En el caso de barras con corrugaciones en 2 direcciones en la misma cara, la longitud medida debe dividirse entre el doble del número de espacios. Se verifica el cumplimiento con lo establecido en la tabla III, según se establece en la Norma COGUANOR NGO 36011.

- Ancho máximo de separación entre extremos de corrugaciones: se define como la distancia acotada perpendicular al eje longitudinal, entre los extremos de las corrugaciones, cuando las corrugaciones terminen en el cordón de separación, este debe considerarse como tal separación. Y se determina el ancho máximo de espacio sin corruga, tomando al azar 3 puntos sobre este y se mide en cada uno de ellos el espacio, empleando para tal efecto un calibrador vernier. Se promedian y se verifica si cumplen con lo especificado en la tabla III de la Norma COGUANOR NGO 36011.
- Altura de corruga: para determinar la altura promedio de las corrugaciones, se toman al azar 5 corrugaciones de la muestra, se mide la altura respectiva en la parte central de las mismas, empleando para tal efecto un medidor de profundidad calibrado, y se promedian los 5 resultados obtenidos. Si el valor promedio no cumple con lo especificado en la tabla III de la Norma COGUANOR NGO 36011, se repiten las mediciones en 15 corrugaciones, en la forma siguiente: 5 corrugaciones seguidas, cercanas respectivamente a cada extremo de la muestra y 5 corrugaciones seguidas ubicadas aproximadamente a la mitad de la longitud de la muestra; se promedian los valores encontrados.

1.3.6.1. Clasificación

Derivan de los diversos métodos utilizados para la fabricación, su modo de empleo, las aleaciones que lo componen, así como los usos dados específicamente a cada grupo.

- Según el método utilizado para su fabricación
 - Aceros, eléctrico
 - Acero fundido
 - Acero colmado
 - Acero efervescente
 - Acero frito

- Según el modo de trabajarlos
 - Acero moldeado
 - Acero laminado

- Según la composición y la estructura
 - Aceros ordinarios
 - Aceros aleados o especiales

- Según el uso que se le dará
 - Acero para imanes o magnético
 - Acero autotemplado
 - Acero de construcción
 - Acero de corte rápido
 - Acero de decoletado
 - Acero de corte
 - Acero indeformable

- Acero inoxidable
 - Acero de herramientas
 - Acero para muelles
 - Acero refractario
 - Acero de rodamientos
-
- Acero laminado

El acero destinado para la construcción de estructuras metálicas, así como otro tipo de estructuras, es obtenido por el proceso de laminación proveniente de un grupo de lingotes de acero normados.

El laminado como proceso consiste en someter a altas temperaturas lingotes de acero fundido, a fin de que esta temperatura permita la deformación de los mismos por medio de un proceso consistente en el estiramiento y refinamiento, este proceso se realiza en una serie de cilindros que presionan el material, a este se le llama tren de laminación. Los cilindros deforman los perfiles hasta que alcanzan las medidas requeridas. Las secciones obtenidas en estos procesos no se adaptan a las tolerancias requeridas, por eso mismo los productos de este proceso son sometidos a otros procesos de mecanizado, todo esto para realizar los ajustes necesarios a fin de que se ajusten a la tolerancia requerida.

- Acero forjado

Se denomina forja al proceso que modifica la forma de los metales, esto se realiza alcanzando la deformación plástica provocada por el tratamiento por impactos y sometiéndolo a altas presiones. Este proceso se realiza sometiendo

el material a altas temperaturas, mejorando de esta forma las propiedades metalúrgicas del acero y se mejora la calidad metalúrgica del mismo.

El proceso de forjado busca reducir al máximo posible la cantidad de material excedente que se elimina en los procesos de mecanizado. En la forja por estampación, la fluencia del material queda limitada a la cavidad de la estampa, compuesta por 2 matrices que tienen grabada la forma de la pieza que se desea conseguir.

- Acero corrugado

Este se elabora por medio del proceso de laminado y es de uso mayormente constructivo, primordialmente para la elaboración de elementos de concreto armado. Son barras de acero, las cuales presentan resaltos o corrugas, esto para aumentar y mejorar la adherencia del acero con el concreto. Este tipo de acero posee mucha ductilidad, lo que permite el cortado y doblado con facilidad sin que el acero sufra daños significativos aparentes.

Las barras de acero corrugado, están normalizadas, y las mismas se fabrican de acuerdo con las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Asimismo las propiedades físicas y mecánicas más importantes del acero para refuerzo son normadas por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).

Los tipos más comunes de barras de acero para refuerzo están determinados por el diámetro de las mismas y especificaciones de las normas ASTM y COGUANOR. En Guatemala, según estas normas, las barras deben cumplir con requisitos de corrugación y con sus diámetros en pulgadas (figura 1), los cuales oscilan entre 3/8 de pulgada (denominadas barras número 3)

hasta 1 3/8 de pulgada (barras número 11), 1 3/4 de pulgada (barras número 14) y 2 1/8 de pulgada (barras número 18).

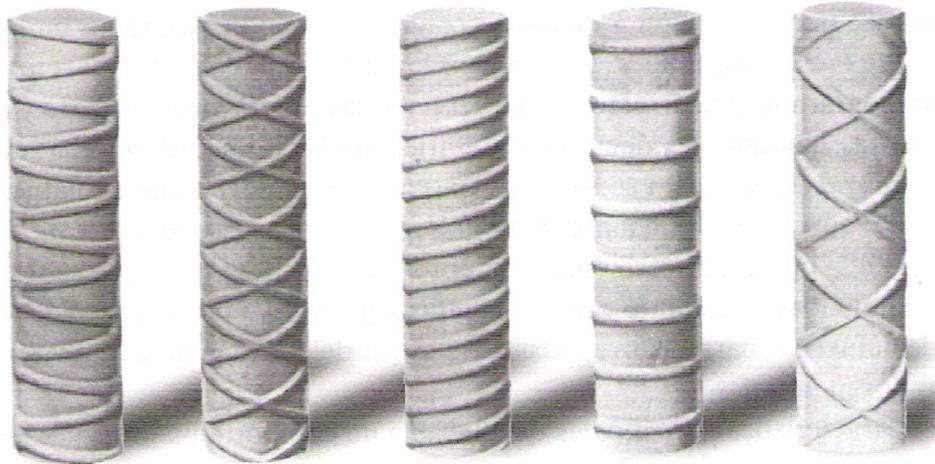
El acero para uso en la construcción como barras de acero corrugado deben ser normadas y cumplir con los requerimientos técnicos necesarios para su uso final, todo esto para realizar un correcto diseño y cálculo de las estructuras de concreto armado de que serán parte. Las características técnicas se determinan por medio de los ensayos respectivos según sea el caso.

Es denominada como armadura al conjunto de barras de acero corrugado, formando un conglomerado estructural de acero funcionalmente homogéneo, las cuales en conjunto con el concreto forman estructuras con capacidad de resistir esfuerzos mayores y combinaciones de estos. Las armaduras también pueden cumplir una función de montaje o constructiva, a su vez estas mismas evitan la fisuración del concreto.

Estas se elaboran en el mayor de los casos, directamente en el lugar donde se ubicará el elemento de concreto armado, realizando el armado con las barras adecuadas en base al diseño estructural.

Para las uniones de las barras de acero se utilizan amarres con alambres a los que comúnmente se les conoce como alambres de amare, esto a fin de mantener la forma del elemento del que serán parte.

Figura 1. **Tipos de barras de acero corrugadas para refuerzo**



Fuente: NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. p. 52.

- Tipos de aceros estructurales: 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 construcción. En general, se puede decir que los aceros estructurales incluyen 3 grados, según el límite de fluencia mínimo (tabla I).

Tabla I. **Clasificación de barras de acero corrugado por grado según sistemas de medida**

| Sistema Internacional de Medidas (SI) dado en kg/cm^2 | Sistema Inglés dado en miles de lb/pulg^2 |
|--|--|
| Grado 280 | Grado 40 |
| Grado 414 | Grado 60 |
| Grado 517 | Grado 75 |

Fuente: COGUANOR. 2005.

Tabla II. **Designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones**

| No. De Designación de barra ^A | Masa nominal, kg /m (Masa nominal, lb/pie) kg /m (Masa nominal, lb/pie) | Dimensiones nominales ^B | | | Requerimientos de corrugaciones, mm (pulg) | | |
|--|--|------------------------------------|---|---------------------|--|------------------------|---|
| | | Diámetro mm (pulg) | Área de la sección transversal mm ² (pulg ²) | Perímetro mm (pulg) | Espaciamiento máximo promedio | Altura mínima promedio | Ancho máximo de separación sin corruga ^C (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 (1,000) | 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] que la barra deformada.

C: separación entre extremos de corrugas.

Fuente: COGUANOR. 2005.

- **Grados del acero para refuerzo en Guatemala**

En Guatemala se fabrican las barras de acero corrugado para refuerzo estructural a partir de material que se obtiene del metal reciclado en plantas, las

mismas deben cumplir con las normas que para su efecto han sido creadas. Existen diferentes tipos de barras de acero para refuerzo con designaciones de ASTM y COGUANOR. En estas designaciones, el grado de las barras está dado en los sistemas de medida Sistema Internacional (SI) e 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 libras por pulgada cuadrada, corresponde al grado 40 en el Sistema Inglés y su equivalente en el SI es de 280 kilogramos por centímetro cuadrado o grado 280 (tabla I).

Es de hacer notar que el acero de grado 75 o 517, es un acero considerablemente más caro y las barras número 14 y 18 suelen ser de poca demanda, por lo que tienen que ser solicitadas especialmente a los fabricantes y no son comúnmente usadas, ya que estas se utilizan en construcciones especiales, y al ser difíciles de adquirir, la mayoría de los diseños se ajustan a las que regularmente se encuentran en el mercado.

Según el acabado, COGUANOR, normaliza 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, la masa por metro lineal y 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 milímetros (3/8 de pulgada) o mayores, se aceptará una tolerancia de 6 por ciento por debajo de la masa unitaria de la barra.

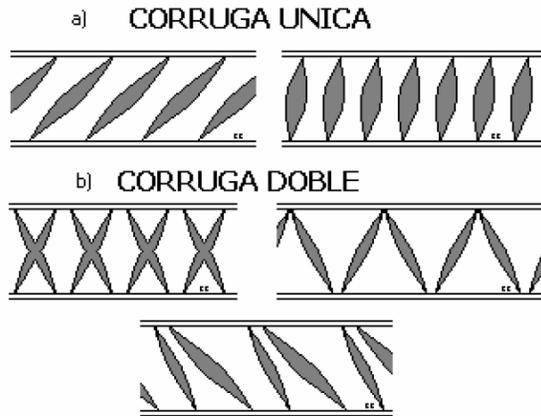
Se indica también en dicha norma que en ningún caso, una masa unitaria mayor que la especificada en la misma, podrá ser causa de rechazo (COGUANOR, 2005:19/21).

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 milímetros o no mayores de +50 milímetros, en la longitud en que se suministran las barras. Sobre las corrugaciones, la norma COGUANOR, 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 2).

La norma señala también que toda aquella corruga que presente características especiales o diferentes a las descritas, deben 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 $7/10$ del diámetro nominal de la barra.

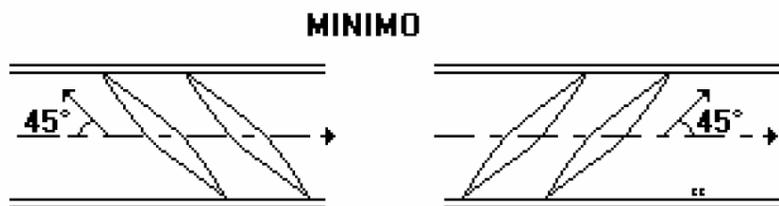
Para las corrugaciones se establece en dicha norma que deberán localizarse con respecto al eje longitudinal de la barra, en tal forma que el ángulo no sea menor de 45 grados (figura 3).

Figura 2. **Diagrama de tipo de corrugas según Norma COGUANOR
NGO 36011**



Fuente: COGUANOR. 2005.

Figura 3. **Ángulos mínimos de corrugaciones según Norma
COGUANOR NGO 36011**

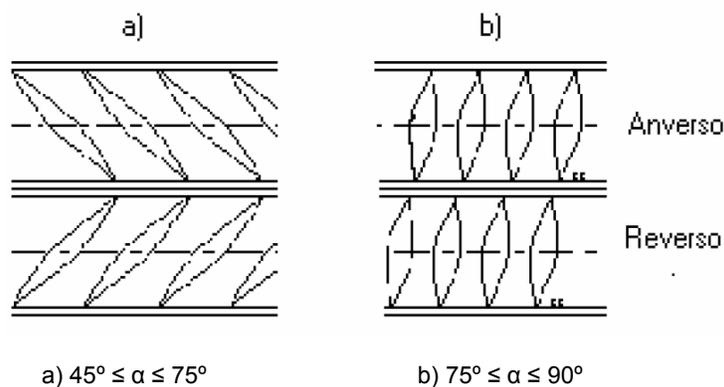


Fuente: COGUANOR. 2005.

Según lo normalizado por COGUANOR, cuando las corrugaciones formen ángulos entre 45 y 75 grados inclusive deberán alternarse opuestas en dirección a cada lado de la barra o bien, aquellas localizadas sobre un lado deberán ser inversas en dirección con respecto a las localizadas sobre el lado

opuesto (figura 4). Cuando las corrugaciones formen ángulos mayores de 75 grados no se requerirá alternar en dirección.

Figura 4. **Dirección de corrugas de acuerdo al ángulo normalizado por COGUANOR NGO 36 011**



Fuente: COGUANOR. 2005.

La Norma COGUANOR NGO 36011 en su página 8/21 establece en la sección 7.2.3.4 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 por ciento del perímetro nominal de la barra. En el caso de barras con más de dos espacio sin corruga, el ancho total de los espacios sin corruga no deberá exceder del 25 por ciento del perímetro nominal de la barra.

Asimismo puede COGUANOR normalizar la designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones (designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones, anexo página 102).

Figura 5. **Marcado en barras de acero**



Fuente: DISTUN Guatemala.

Figura 6. **Diámetros comerciales y sus respectivos marcajes**



Fuente: DISTUN Guatemala.

Se establece en la Norma COGUANOR NGO 36011, 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, de manera que identifique al fabricante, el diámetro y el grado del acero. Se puede utilizar una marca convencional común cuyo significado sea de conocimiento público y este reconocida y autorizada por la entidad competente

- Perfiles de acero

El uso de acero en la construcción requiere de diferentes formas de elementos, según sea la función que estos tendrán dentro de la edificación, para lo cual se cuenta con perfiles metálicos, siendo estos de características definidas y formas según sea el uso a dárseles.

1.3.7. Propiedades mecánicas

Las características principales, que determinan los rasgos de una barra de acero para refuerzo, son su punto de fluencia y módulo de elasticidad (E_s). Este último prácticamente es el mismo para todos los aceros para refuerzo y se toma como $E_s = 29\ 000\ 000$ libras por pulgada cuadrada. Adicionalmente, la forma de la curva típica de esfuerzo–deformación unitaria de los aceros para refuerzo (figura 7), y en particular la curvatura del tramo inicial, tiene una influencia significativa en el comportamiento de elementos de concreto reforzado.

- Resistencia a la tensión: se obtiene de la división de la carga máxima dentro del área transversal nominal del espécimen, obteniendo la resistencia máxima a tensión. Asimismo COGUANOR establece que las barras de acero de refuerzo para concreto armado, deberán cumplir con

los requisitos mínimos de la máxima resistencia a la tensión indicada en la tabla III.

- Límite de fluencia: es el valor alcanzado por esfuerzos tensionantes a partir del cual el material elástico lineal se deforma plásticamente en un ensayo uniáxial de tracción. Hasta el punto de fluencia el material se comporta elásticamente, siguiendo la ley de Hooke, y por tanto se puede definir el módulo de Young. Cabe mencionar que no todos los materiales con propiedades elásticas tienen un límite elástico claro, el cual se encuentra muy bien definido en la mayoría de los metales. Las barras de acero de refuerzo para concreto armado deberán cumplir con los requisitos mínimos de límite de fluencia indicadas en la tabla III.

Límite de fluencia o límite elástico aparente es el valor de la tensión soportado por la probeta en el momento que se produce el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este se presenta en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas, este se describe como un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.

- Elongación: es la variación en la longitud, dada en dirección de la aplicación de la fuerza sobre determinado elemento, es expresado en términos de porcentaje o el cambio en la longitud del elemento dividido entre la longitud inicial del mismo, este multiplicado por 100. Las barras de acero de refuerzo para hormigón armado, deberán cumplir con los porcentajes mínimos de elongación indicados en la tabla III de la Norma COGUANOR NGO 36011.

- Carga máxima: es la fuerza máxima necesaria que causa la ruptura o falla de un determinado material. La misma se obtiene de la multiplicación de máxima resistencia a la tensión por el área nominal de la probeta o material ensayado.
- Prueba de doblado: debe realizarse según el inciso 3.2. según la sección 10.1.2 de la Norma COGUANOR NGO 36011 y las barras de acero de refuerzo para hormigón no deberán mostrar grietas en la parte exterior de la zona doblada.

Tabla III. **Requisitos de límite de fluencia, resistencia a la tensión y elongación**

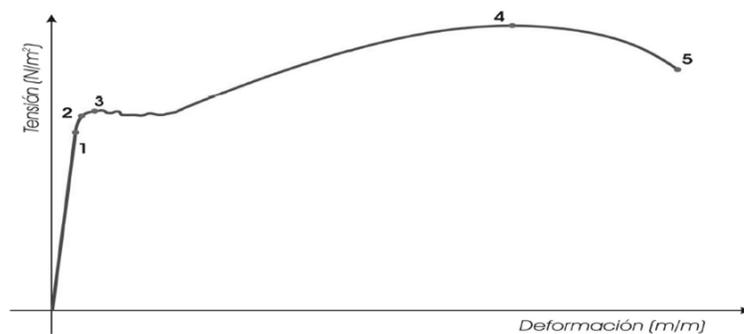
| | Grado 280^A [40] | Grado 414 [60] | Grado 517^B [75] |
|---|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Máxima resistencia a la tensión, min, MPa (psi) | 414 [60,000] | 620 [90,000] | 690 [100,000] |
| Esfuerzo de fluencia, min. MPa [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 [3 a 8].
 B: barras grado 517 [75] son fabricadas únicamente en designaciones de 19 a 57 [6 a 18].

Fuente: COGUANOR. 2005.

Los 5 puntos críticos en la curva típica de esfuerzo-deformación unitaria describen el comportamiento de los aceros para refuerzo en ensayos experimentales.

Figura 7. **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, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. p. 51.

- Puntos de la típica curva de esfuerzo-deformación unitaria de los aceros para refuerzo
 - (1) Límite de proporcionalidad: 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 (σ) = módulo de Young (E) * deformación unitaria (ϵ).

- (2) Límite elástico: 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 retirará 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.
- (3) Límite de fluencia o cedencia: 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.
- (4) Punto de máxima tensión o carga máxima: 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 donde el material empieza lo que se denomina falla del mismo.

- (5) Tensión de rotura: 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.

- Tenacidad: es la oposición con resistencia a deformarse o romperse; es la capacidad que tiene un material para absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto). El acero es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones.
- Ductilidad: permite la deformación por acciones mecánicas. Pueden con el acero elaborarse infinidad de elementos y darle las formas necesarias para su uso en los trabajos que se necesita, como lo puede ser desde alambres para amarre hasta la elaboración de perfiles y barras. En términos generales, por sus propiedades permite la fabricación de elementos por deformación plástica.

- Maleable: se pueden dar distintas formas sin agrietarlo o fallarlo, puede ser labrado o trabajado sin perder las propiedades y características en forma considerable. Esto permite al acero, ser cortado y doblado según sea la necesidad o requerimiento.
- Resistencia al desgaste: es la resistencia de un material visible cuando está en contacto por fricción con otro material, no permitiendo la erosión de uno contra el otro. Es la degradación física (pérdida o aumento de material, agrietamiento, plastificación, cambios estructurales como transformación de fase o recristalización, fenómenos corrosivos, entre otros.) debido al movimiento entre la superficie de un material sólido y uno o varios elementos de contacto.
- Maquinabilidad: es la propiedad de un material a procesarse por mecanizado. Este proceso se realiza previo a la inclusión en elementos que lo requieran o maquinaria, así como herramientas.
- Dureza: la densidad promedio del acero es 7 850 kilogramos por metro cúbico. Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos, entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.

- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- Permite fácilmente su unión por medio de soldadura.
- Es utilizado en la fabricación de imanes permanentes artificiales, ya que una pieza de acero imantada no pierde su imantación, si no es bajo efectos de temperatura. El proceso de magnetización se realiza por procedimientos de contacto, inducción o eléctricos. El acero inoxidable ferrítico es susceptible al magnetismo, pero el acero inoxidable austenítico no lo es, ya que la fase del hierro conocida como austenita no es magnéticamente susceptible. Los aceros inoxidables contienen principalmente níquel y cromo en porcentajes del orden del 10 por ciento, además de algunos aleantes en menor proporción.

1.3.8. Propiedades térmicas

Al conocer las propiedades térmicas del acero, puede evaluarse el gradiente térmico de dilatación del mismo y su interacción con el concreto y determinar los porcentajes de dilatación de los elementos de concreto armado, así como de los elementos estructurales elaborados con este.

- Dilatación: se denomina así al aumento en el volumen de determinado material, por acción del incremento en su temperatura. Esta no es uniforme ni sigue leyes determinadas.

El efecto del aumento de temperatura en elementos de acero, provoca un aumento en sus dimensiones. Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está

restringida en mayor o menor grado por el resto de los elementos de la estructura, deben tomarse en consideración los esfuerzos producidos.

- El coeficiente de dilatación y contracción del acero es similar al del concreto, lo que permite un muy buen trabajo en conjunto, por lo que su uso en la construcción es totalmente útil, formando en conjunto, acero y concreto; el concreto armado. El acero con el concreto, dados sus gradientes térmicos de dilatación forman un elemento muy indispensable en el medio constructivo dada su versatilidad en la fabricación de elementos estructurales y no estructurales.
- Conductividad eléctrica: es la capacidad presente en un material para facilitar u oponerse al paso de la corriente eléctrica. Este fenómeno se produce por una diferencia de potencial entre los extremos del metal.
- Conductividad térmica: es la facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él una cantidad de calor. El coeficiente de conductividad térmica k , da la cantidad de calor que pasaría a través de un determinado metal en función de su espesor y sección.
- La contracción, dilatación y punto de fundición están en función de la temperatura aplicada al acero.
- El punto de fusión del acero depende primordialmente de la aleación y los porcentajes de elementos conformantes. El de su principal componente, el hierro es de aproximadamente de 1 510 grados Celsius en estado puro (sin alear), no obstante las temperaturas de fusión regularmente conocidas son de alrededor de los 1 375 grados Celsius, y la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se

aumenta el porcentaje de carbono y de otros aleantes. (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte, el acero funde a 1 650 grados Celsius.

- Punto de ebullición cerca de los 3 000 grados Celsius.

1.3.9. Propiedades químicas

La palabra acero no se refiere a un compuesto único. Existen miles de aceros diversos, lo que hace variar sus propiedades químicas dependiendo de sus compuestos y sus cantidades contenidas.

Las propiedades determinantes de los aceros dependerán mayormente de los elementos conformantes de la aleación, siendo los que se encuentren en mayor cantidad los que aporten más propiedades a la aleación.

Toda actividad química del metal depende principalmente de impurezas que contenidas y la presencia de elementos que puedan reaccionar con estas, de las cuales fundamentalmente prevalecen 2 reacciones: oxidación y corrosión.

- Oxidación: es la combinación del oxígeno y aire sobre una superficie metálica. Esta es superficial, produciéndose en la capa más externa del metal y protegiendo a las capas interiores de la llamada oxidación o corrosión total.
- Corrosión: se considera así a toda acción ejercida por diversos agentes químicos sobre los metales, inicialmente en capas superficiales y consecutivamente en el resto. Esta es producida por el oxígeno, el cual

usa como catalizador el agua en contacto con el metal. De no tratarse en las capas exteriores puede provocar la pérdida total de las piezas.

- Corrosión general: la más común y mayormente conocida y puede ser tratada fácilmente.
- Corrosión intercrystalina: esta se debe a las impurezas contenidas, las cuales no son visualmente detectables.
- Corrosión localizada: está ubicada en sitios poco visibles, lo que provoca su paso desapercibido hasta que se produce un fallo en la pieza.

2. MÉTODOS DE CORTE EN BARRAS DE ACERO

La utilización de barras de acero, en la construcción de elementos de concreto reforzado, lleva a utilizar diferentes métodos de corte de las mismas, a fin de lograr formar los armados necesarios dentro de cada elemento, como los pueden ser columnas, vigas, losas y otros elementos.

Según se ha definido en el diseño previo, deben ajustarse las barras según las dimensiones de los elementos estructurales, para tales efectos se realizan los cortes de barras de acero en obra con diferentes métodos, según sea la conveniencia y disponibilidad de herramientas.

2.1. Muestreo en obras de infraestructura

Es importante conocer los métodos en que se realiza el corte de barras en un proyecto constructivo, a fin de recopilar información real en campo que exprese de manera certera los procedimientos más utilizados y que a su vez son los que predominan en todos los proyectos del medio.

El muestreo se realizó en construcciones en las cuales se utilizaron diferentes diámetros de barras de acero para formar elementos de concreto armado, los cuales fueron elaborados en base a un diseño previo con barras de acero de diferentes grados y diámetros según fueron diseñados, con acero obtenido en el mercado.

Tabla IV. **Parqueo CALUSAC, Campus Central**

| Número de barra | Cantidad | Grado | % utilizado | Tipo de método para realizar el corte |
|------------------------|-----------------|--------------|--------------------|--|
| 1/4 " (2) | 2 052 | 60 | 31 | Caimán y sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 1 670 | 60 | 25 | Caimán y sierra de arco |
| 1/2 " (4) | 470 | 60 | 7 | sierra de arco y pulidora |
| 5/8 " (5) | 647 | 60 | 10 | sierra de arco y pulidora |
| 3/4 " (6) | 968 | 60 | 15 | Pulidora |
| 7/8 " (7) | 511 | 60 | 8 | Pulidora |
| 1 " (8) | 355 | 60 | 5 | Pulidora |

Fuente: elaboración propia.

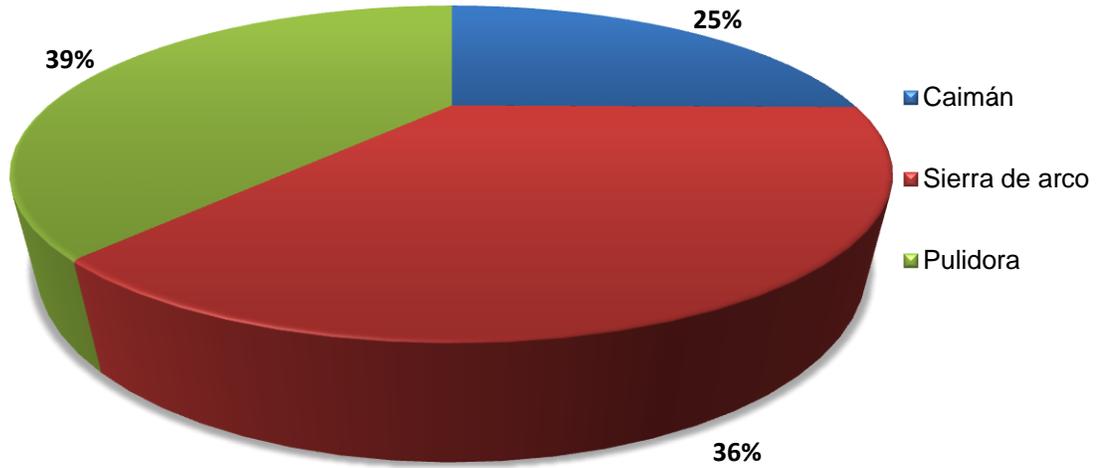
Tabla V. **Muestreo de tipo de corte**

| Método de corte | Cantidad de barras cortadas | % del método de corte |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Caimán | 1 680 | 25 |
| Sierra de arco | 2 404 | 36 |
| Pulidora | 2 589 | 39 |

Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos y representados porcentualmente (figura 8) permiten observar de forma clara los métodos convencionalmente más utilizados en el corte de barras de acero en el proyecto de la construcción del parqueo del edificio del Centro de Aprendizaje de Lenguas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CALUSAC), esta obra tiene una envergadura de 2 200 metros cuadrados aproximadamente.

Figura 8. Representación de método de corte en porcentaje 1



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Gimnasio estadio USAC, Campus Central

| Número de barra | Cantidad | Grado | % utilizado | Tipo de método para realizar el corte |
|-----------------|----------|-------|-------------|---------------------------------------|
| 1/4 " (2) | 2 765 | 60 | 21 | Caimán y sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 6 350 | 40 | 48 | Sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 150 | 60 | 1 | sierra de arco y pulidora |
| 1/2 " (4) | 2 950 | 60 | 22 | sierra de arco y pulidora |
| 5/8 " (5) | 710 | 60 | 5 | Pulidora |
| 1 " (8) | 288 | 60 | 2 | Pulidora |

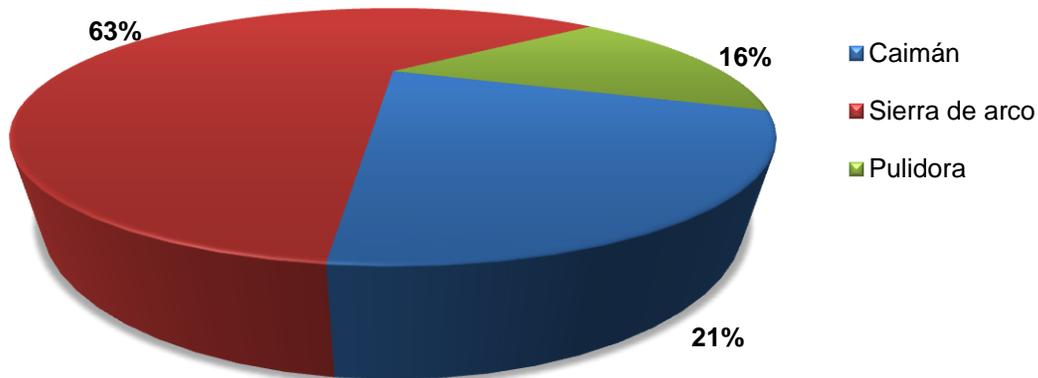
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Muestreo de tipo de corte**

| Método de corte | Cantidad de barras cortadas | % del método de corte |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|
| Caimán | 2 780 | 21 |
| Sierra de arco | 8 300 | 63 |
| Pulidora | 2 133 | 16 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Representación de método de corte en porcentaje 2**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Escuela Jocotán Chiquimula**

| Número de barra | Cantidad | Grado | % utilizado | Tipo de método para realizar el corte |
|-----------------|----------|-------|-------------|---------------------------------------|
| 1/4 " (2) | 1 320 | 60 | 19 | Sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 2 660 | 60 | 39 | Sierra de arco |
| 1/2 " (4) | 1 250 | 60 | 18 | Sierra de arco |
| 5/8 " (5) | 780 | 60 | 11 | Sierra de arco y pulidora |
| 3/4 " (6) | 612 | 60 | 9 | Pulidora |
| 1 " (8) | 200 | 60 | 3 | Pulidora |

Fuente: elaboración propia.

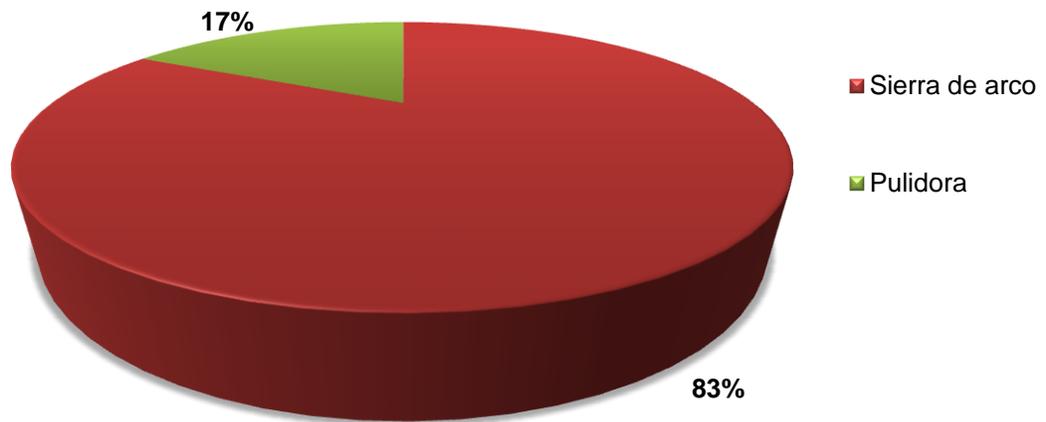
Tabla IX. **Muestreo de tipo de corte**

| Método de corte | Cantidad de barras cortadas | % del método de corte |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Caimán | 0 | 0 |
| Sierra de arco | 5 630 | 83 |
| Pulidora | 1 192 | 17 |

Fuente: elaboración propia.

Los datos representados en la figura 10 muestran los porcentajes utilizados por cada uno de estos métodos, expresados de manera porcentual a fin de lograr una comparación efectiva y de fácil análisis.

Figura 10. **Representación de método de corte en porcentaje 3**



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Proyecto CAIMI Sololá**

| Número de barra | Cantidad | Grado | % utilizado | Tipo de método para realizar el corte |
|-----------------|----------|-------|-------------|---------------------------------------|
| 1/4 " (2) | 3 627 | 60 | 21 | Caimán y sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 10 041 | 60 | 57 | Caimán, sierra de arco y pulidora |
| 1/2 " (4) | 2 578 | 60 | 15 | Caimán, sierra de arco y pulidora |
| 5/8 " (5) | 821 | 60 | 4,6 | Sierra de arco y pulidora |
| 3/4 " (6) | 71 | 60 | 0,4 | Pulidora |
| 1 " (8) | 345 | 60 | 2 | Sierra de arco y pulidora |

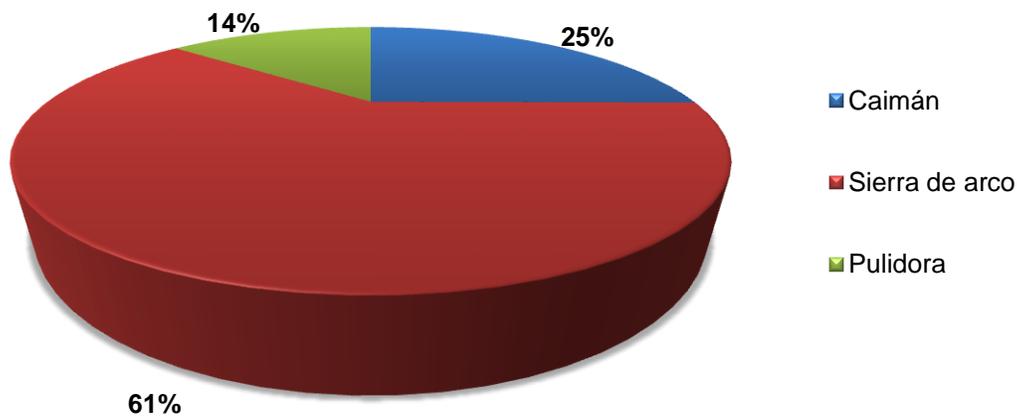
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Muestreo de tipo de corte**

| Método de corte | Cantidad de barras cortadas | % del método de corte |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|
| Caimán | 4 390 | 25 |
| Sierra de arco | 10 639 | 61 |
| Pulidora | 2 454 | 14 |

Fuente: elaboración propia

Figura 11. **Representación de método de corte en porcentaje 4**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Proyecto edificio CALUSAC**

| Número de barra | Cantidad | Grado | % utilizado | Tipo de método para realizar el corte |
|-----------------|----------|-------|-------------|---------------------------------------|
| 1/4 " (2) | 4 723 | 60 | 15 | Caimán y sierra de arco |
| 3/8 " (3) | 19 320 | 60 | 62 | Caimán, sierra de arco |
| 1/2 " (4) | 1 285 | 60 | 4 | Sierra de arco |
| 5/8 " (5) | 917 | 60 | 3 | Sierra de arco |
| 3/4 " (6) | 1 402 | 60 | 5 | Sierra de arco |
| 7/8 " (7) | 2 612 | 60 | 8 | Sierra de arco |
| 1 " (8) | 878 | 60 | 3 | Sierra de arco |

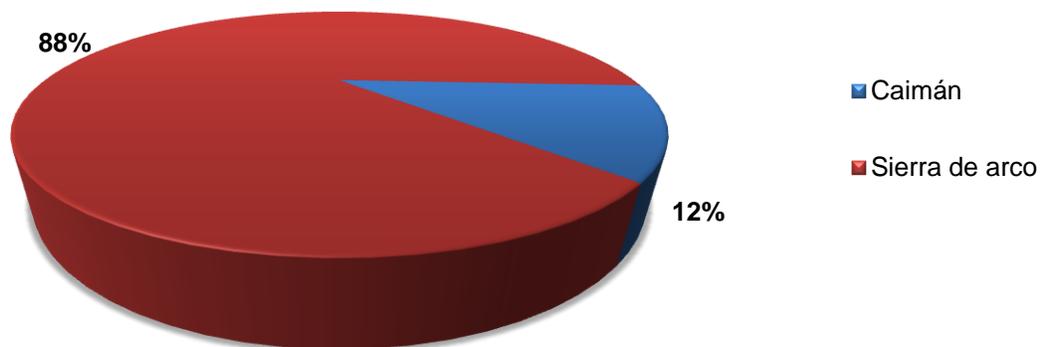
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Muestreo de tipo de corte**

| Método de corte | Cantidad de barras cortadas | % del método de corte |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|
| Caimán | 3 680 | 12 |
| Sierra de arco | 27 458 | 88 |
| Pulidora | 0 | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Representación de método de corte en porcentaje 5**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Métodos más utilizados

Algunos métodos suelen ser más rápidos y efectivos en determinados diámetros de barras, como lo es la utilización de cizallas manuales (caimanes) (figura 13), los cuales permiten efectuar de manera práctica en diámetros menores como lo son las barras de diámetros de 2/8 de pulgada (2) y 3/8 de pulgada (3).

Figura 13. Cizalla manual o caimán



Fuente: <http://www.ferreufeca.com/pro.php?id=5079>. Consulta: 4 de mayo de 2013.

Este método de corte reduce considerablemente el tiempo empleado en el corte de barras de diámetros menores y es mucho más práctico en comparación con otros métodos utilizados con menores costos, dado que no requiere el uso de ningún tipo de alimentación eléctrica o carburos y es de bajo costo en mantenimiento en comparación con la sierra de arco que requiere un cambio cada cierto período de uso, siendo su única desventaja la limitante del

uso efectivo en diámetros máximos de 3/8 de pulgada y el esfuerzo físico empleado al momento de su utilización.

El método de corte con sierra de arco (figura 14) es uno de los más utilizados en todo tipo de diámetros de barras; es un método que permite reducir los costos de equipos en obra y su versatilidad en otro tipo de trabajos que no estén directamente relacionados al corte de barras, posicionan a la sierra de arco como una herramienta muchas veces indispensable en una obra constructiva.

Figura 14. **Sierra de arco**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

Esta herramienta se compone principalmente de un arco de metal o plástico, al cual se le coloca una hoja de acero dentada para corte (figura 15), esta compuesta de diferentes aleaciones o tipos, según sea el uso a dar, dicha sierra debe ser reemplazada cuando se encuentre muy deteriorada, lo cual es la mayor desventaja de este método.

Figura 15. **Hoja de acero dentada para corte**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

El precio de las sierras de arco es relativamente bajo, dada su versatilidad pero su duración puede considerarse relativamente muy baja, dependiendo del uso que se le dé y en los materiales que se utilice.

Otra ventaja principal que posee este método para el corte de las barras de acero es que puede utilizarse en todo tipo de diámetros de barras, siendo la mayor desventaja en esto, la dificultad que conlleva el esfuerzo físico y el tiempo prolongado al momento de realizar los cortes en diámetros de barras mayores a 5/8 de pulgada.

El método de corte con pulidora o esmeriladora de mano (figura 16), es uno de los más usados dado su versatilidad y el ahorro de tiempo en el corte de barras de diferentes diámetros.

Su uso permite reducir considerablemente los tiempos en los cortes de las barras y lograr así la elaboración de los armados para los elementos estructurales de concreto armado de forma eficiente.

Figura 16. **Pulidora o esmeriladora de mano**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

La ventaja primordial de este método es la reducción en los períodos de corte de barras de acero y la versatilidad del uso de esta herramienta en otros trabajos relacionados a un proceso constructivo; para esto se dispone en el mercado de diferentes discos de corte (figura 17), los cuales se utilizan y adquieren dependiendo del uso o actividad a realizar, como lo puede ser el corte de concreto, corte de acero, pulir, entre otros, para cada actividad a realizar se encuentran disponibles en el mercado los diferentes tipos de discos adecuados a cada uso.

Según el diámetro de barras en las cuales se realizaran los cortes debe utilizarse y adecuarse el tamaño de cada uno de estos equipos, dado que diámetros mayores requerirán de equipo robusto, a fin de realizar dicha labor en un tiempo considerablemente menor al que tomaría con equipo no acorde al volumen de trabajo y diámetros de barras mayores.

Figura 17. Disco de corte para uso en pulidora



Fuente: http://www.traverstool.com.mx/abr_12/53-550-003.html. Consulta: 12 de mayo de 2013.

La desventaja del uso de esta herramienta en el corte de barras de acero en obra es principalmente el costo con relación a otros métodos para realizar dicha actividad, así como el costo de los discos a utilizar en esto, dado que estos se desgastan y deben ser reemplazados periódicamente o sufren quebraduras, lo que los hace inutilizables, así mismo el costo y la disponibilidad de la energía eléctrica que requiere para su funcionamiento.

El acetileno es el alquino más sencillo. Es un gas, sumamente inflamable, incoloro y más ligero que el aire. Este puede producir una llama que alcanza una temperatura de hasta 3 000 grados Celsius, esta es una de las más altas temperaturas alcanzadas por la combustión de un gas, y es superada únicamente por la combustión del hidrógeno atómico (3 400 grados Celsius hasta 4 000 grados Celsius), el cianógeno (4 525 grados Celsius) y la del dicianoacetileno (4 987 grados Celsius).

El acetileno es obtenido por *quenching*, que es enfriamiento rápido de una llama de gas natural o fracciones de aceites o petróleo en elevado punto de ebullición. El gas es utilizado directamente en planta como producto de partida en síntesis. Un proceso alternativo de síntesis, más apto para el laboratorio, es la reacción de agua con carburo cálcico (CaC_2); se forma hidróxido de calcio y acetileno, este gas regularmente tiene un olor a ajo muy característico, esto producto de las impurezas de trazas de fosfina que se forman del fosfuro cálcico.

El proceso de descomposición del gas acetileno forma una reacción exotérmica, la cual tiene el potencial de 12 000 kilocalorías por kilogramo. Así mismo su síntesis suele requerir elevadas temperaturas en alguna de sus etapas o el aporte de energía química de alguna otra manera.

Al tener un contenido de aire de entre el 2 y el 82 por ciento el acetileno se vuelve un gas altamente explosivo. También explota si se comprime solo, sin disolver en otra sustancia, por lo que para almacenar se disuelve en acetona, un disolvente líquido que lo estabiliza.

A principios del siglo XX era utilizado el acetileno para diversos usos dadas sus propiedades y versatilidad, su potencial como combustible, la facilidad de obtenerlo y su bajo costo. También se perfeccionaron los métodos y artefactos para su obtención, siendo en su mayoría sistemas en que el agua cae sobre el carburo, estando la caída de aquella graduada de tal modo por diversos juegos de válvulas, palancas y contrapesos que casi se llegó a evitar la sobreproducción de gas que tanto dañaba a los aparatos anteriores.

El acetileno se utilizaba en generadores, en lámparas de minería o en el soplete oxiacetileno empleado en la soldadura autógena produciendo

temperaturas de hasta 3 000 grados Celsius, el alumbrado de proyectores para la marina y para cinematógrafos. Los automóviles llevaban también a principios del siglo en su mayoría faros con aparatos autogeneradores de acetileno. Se llegaron a construir diversos aparatos de salvamento como cinturones, chalecos, boyas, entre otros, en cuyo interior y en un depósito *ad hoc* llevaban una dosis de carburo de calcio, dispuesto de tal suerte que al ponerse el carburo en contacto con el agua se produjera el gas acetileno dejando inflado convenientemente el aparato.

Actualmente el acetileno es utilizado como fuente de iluminación y de calor. En la vida diaria el acetileno es conocido como gas utilizado en equipos de soldadura, debido a las elevadas temperaturas que alcanzan las mezclas de acetileno y oxígeno en su combustión.

El acetileno es además un producto de partida importante en la industria química. Hasta la segunda guerra mundial una buena parte de los procesos de síntesis se basaron en el acetileno. Hoy en día pierde cada vez más en importancia debido a los elevados costes energéticos de su generación.

Disolventes como el tricloretileno, el tetracloreto, productos de base como viniléteres y vinilésteres y algunos carbociclos (síntesis según Reppe) se obtienen a partir del acetileno. Este también se utiliza en especial en la fabricación del cloroetileno (cloruro de vinilo) para plásticos, del etanal (acetaldehído) y de los neoprenos del caucho sintético.

Para lograr una fusión rápida (y evitar que el calor se propague) se utiliza un soplete que combina oxígeno (como comburente) y acetileno (como combustible). La mezcla de un gasógeno que hidrata carburo, aunque es una práctica poco aconsejable, dado que hay que resguardar el carburo de un

elemento tan abundante como es el agua. En caso de incendio, hay que apagar con polvo químico o CO₂, dado que el agua aviva el fuego al generar acetileno.

El proceso de corte de barras con acetileno es muy bajo y poco utilizado en el medio, dado los altos costos de adquisición de los gases participantes, así como de los tanques o cilindros de almacenamiento y la desventaja que representa el uso de únicamente mano de obra calificada.

Figura 18. **Mezcladora con cilindros para corte o soldadura con oxiacetiléno**



Fuente: <http://www.bricolandia.es/galagar-gap-oa-grupo-autonomo-portatil-soldadura-autogena-oxi-acetileno/>. Consulta: 12 de abril de 2013.

2.3. Clasificación de método por tipo de barra

En un proyecto constructivo se utilizan los métodos de corte de barras de acero de acuerdo a la conveniencia del personal que realiza esta tarea, así como de la disponibilidad de la maquinaria y/o equipo.

El uso de las cizallas manuales o caimanes es más común en diámetros menores como lo son las barras de diámetros 2/8 de pulgada, y 3/8 de pulgada aunque pueden llegar a utilizarse en diámetros de hasta 5/8 de pulgada, el uso en diámetros de barras mayores a este, es muy poco utilizado dada la limitante de la cizalla, así como del esfuerzo físico que conlleva el corte.

El uso de sierras de arco no se encuentra limitado a diámetros de barras de acero en específico, dado que puede ser utilizado en todos los diámetros encontrados en el mercado y en los no comerciales, con la única limitante del esfuerzo físico que conlleva el corte en diámetros de barras mayores.

Dada la versatilidad de las pulidoras o esmeriladoras de mano puede realizarse el corte de barras de acero con este método sin la limitante de un diámetro en específico. El uso de este método permite reducir los tiempos y puede ser utilizado en todo tipo de barras de acero y en otras tareas dentro de un proyecto constructivo.

Tabla XIV. **Resumen de método utilizado por diámetro de barras**

| Método | Diámetros cortados con este método |
|------------------|---|
| Caimán | De 3/8" hasta 5/8" |
| Sierra de arco | Todos los diámetros |
| Pulidora de mano | Todos los diámetros |
| Acetileno | Todos los diámetros |

Fuente: elaboración propia.

2.4. Estimación de rendimiento

Las pruebas de rendimiento son de importancia, a fin de realizar una correcta programación de las actividades a realizar en un proyecto constructivo, para tales fines deben realizarse las mediciones de tiempos que los trabajadores realizan distintas actividades, las cuales se encuentran incluidas dentro de las que se realizarán en campo en un proyecto.

Para establecer estas estimaciones correctas deben realizarse la mayor cantidad de muestreos posibles a fin de promediar un resultado real y que sea apegado a lo que se presenta al momento de realizar las actividades dentro de determinado proyecto de construcción civil.

Para estos muestreos, se hicieron las mediciones en campo a fin de determinar las estimaciones de rendimiento de trabajo para cortes de barras de acero en obra, dicha actividad es parte de la elaboración de los armados de barras de acero que se utilizarán en los diferentes elementos estructurales y no estructurales en un proyecto constructivo.

Se realizaron las mediciones de 4 cortes por método y número de barra a fin de promediar los rendimientos finales reales.

Tabla XV. **Datos de rendimiento por método de corte con caimán**

| Número de barra | Segundos | | | |
|-----------------|-----------|----------|----------|----------|
| | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 | Tiempo 4 |
| 1/4 " (2) | 8 | 12 | 11 | 12 |
| 3/8 " (3) | 12 | 16 | 13 | 10 |
| 1/2 " (4) | 12 | 18 | 14 | 19 |
| 5/8 " (5) | 16 | 13 | 15 | 18 |
| 3/4 " (6) | No aplica | | | |
| 7/8 " (7) | No aplica | | | |
| 1 " (8) | No aplica | | | |

Fuente: elaboración propia.

En este método, solo dada la restricción que tienen las cizallas en este caso, los caimanes más comunes en el mercado solo pueden trabajarse en un diámetro de barras de acero máximo de 5/8 de pulgada, por lo que este es el último dato representado en la tabla anterior.

Tabla XVI. **Datos de rendimiento por método de corte con sierra de arco**

| Número de barra | Segundos | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 | Tiempo 4 |
| 1/4 " (2) | 26 | 24 | 24 | 31 |
| 3/8 " (3) | 26 | 28 | 32 | 27 |
| 1/2 " (4) | 40 | 32 | 38 | 33 |
| 5/8 " (5) | 69 | 58 | 78 | 54 |
| 3/4 " (6) | 102 | 96 | 101 | 92 |
| 7/8 " (7) | 112 | 98 | 110 | 99 |
| 1 " (8) | 126 | 114 | 130 | 128 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos de rendimiento por método de corte con pulidora**

| Número de barra | Segundos | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 | Tiempo 4 |
| 1/4 " (2) | 6 | 7 | 5 | 6 |
| 3/8 " (3) | 7 | 6 | 7 | 9 |
| 1/2 " (4) | 13 | 9 | 14 | 19 |
| 5/8 " (5) | 21 | 18 | 28 | 23 |
| 3/4 " (6) | 48 | 54 | 63 | 62 |
| 7/8 " (7) | 65 | 49 | 53 | 72 |
| 1 " (8) | 72 | 62 | 65 | 69 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos de rendimiento por método de corte con acetileno**

| Número de barra | Segundos | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| | Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo 3 | Tiempo 4 |
| 1/4 " (2) | 24 | 27 | 19 | 26 |
| 3/8 " (3) | 45 | 36 | 46 | 42 |
| 1/2 " (4) | 55 | 58 | 62 | 57 |
| 5/8 " (5) | 72 | 67 | 69 | 71 |
| 3/4 " (6) | 103 | 109 | 112 | 116 |
| 7/8 " (7) | 167 | 176 | 165 | 170 |
| 1 " (8) | 180 | 179 | 186 | 201 |

Fuente: elaboración propia.

Tomados los datos de los rendimientos en campo se realizó el promedio de los mismos a fin de determinar los rendimientos por cada uno de los métodos y diámetro de barras de acero.

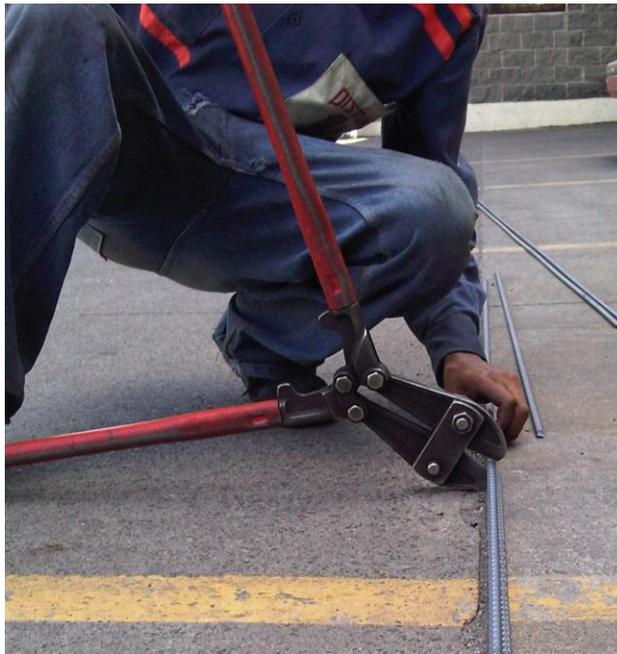
Estos datos reflejan un estimado de tiempo que requiere el corte de las barras en obra por cada uno de los métodos y diámetros.

Tabla XIX. **Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con cizalla de corte (caimán)**

| Número de barra | Estimado de tiempo |
|------------------------|---------------------------|
| 1/4 " (2) | 11 segundos |
| 3/8 " (3) | 13 segundos |
| 1/2 " (4) | 16 segundos |
| 5/8 " (5) | 16 segundos |
| 3/4 " (6) | No aplica |
| 7/8 " (7) | No aplica |
| 1 " (8) | No aplica |

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Procedimiento de corte de barras de acero con cizalla (caimán)**



Fuente: Distun Guatemala.

Tabla XX. **Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con sierra de arco**

| Número de barra | Estimado de tiempo |
|------------------------|---------------------------|
| 1/4 " (2) | 26 segundos |
| 3/8 " (3) | 28 segundos |
| 1/2 " (4) | 36 segundos |
| 5/8 " (5) | 1 minuto con 5 segundos |
| 3/4 " (6) | 1 minuto con 38 segundos |
| 7/8 " (7) | 1 minuto con 45 segundos |
| 1 " (8) | 2 minutos con 5 segundos |

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Procedimiento de corte de barras de acero con sierra de arco**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

Tabla XXI. **Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con pulidora**

| Número de barra | Estimado de tiempo |
|-----------------|-------------------------|
| 1/4 " (2) | 6 segundos |
| 3/8 " (3) | 7 segundos |
| 1/2 " (4) | 14 segundos |
| 5/8 " (5) | 23 segundos |
| 3/4 " (6) | 57 segundos |
| 7/8 " (7) | 60 segundos |
| 1 " (8) | 1 minuto con 7 segundos |

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Procedimiento de corte de barras de acero con pulidora de mano**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

Tabla XXII. **Resumen de estimación de rendimiento del corte de barras de acero con acetileno**

| Número de barra | Estimado de tiempo |
|------------------------|---------------------------|
| 1/4 " (2) | 24 segundos |
| 3/8 " (3) | 42 segundos |
| 1/2 " (4) | 58 segundos |
| 5/8 " (5) | 1 minuto con 10 segundos |
| 3/4 " (6) | 1 minuto con 50 segundos |
| 7/8 " (7) | 2 minutos con 50 segundos |
| 1 " (8) | 3 minutos con 21 segundos |

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Procedimiento de corte de barras de acero con acetileno**



Fuente: Proyecto CALUSAC.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

El procedimiento de preparación de las barras a ensayar consistió en someter las anteriores, a las temperaturas registradas al momento de realizar cada uno de los cortes. Dicha temperatura fue registrada por medio de termómetros de contacto e infrarrojo.

Las barras fueron sometidas a las temperaturas mostradas en las tablas XXIII y XXIV, dicha actividad se realizó en el horno de laminado de la empresa Aceros de Guatemala S. A., ubicada en Escuintla. Todo esto se realizó con la finalidad de reproducir en toda la barra la temperatura alcanzada al momento de realizar el corte en una barra de acero.

Tabla XXIII. **Resumen temperaturas registradas en barras número 3**

| Número de barra | Método de Corte | Temperatura registrada (grados Celsius) |
|------------------------|------------------------|--|
| 3/8 " (3) | Ninguno | 0 |
| 3/8 " (3) | Sierra de arco | 38 |
| 3/8 " (3) | Pulidora | 254 |
| 3/8 " (3) | Acetileno | 980 |

Fuente: elaboración propia.

De esta manera se buscó la representatividad de los efectos del aumento de temperatura en toda la barra, al momento de realizar los respectivos ensayos. A fin de que cualquier variación de las propiedades por efecto de la temperatura, sea fácilmente observable al momento de realizar los ensayos.

Tabla XXIV. **Resumen temperaturas registradas en barras número 7**

| Número de barra | Método de Corte | Temperatura registrada (grados Celsius) |
|------------------------|------------------------|--|
| 7/8 " (7) | Ninguno | 0 |
| 7/8 " (7) | Sierra de arco | 51 |
| 7/8 " (7) | Pulidora | 469 |
| 7/8 " (7) | Acetileno | 980 |

Fuente: elaboración propia

Este método permitió evaluar la variación en las propiedades de dichas barras. Siendo de mayor importancia al momento de la evaluación la resistencia a tensión, dado que los diseños de los elementos estructurales considera la resistencia a tensión de las barras de acero a utilizar en los mismos.

Según la Norma COGUANOR NGO 36 011 se establece que las muestras ensayadas deben estar de conformidad a los requerimientos para propiedades de tensión descritas en la tabla III de la Norma COGUANOR NGO 36011. Las pruebas mecánicas de tensión, doblado y elongación se llevarán a cabo empleando el equipo, aparatos y/o instrumentos adecuados, debidamente calibrados (ANEXOS, página 101):

- Máquina universal de ensayos físicos
- Dispositivo para doblado
- Extensómetro clase C o de mayor exactitud

3.1. Ensayo en barras a tensión

Las pruebas mecánicas de tensión se llevarán a cabo empleando el equipo, aparatos y/o instrumentos adecuados, debidamente calibrados y según se establece la Norma COGUANOR NGO 36 011 el esfuerzo de fluencia debe determinarse por uno de los siguientes métodos:

- Método de detención de la aguja indicadora o del lector digital de la máquina de prueba (detención de la aguja cuando marca la fuerza que produce la fluencia).
- 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 A 370 Test Methods and Definitions, que cumpla con la exactitud según clasificación de sistemas de extensómetros de acuerdo con los requerimientos del error máximo permitido en la lectura de la deformación anexos, página 101). La deformación unitaria bajo carga debe ser de 0,5 por ciento de la longitud calibrada para los grados 40, 60 y de 0,35 por ciento de la longitud calibrada, para grado 75.
- 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.

Pueden ser consultadas las Normas ASTM E 8-01 métodos para ensayos de tensión para materiales metálicos y E 1012-99 prácticas para verificación de alineación de muestra bajo carga de tensión.

3.1.1. Procedimiento del ensayo

Se tomó una barra cortada por cada uno de los métodos analizados, la cual ha sido previamente calentada a la temperatura medida al momento de realizar cada uno de los cortes, y tomando una muestra la cual no ha sido previamente calentada para mantener inalteradas las características a analizar, se procede a realizar el ensayo a tracción de las cuatro barras.

- Maquinaria y equipo a utilizar:
 - Cinta métrica graduada en milímetros
 - Vernier o calibrador digital
 - Balanza con capacidad de 20 kilogramos y aproximación de $\pm 0,5$ gramos
 - Punzón de 2 pulgadas (5 centímetros)
 - Martillo
 - Pinzas para elongación de 5 por ciento y 20 por ciento
 - Máquina universal con sistema para ensayo a tensión de barras de acero

3.1.2. Procedimiento

Debe prestársele la atención necesaria a los pasos siguientes, a fin de realizar el ensayo de forma correcta y con esto reduciendo al mínimo el error humano que pudiera presentarse:

- Identificar con cualquier nomenclatura de identificación.
- Registrar, en un formato, la clasificación, identificación y medidas.
- Medir la longitud inicial de cada barra en metros.
- Medir con vernier altura y diámetro; tomando la altura de corruga más el diámetro simultáneamente, en centímetros.
- Medir con vernier el diámetro inicial; tomando la parte lisa de la barra, en centímetros.
- Tomar la masa de cada barra en kilogramos.
- Anotar el tipo de corruga de cada barra ya sea en X, V.
- Marcar cada barra a lo largo con el punzón de 5 centímetros (2 pulgadas).
- Colocar la barra en la máquina universal, sujetándola con mordazas.
- Aplicar carga axial a tensión en kilogramo fuerza, observando y anotando la carga cedente, carga máxima y carga de ruptura.

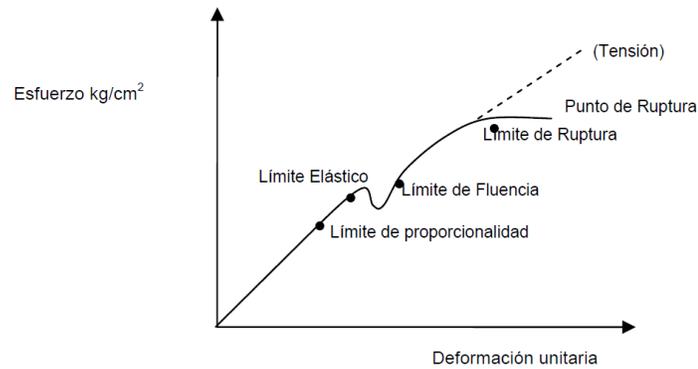
- Retirar la barra ensayada, unir las 2 piezas; para tomar las medidas finales, medir con las pinzas la elongación ocurrida en 5 por ciento y 20 por ciento tomando de referencia las 4 marcas más cercanas a la falla.
- Medir con vernier el diámetro final en centímetros, donde ocurrió la falla de la barra.

Figura 23. **Barra en máquina universal para ensayo de tensión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 24. **Comportamiento del acero a tensión**



Fuente: MORALES RAMÍREZ, Evelyn Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio relacionados con materiales de construcción*. p. 25

3.1.3. Cálculos

Los cálculos que a continuación se describen fueron tomados de las normas que rigen el proceso de ensayos en barras de acero para nuestro medio, tales normas son emitidas por COGUANOR.

- Masa unitaria

$$m \text{ u} = \frac{m}{l}$$

Donde:

m. u. = masa unitaria en kg/m

m = masa de la barra en kg

l = longitud de barra en metros

- Esfuerzos

$$\sigma_{cedente} = \frac{P_{cedente}}{A_e} \times 0,0980665$$

$$\sigma_{m\acute{a}ximo} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_e} \times 0,0980665$$

$$\sigma_{ruptura} = \frac{P_{rup}}{A_e} \times 0,0980665$$

Dónde:

$\sigma_{cedente}$ = esfuerzo cedente en megapascales

$\sigma_{m\acute{a}ximo}$ = esfuerzo máximo en megapascales

$\sigma_{ruptura}$ = esfuerzo de ruptura en megapascales

P_{ced} = carga cedente en kilogramos

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima en kilogramos

P_{rup} = carga de ruptura en kilogramos

A_e = área efectiva en centímetros cuadrados

3.2. Ensayo en barras a doblado

El doblado del acero que ha sido tratado térmicamente no es muy recomendable, pues el proceso de doblado en frío del material endurecido es más difícil y el material muy probablemente se haya tornado demasiado quebradizo para ser doblado; el proceso de doblado empleando antorchas u otros métodos para aplicar calor tampoco es recomendable, puesto que al volver a aplicar calor al metal duro, la integridad de este cambia y puede ser comprometida.

Según la Norma COGUANOR NGO 36 011 el diámetro del mandril está indicado en la prueba de doblado a 180 grados (anexos, página 101). La prueba

de doblado se hará doblando a la barra 180 grados alrededor de un mandril de acero, cuyo diámetro esta en función del diámetro de la barra y al grado del acero; la fuerza deberá aplicarse en forma continua y uniforme. La muestra será de sección completa, recta y no doblada con anterioridad.

Las Normas ASTM E 190 y E 290 pueden ser consultadas para métodos y prácticas de verificación del desarrollo de la prueba.

3.2.1. Procedimiento del ensayo

La prueba de doblado será realizada en muestras de suficiente longitud para asegurar el doblado libre y con un aparato que provea la aplicación de fuerza continua y uniforme a lo largo de la operación. Deberá haber un movimiento sin restricción alguna de la muestra en los puntos de contacto con el aparato y doblado alrededor del mandril con rotación libre. La muestra tendrá una envoltura íntima alrededor del mandril durante la operación.

Este ensayo no conlleva cálculo alguno para su aprobación. Las barras son evaluadas físicamente. Las barras de refuerzo no deberán mostrar grieta alguna en la parte exterior de la zona doblada, que ha sido sometida a la prueba. Prueba de doblado a 180 grados (anexos, página 101) indica los requisitos de grado de doblado y los tamaños del mandril a ser utilizados. La tabla indica los diámetros mínimos de doblado que una barra deberá sufrir para registrar un ensayo confiable.

3.2.2. Procedimiento

El ensayo de prueba de doblado es muy fácil de realizar. Las barras son sometidas de acuerdo a la norma según sea su diámetro respectivo. Este

ensayo es evaluado físicamente, por lo cual visualmente se puede determinar si la barra ha pasado la prueba. Para la elaboración del ensayo, se indica el diámetro de la barra sometida a la prueba, su identificación y si pasó o no la prueba.

Figura 25. **Ensayo de doblado en las barras de en máquina universal**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

3.3. Ensayo de dureza Rockwell

Este ensayo es el más usado para determinar la dureza debido a su simplicidad y forma de llevar a cabo, así también no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo que permite su

aplicación al ensayo de cualquier tipo de aleación o metal, ya sean muy duros o blandos.

Los penetradores son bolas esféricas de acero endurecido que tienen diámetros de $1/16$, $1/8$, $1/4$ y $1/2$ de pulgada y un penetrador cónico de diamante (Brale), este es utilizado en los ensayos de materiales más duros.

Este sistema determina un número de dureza a partir de la diferencia de profundidad de penetración, que resulta de la aplicación inicial de una carga pequeña y posteriormente una carga mayor; para el aumento en la exactitud de las mediciones se aplica la carga menor. La magnitud de las cargas aplicadas, ya sean mayores o menores determinan los 2 tipos de ensayos: Rockwell y Rockwell superficial. En el ensayo de Rockwell, la carga menor es de 10 kilogramos, mientras las cargas mayores son 60, 100 y 150 kilogramos. Cada escala esta representada por una letra del alfabeto.

La exactitud también depende si la dureza se toma sobre una superficie perfectamente lisa. Dado el error que puede darse por deformaciones menores si la superficie no es totalmente plana y lisa.

El ensayo consiste en colocar el material a ensayar, con una superficie plana sobre la base de la máquina. Sobre este es aplicada la precarga menor, la cual es de 10 kilogramos, esto a fin de eliminar la deformación elástica y determinar la dureza con mayor precisión. Aplicando luego en un período de 15 segundos un esfuerzo compresivo que va desde 60 a 150 kilogramos fuerza. Se retira la carga y mediante un durómetro Rockwell se obtiene el valor de la dureza por la lectura directamente en la pantalla, esta varía de forma proporcional dependiendo del material ensayado. Asimismo es posible

determinar la profundidad de indentación, si se conocen los valores y características del material ensayado.

3.3.1. Nomenclatura

A fin de conocer los parámetros utilizados en el ensayo de dureza se establece la nomenclatura que aparece a continuación, y asimismo se determinan las durezas Rockwell y Rockwell superficial por medio de la fórmula:

$$nHR\text{Letra}$$

Donde:

n = la carga aplicada en kilogramos

HR = el identificador del ensayo Rockwell

Letra = se ubica al final de HR y es usada para describir la escala utilizada en el ensayo

Para un material ensayado al cual se le ha aplicado una fuerza de 60 kilogramos y usado para su medición la escala B, se designaría:

$$60\text{ HRB}$$

3.3.2. Procedimiento del ensayo

Se fabricaron los especímenes a partir de las barras cortadas con cada uno de los métodos, en un extremo. Esto para determinar la dureza del material a fin de evaluar si hubo templado en las barras de acero.

Se elaboraron las probetas a partir de las barras cortadas, una por cada método y diámetro. Para mediante el ensayo determinar las longitudes que tuvieron influencia por el aumento de temperatura. Para esto se achataron 2 caras de las barras, esto a fin de proporcionar una base firme sobre la cual se apoyara la probeta y reducir el ladeo que pudiera presentarse.

Asimismo la otra cara plana y lijada finamente, esto para reducir el error que pudiera darse por las deformaciones menores al no ser una superficie plana. Todo este proceso de achatado se realizó en un taller de tornos, utilizando para este proceso un cepillo para metal, esto a fin de reducir el aumento de temperatura que pudiera afectar las características de las barras y diera como resultado datos no reales de los métodos de corte.

De existir templado en el extremo, sometido al aumento de temperatura extrema, se pretende evaluar la longitud última sobre la cual fue representativo el aumento en la dureza, dando así la muestra del templado del acero.

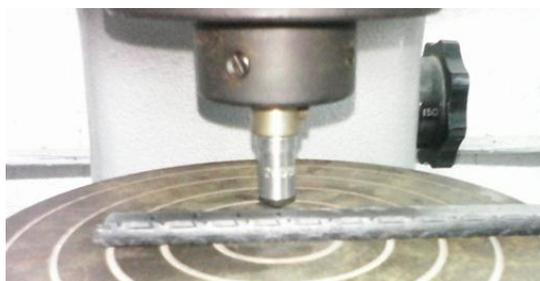
Figura 26. **Muestra para el ensayo Rockwell**



Fuente: Laboratorio de metalurgia.

Se evaluaron puntos a lo largo de la barra, puntos a cada 10 milímetros (anexos, página 113), a fin de determinar la variación de la dureza a lo largo de la barra a fin de determinar la longitud máxima de influencia significativa, provocada por el aumento de temperatura.

Figura 27. **Ensayo sobre barra**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia.

Figura 28. **Durómetro Rockwell aplicando carga sobre barra**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia.

- Paso 1: se sitúa el material a ensayar en el punto de interés, y se gira la base hasta que el indicador dentro del indicador de dureza este ubicado directamente sobre el punto rojo marcado. Tratando que este se coloque lo más centrado posible.
- Paso 2: se ubica manualmente el indicador de escala, haciéndolo girar hasta que este se encuentre alineado con el cero de la escala (la letra de la respectiva escala).
- Paso 3: se acciona la palanca menor ubicada bajo la base, esto para aplicar la precarga, esperando que la segunda palanca gire y se detenga. Posteriormente se gira la según da palanca, esto para aplicar la carga real y última, con lo cual se da por terminando el ensayo y se procede a hacer la lectura de dureza directamente del indicador de escala.

Figura 29. **Indicador de escala de durómetro Rockwell**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia.

3.4. Uso de barras de acero de acuerdo a su aplicación

El uso de barras de acero en las diferentes áreas de trabajo permite de manera fácil la fabricación de piezas y elementos; las cuales se elaboran de manera rápida y teniendo en cuenta la resistencia permiten obtener piezas y estructuras altamente resistentes.

3.4.1. Barras de acero corrugado

Se utiliza en la construcción acero de grado 60 y 40. Estas barras (varillas) tienen varios diámetros (grosos) que van desde los 6 milímetros hasta 1 3/8 de pulgada (34,9 milímetros). No obstante las más utilizadas y comunes son 6 milímetros, 3/8 de pulgada, 12 milímetros, 1/2 de pulgada y 5/8 de pulgada. Otros diámetros son para usos específicos en construcciones de dimensiones mayores y la mayoría de veces se adquieren bajo un pedido especial, hecho directamente a las plantas de fabricación de las mismas.

Siempre se debe tomar en cuenta que el diámetro de las barras y la cantidad de barras (aspectos inseparables) a utilizarse en la construcción de columnas, vigas, cimentación, entre otros, son obtenidas mediante un cálculo estructural realizado previamente por un ingeniero.

3.4.2. Barras redondas lisas y pulidas

Son productos laminados en caliente, de sección circular y superficie lisa, de conocimiento muy frecuente en el campo de la venta de barras. El mayor empleo de estas se realiza en las estructuras metálicas, entre las que se cuentan las de uso común como lo son las puertas, ventanas, enrejados,

cercas, componentes de maquinaria, ejes, pernos y tuercas por resaltado en caliente o mecanizado; pines, pasadores, entre otros.

Las más comúnmente utilizadas de este tipo en la construcción son las que tienen un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada, las cuales se utilizan mayormente en la elaboración de estribos utilizados en los armados de columnas de tamaños menores o mochetas.

3.4.3. Pletinas o pletina (perfil metálico)

Son productos de secciones rectangulares de acero laminado en caliente y de forma plana, pueden encontrarse en tamaños estandarizados, su uso principal es en la fabricación de piezas de herrería y para elaboración componentes mecánicos de uso general.

3.4.4. Barras cuadradas

Son productos elaborados de una sección cuadrada, de cantos levemente redondeados y se suministran en barras rectas, laminados en caliente, el mayor uso de estos es dentro del área de fabricación de piezas forjadas, de herrería y piezas mecánicas, entre otros.

3.4.5. Barras hexagonales

De forma similar a los antes mencionados su elaboración se realiza en caliente, formando secciones hexagonales y de superficie lisa, las que generalmente se utilizan en la fabricación de elementos de ensamble para, piezas estriadas, de herrería, elementos forjados, piezas de acople de maquinaria, entre otros. Tales elementos pueden ser sometidos a procesos de

templado y revenido, según sea la función primordial que prestará determinada pieza o elemento.

4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados comparados fueron obtenidos a partir de los ensayos descritos en el anterior capítulo y fueron comparados, cada barra cortada con los diferentes métodos de corte contra barras que no fueron sometidas a ningún tipo de aumento de temperatura. Todo esto a fin de establecer las variaciones que pudieran haberse presentado entre unas y otras.

4.1. Barras cortadas con sierra de arco

Estas barras dado el aumento menor de temperatura alcanzado, no presentan variaciones mayores de resistencia, siendo esta mínima y puede ser atribuible a la colada de la aleación.

Los valores obtenidos del procedimiento del ensayo a tensión en la barra número 3 (3/8 de pulgada), presentan un aumento de 10 MPa para el esfuerzo máximo a tensión, en comparación con la barra que no recibió ningún tipo de tratamiento térmico y que fue cortada con caimán, que es un método libre del aumento de temperatura significativa.

Para este método de corte en la barra número 7 (7/8 de pulgada), presenta un aumento de 35 MPa, para el esfuerzo máximo a tensión, esto en comparación con la barra del mismo diámetro y que no recibió ningún tratamiento térmico.

Todo lo anterior puede ser atribuible a impurezas en la aleación o a la colada de la aleación, así como pudo ser producto del error humano al momento de realizar los ensayos.

En el ensayo de doblado de las mismas no fue perceptible variación alguna ni se presentaron agrietamientos ni otras muestras visuales de variaciones físicas de las barras.

Estos datos reflejan que no existe variación en la resistencia a tensión en barras que son cortadas con sierra de arco, así mismo no afecta el doblado de las mismas.

4.2. Barras cortadas con pulidora de mano

Estas barras fueron sometidas a una temperatura en el horno de 254 grados Celsius para las número 3 y 469 grados Celsius para las número 7, a pesar de esto la variación en las propiedades mecánicas de las barras no presenta cambios significativos que puedan ser atribuidos al aumento de temperatura.

Para el ensayo de tensión se tiene una variación de 1 MPa en la barras número 3 con respecto a la barra que no fue sometida al aumento de temperatura. Y para la barra número 7 se obtuvo una variación de 1 MPa, esto con respecto a la barra del mismo diámetro y que no fue sometida a alta temperatura.

Asimismo para los 2 diámetros mencionados se realizó el ensayo de doblado, en el cual ninguna de las 2 barras presento agrietamiento u otro tipo de fractura o falla, por lo que se determinó que estas cumplieron

satisfactoriamente con el ensayo de doblado normado por la Norma COGUANOR NGO 36 011.

En el ensayo de dureza Rockwell se evaluaron puntos a cada 10 milímetros, partiendo del extremo sobre el cual se utilizó el método de corte con pulidora de mano. Esto para determinar la distancia influenciada por el aumento de temperatura que género el método.

Para el cual no fue apreciable el templado de la pieza de acero, por lo que se determinó que el aumento de temperatura no afectó las propiedades mecánicas, en este caso la dureza de la barra de acero, los valores obtenidos (anexo, página 113), no reflejan una variación en la dureza de gran significancia o que pueda ser atribuible a la temperatura alcanzada.

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos no son atribuibles al aumento de temperatura que género el método de corte con pulidora de mano, por lo que pueden ser atribuidos a la colada de los materiales (proceso de fabricación), error humano al proceder con los ensayos, bajo contenido de carbono, entre otros factores menos relevantes.

4.3. Barras cortadas con acetileno

Estas barras fueron sometidas al más alto aumento de temperatura de todas las barras que compusieron los ensayos, tal cual fue de 980 grados Celsius, esto para los diámetros de barras número 3 y número 7, tal temperatura fue la registrada por el método de corte con acetileno.

Para el ensayo de tensión en la barra número 3 se registró una variación de 19 MPa con respecto a la barra del mismo diámetro, que no fue sometida a

la temperatura de 980 grados Celsius. Así mismo en el ensayo de la barra número 7 fue perceptible una variación de 7 MPa, con respecto de la barra del mismo diámetro y que no se sometió al aumento de temperatura.

Para el ensayo de doblado realizado en los 2 diámetros de barras no fue perceptible agrietamiento ni otro tipo de indicador que hubiera sugerido la pérdida de propiedades mecánicas de las barras, por lo que se determinó que las mismas cumplían con lo establecido en la Norma COGUANOR NGO 36 011, dando sus resultados como satisfactorios.

Asimismo para el ensayo de dureza Rockwell, no fue perceptible el aumento de la dureza en ningún punto de la barra como lo reflejaron los resultados (anexo, página 113), por tanto se determinó que no hubo templado en la barras de acero, esto puede ser atribuible al bajo contenido de carbono que se utiliza en la elaboración del acero para fines constructivos a utilizar en concreto armado.

Se establece que los valores obtenidos de los métodos anteriores de ensayos, determinan que el aumento de temperatura no afecta de forma significativa a las propiedades mecánicas en las barras de acero, tales valores pueden ser atribuibles a factores externos, sobre los cuales no se tiene control total; como lo pueden ser los procesos de fabricación del acero, contenidos de carbono, error humano en la elaboración de los ensayos, entre otros.

CONCLUSIONES

1. Por medio de ensayos de laboratorio se evaluó la repercusión del aumento de la temperatura provocada por cada uno de los métodos de corte analizados en las propiedades de las barras de acero, con esto se definió la alteración no significativa en las propiedades mecánicas de las barras y se determinó la variación de las propiedades en barras influenciadas por los diferentes aumentos de temperatura.
2. Se determinó que el uso de estos métodos en el corte de las barras de acero, no afecta de forma considerable la resistencia de las mismas, siendo atribuible la variación a otros factores y no al aumento de la temperatura.
3. Tras comparar los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio de barras sometidas al aumento de temperaturas registradas al momento del corte contra barras sin aumento de temperatura, se determinó que estos métodos no afectan significativamente las propiedades mecánicas de las mismas debido a que se mantienen en las especificaciones y rangos de grado estructural correspondiente.
4. Después de evaluar los datos representativos del uso de las opciones anteriores se determinó que la manera en que se realiza el corte con estos métodos no repercute en las propiedades de las barras, por lo que su implementación no alterará los valores de diseño.

5. La relación de dureza de acuerdo al diámetro de barra determina una variación dispersa en la de número 7, mientras que la número 3 se mantiene constante debido al confinamiento de colada del material, asimismo, se observó que las mismas no presentan templado debido al bajo contenido de carbono presente en la aleación.

RECOMENDACIONES

Dados los diferentes métodos de corte de barras de acero que pueden ser utilizados dentro de un proyecto constructivo y luego de haber evaluado los anteriores se recomienda:

1. La implementación de los diferentes métodos de corte mencionados, deben ser utilizados dependiendo mayormente de la disposición de los mismos, así como del rendimiento requerido en una jornada de trabajo en el proyecto constructivo.
2. El factor económico determinará el uso que deba dársele a cada método en su momento, así también si es factible el uso de los mismos o se elegirán métodos más económicos, todo esto a fin de cumplir de manera eficiente la labor requerida dentro de los proyectos.
3. Dado que la influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas de las barras de acero no es significativa, dependerá del profesional residente el uso de los diferentes métodos de corte, siendo de su discreción el uso de los mismos, tras evaluar la factibilidad del uso dentro de los proyectos constructivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. Designation: ASTM A615, *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement*. EUA: ASTM International, mayo 2009. 7 p.
2. ARRESIS LÓPEZ, Jorge Vinicio. *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 de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 141 p.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO) 36011:2005*. 2ª re. Guatemala: Ministerio de Economía, 2005. 21 p.
5. Compañía de Aceros del Pacífico Sociedad Anónima. *Historia del acero*. (en línea). Chile: Infoacero, 2000.
<http://www.infoacero.cl/acero/historia.htm>. Consulta: 4 de mayo de 2013.

6. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales Y Puertos. El acero en la construcción. Campus de Elviña · 15071 A Coruña, España. (en línea).
http://caminos.udc.es/info/assignaturas/406/contenido_publico/recursos/tema00.pdf. Consulta: 4 de mayo de 2013.
7. MCCORMAC, JACK. *Diseño de concreto reforzado*. 4a ed. México: Alfa y Omega, 2002. 784 p.
8. MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 136 p.
9. NAWY, Edward. *Concreto reforzado, un enfoque básico*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1988. 743 p.
10. NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. 12a ed. Colombia: Mc Graw-Hill, 2004. 722 p.
11. PARK, R; PAULAY, T. *Estructuras de concreto reforzado*. 2a ed. México: Limusa, 1997. 844 p.
12. TIMOSHENKO, Gere. *Mecánica de materiales*. James M. Gere sp.t., California: Iberoamérica. 1996. 813p.
13. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica. (en línea). *Laboratorio de Resistencia de materiales guía de laboratorio*. página de los profesores, Calle Trujillo, Gabriel, Henao

Castañeda, Edison De Jesús. <http://www.utp.edu.co/~gcalle/>.
Consulta: 4 de mayo de 2013.

ANEXOS

Tabla XXV. **Clasificación de sistemas de extensómetros de acuerdo con los requerimientos del error máximo permitido en la lectura de la deformación**

| Clasificación de Sistema de Extensómetros | | | | |
|--|---|----------------------------------|--|---|
| Clasificación | Error de deformación no exceda mayor de | | Error de longitud calibrada no exceda mayor de | |
| | Error ajustado, (pulg/pulg) | Error variable, % de deformación | Error ajustado, pulg | Error variable, % de longitud calibrada |
| Clase A | 0,00002 | ± 0,1 | ± 0,001 | ± 0,1 |
| Clase B-1 | 0,0001 | ± 0,5 | ± 0,0025 | ± 0.25 |
| Clase B-2 | 0,0002 | ± 0,5 | ± 0,005 | ± 0,5 |
| Clase C | 0,001 | ± 1 | ± 0.,01 | ± 1 |
| Clase D | 0,01 | ± 1 | ± 0,01 | ± 1 |
| Clase E | 0,1 | ± 1 | ± 0,01 | ± 1 |

Fuente: COGUANOR, 2005.

Tabla XXVI. **Prueba de doblado a 180 grados**

| No. de designación de barra | Diámetro del mandril para pruebas de doblado ^A | | |
|-----------------------------|---|----------------|----------------|
| | Grado 40 [280] | Grado 60 [414] | Grado 75 [517] |
| 10, 13, 16 [3, 4, 5] | 3 1/2 ^B d | 3 1/2d | ... |
| 19 [6] | 5d | 5d | 5d |
| 22, 25 [7, 8] | 5d | 5d | 5d |
| 29, 32, 36 [9, 10, 11] | ... | 7d | 7d |
| 43, 57 [14, 18] *** | ... | 9d | 9d |

^A la prueba se dobla 180 grados a menos que se haga otra anotación.

^B d = diámetro nominal de la muestra.

*** En estas barras la prueba de doblado se realiza a 90 grados

Fuente: COGUANOR, 2005.

Tabla XXVII. **Designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones**

| No. de Designación de barra ^A | Masa nominal, kg /m (Masa nominal, lb/pie) | Dimensiones nominales ^B | | | Requerimientos de corrugaciones, mm (pulg.) | | |
|--|--|------------------------------------|--|----------------------|---|------------------------|---|
| | | Diámetro mm (pulg.) | Área de la sección transversal mm ² (pulg. ²) | Perímetro mm (pulg.) | Espaciamiento máximo promedio | Altura mínima promedio | Ancho máximo de separación sin corruga ^C (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 (1.000) | 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] que la barra deformada.

C: separación entre extremos de corrugas

Fuente: COGUANOR, 2005.

Figura 30. Resultado del ensayo a tensión en barra sin ningún tratamiento térmico de diámetro número 3 (3/8")

| | | | | | | |
|--|---|---|--|----------------|-----------------|-----------|
|  | CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA |  | | | | |
| BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO | | | | | | |
| 1. DATOS GENERALES | | | | | | |
| INFORME | 18-M | O. T. No. 32370 | | | | |
| INTERESADO | JULIO ROBERTO CACERES DIAZ CARNE 2001-17419 | | | | | |
| PROYECTO: | COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO. | | | | | |
| FECHA | 21/Ene/2014 | 09:53 | | | | |
| No. CORRELATIVO | 01 | APARIENCIA BUENA | | | | |
| IDENTIFICACION | NORMAL | | | | | |
| 2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS | | | | | | |
| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPA. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
| 0.536 | 9.33 | 29.32 | 0.68 | 9.80 | 2.36 | 0.76 |
| 0.56 | 9.5 | 29.9 | 0.71 | 6.7 | 3.6 | 0.38 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |
| * Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud. | | | | | | |
| Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra | | | | | | |
| 3. RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | | |
| ESFUERZOS A TENSION MPa | | | ALARGAMIENTO % | | | |
| FLUENCIA | MÁXIMO | | 20 cms | | | |
| 421 | 623 | | 17 | | | |
| 414** | 620** | | 9** | | | |
| ** Especificaciones del Acero | | | | | | |
| 4. DATOS FINALES | | | | | | |
| No. de Varilla | 3 | | | | | |
| Grado | 60 | | | | | |
| NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión . Las muestras fueron tomadas por el Interesado. Corruca en X. El Espaciamiento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones. | | | | | | |
| Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados C. SECRETARÍA TÉCNICA CII/USAC | | | Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería | | | |
| Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595 | | | | | | |

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 31. Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con sierra de arco, de diámetro número 3 (3/8")



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



BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

1. DATOS GENERALES

INFORME 19-M O. T. No. 32370
 INTERESADO JULIO ROBERTO CACERES DIAZ, CARNE, No. 2001-17419

PROYECTO COMPARACION DE REISTENCIA EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANC
 ACETILENO Y SIERRA DE ARCO.

FECHA 21/Ene/2014 10:08
 No. CORRELATIVO 03 APARIENCIA BUENA
 IDENTIFICACION SIERRA

2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS

| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPAC. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
|-----------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 0.550 | 9.45 | 29.70 | 0.70 | 9.90 | 2.46 | 0.83 |
| 0.56 | 9.5 | 29.9 | 0.71 | 6.7 | 3.6 | 0.38 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |

* Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.
 Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra

3. RESULTADOS DEL ENSAYO

| ESFUERZOS A TENSION MPa | | ALARGAMIENTO % |
|-------------------------|------------|----------------|
| FLUENCIA | MÁXIMO | 20 cms |
| 428 | 633 | 17 |
| 414** | 620** | 9** |

** Especificaciones del Acero

4. DATOS FINALES

| | |
|----------------|-----------|
| No. de Varilla | 3 |
| Grado | 60 |

NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la **Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión**. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.
 Corruja en X. El Espaciamiento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones.

Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez
 Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados
 C.C. SECRETARIA/METALURGIA

Vo.Bo.
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería



cbr
 Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
 Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 32. **Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con pulidora de mano, de diámetro número 3 (3/8")**



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



BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

1. DATOS GENERALES

INFORME 20-M **O. T. No.** 32370
INTERESADO JULIO ROBERTO CACERES DIAZ CARNE 2001-17419

PROYECTO COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO

FECHA 22/Ene/2014 **09:01**
No. CORRELATIVO 05 **APARIENCIA** BUENA
IDENTIFICACION PULIDORA

2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS

| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPAC. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
|-----------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 0.535 | 9.32 | 29.29 | 0.68 | 9.80 | 2.41 | 0.70 |
| 0.56 | 9.5 | 29.9 | 0.71 | 6.7 | 3.6 | 0.38 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |

* Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.
Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra

3. RESULTADOS DEL ENSAYO

| ESFUERZOS A TENSION MPa | | ALARGAMIENTO % |
|-------------------------|--------|----------------|
| FLUENCIA | MÁXIMO | 20 cms |
| 428 | 622 | 18 |
| 414** | 620** | 9** |

** Especificaciones del Acero

4. DATOS FINALES

| | |
|-----------------------|-----------|
| No. de Varilla | 3 |
| Grado | 60 |

NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la **Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión**. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.
Corruca en X. El Espaciamiento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones.

Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez
Jefe Sección Metales y Productos
Manufacturados
C.C. SECRETARÍA IMPRESOS
USAC

cbr

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 33. Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con acetileno, de diámetro número 3 (3/8")



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



BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

1. DATOS GENERALES

INFORME 21-M O. T. No. 32370
 INTERESADO JULIO ROBERTO CACERES DIAS CARNE No. 2001-17419

PROYECTO COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO ACETILENO Y SIERRA DE ARCO

FECHA 22/Ene/2014 09:14
 No. CORRELATIVO 07 APARIENCIA BUENA
 IDENTIFICACION ACETILENO

2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS

| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPA. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
|-----------|-----------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 0.551 | 9.46 | 29.73 | 0.70 | 9.80 | 2.50 | 0.75 |
| 0.56 | 9.5 | 29.9 | 0.71 | 6.7 | 3.6 | 0.38 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |

* Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.
Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra

3. RESULTADOS DEL ENSAYO

| ESFUERZOS A TENSION MPa | | ALARGAMIENTO % |
|-------------------------|------------|----------------|
| FLUENCIA | MÁXIMO | |
| 428 | 642 | 20 cms |
| 414** | 620** | 14 |
| | | 9** |

** Especificaciones del Acero

4. DATOS FINALES

| | |
|----------------|-----------|
| No. de Varilla | 3 |
| Grado | 60 |

NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la **Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión**. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.
 Corruca en X. El Espaciamento Long. corresponde a dos (2) corrucciones.

Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez
 Jefe Sección Metales y Productos
 Manufacturados
 C.C. SECRETARIA/METALES

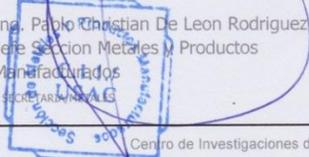
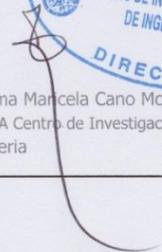
chr

Vo.Bo.
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
 Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 34. **Resultado del ensayo a tensión en barra sin ningún tratamiento térmico de diámetro número 7 (7/8")**

| | | | | | | |
|---|---|---|--|----------------|-----------------|-----------|
|  | CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA |  | | | | |
| BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO | | | | | | |
| 1. DATOS GENERALES | | | | | | |
| INFORME | 22-M | O. T. No. 32370 | | | | |
| INTERESADO | JULIO ROBERTO CACERES DIAZ CARNE No. 2001-17419 | | | | | |
| PROYECTO | COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO | | | | | |
| FECHA | 22/Ene/2014 | 09:20 | | | | |
| No. CORRELATIVO | 9 | APARIENCIA BUENA | | | | |
| IDENTIFICACION | NORMAL | | | | | |
| 2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS | | | | | | |
| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPA. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
| 3.034 | 22.20 | 69.75 | 3.87 | 24.50 | 4.14 | 1.18 |
| 3.042 | 22.2 | 69.8 | 3.87 | 15.5 | 8.5 | 1.12 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |
| * Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud. | | | | | | |
| Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra | | | | | | |
| 3. RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | | |
| ESFUERZOS A TENSION MPa | | | ALARGAMIENTO % | | | |
| FLUENCIA | MÁXIMO | | 20 cms | | | |
| 443 | 725 | | 16 | | | |
| 414** | 620** | | 8** | | | |
| ** Especificaciones del Acero | | | | | | |
| 4. DATOS FINALES | | | | | | |
| No. de Varilla | 7 | | | | | |
| Grado | 60 | | | | | |
| NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión . Las muestras fueron tomadas por el Interesado. Corruca en V. El Espaciamento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones. | | | | | | |
| Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados C.C. SECRETARÍA ASISTENTE  | | | Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería  | | | |
| Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595 | | | | | | |

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 35. Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con sierra de arco, de diámetro número 7 (7/8")

| | | | | | | |
|--|---|---|---|-------------------|--------------------|-----------|
|  | CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA |  | | | | |
| BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO | | | | | | |
| 1. DATOS GENERALES | | | | | | |
| INFORME | 55-M | O. T. No. 32443 | | | | |
| INTERESADO | JULIO ROBERTO CACERES DIAZ, CARNE No. 2001-17419 | | | | | |
| PROYECTO | | | | | | |
| TRABAJO DE GRADUACION COMPARACION DE RESISTENCIA | | | | | | |
| EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO | | | | | | |
| FECHA | 05/Feb/2014 | 09:44 | | | | |
| No. CORRELATIVO | 01 | APARIENCIA BUENA | | | | |
| IDENTIFICACION | **** | | | | | |
| 2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS | | | | | | |
| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPA. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
| 2.925 | 21.80 | 68.49 | 3.73 | 18.80 | 4.58 | 1.55 |
| 2.235 | 19.1 | 59.8 | 2.84 | 13.3 | 7.3 | 0.97 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |
| * Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud. | | | | | | |
| Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra | | | | | | |
| 3. RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | | |
| ESFUERZOS A TENSION MPa | | | ALARGAMIENTO % | | | |
| FLUENCIA | MÁXIMO | | 20 cms | | | |
| 456 | 760 | | 16 | | | |
| 414** | 620** | | 8** | | | |
| ** Especificaciones del Acero | | | | | | |
| 4. DATOS FINALES | | | | | | |
| No. de Varilla | 7 | | | | | |
| Grado | 60 | | | | | |
| <p>NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.</p> <p>Corruca en X. El Espaciamiento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones.</p> | | | | | | |
| <p>Jorge Pablo Christian De Leon Rodriguez Jefe Sección Metales y Productos Manufacturas C.I. INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</p> | | | <p>Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería</p> | | | |
| <p>Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595</p> | | | | | | |

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 36. Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con pulidora de mano, de diámetro número 7 (7/8")



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



BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

1. DATOS GENERALES

INFORME 24-M **O. T. No.** 32370
INTERESADO JULIO ROBERTO CACERES DIAS CARNE No. 2001-17419

PROYECTO COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO ACETILENO Y SIERRA DE MANO

FECHA 22/Ene/2014 **09:39**
No. CORRELATIVO 13 **APARIENCIA** BUENA
IDENTIFICACION PULIDORA

2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS

| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPAC. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
|-----------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 3.142 | 22.59 | 70.98 | 4.01 | 28.40 | 4.61 | 1.38 |
| 3.042 | 22.2 | 69.8 | 3.87 | 15.5 | 8.5 | 1.12 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |

* Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.
 Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra

3. RESULTADOS DEL ENSAYO

| ESFUERZOS A TENSION MPa | | ALARGAMIENTO % |
|-------------------------|--------|----------------|
| FLUENCIA | MÁXIMO | 20 cms |
| 440 | 726 | 16 |
| 414** | 620** | 8** |

** Especificaciones del Acero

4. DATOS FINALES

| | |
|-----------------------|-----------|
| No. de Varilla | 7 |
| Grado | 60 |

NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la **Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión**. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.
 Corruca en V. El Espaciamento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones.

Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez
Jefe Sección Metales y Productos
Manufacturados
C. SECRETARIA METALES

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 37. Resultado del ensayo a tensión en barra sometida a la temperatura similar a la alcanzada con acetileno, de diámetro número 7 (7/8")



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



BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

1. DATOS GENERALES

INFORME 25-M O. T. No. 32370
 INTERESADO JULIO ROBERTO CACERES DIAZ CARNE No. 2001-17419

PROYECTO COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO ACETILENO Y SIERRA DE ARCO

FECHA 22/Ene/2014 10:14
 No. CORRELATIVO 15 APARIENCIA BUENA
 IDENTIFICACION ACETILENO

2. CALCULOS COMPLEMENTARIOS

| PESO kg/m | DIAMETRO* mm | PERIMETRO* mm | AREA* cm ² | ESPEC. LONG. mm | ANCHO RIBETE mm | ALTURA mm |
|-----------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 3.106 | 22.46 | 70.57 | 3.96 | 24.40 | 4.14 | 1.13 |
| 3.042 | 22.2 | 69.8 | 3.87 | 15.5 | 8.5 | 1.12 |
| NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | NOMINAL | MÁXIMO | MÁXIMO | MÍNIMO |

* Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.
 Observación: se acepta una tolerancia de 6% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra

3. RESULTADOS DEL ENSAYO

| ESFUERZOS A TENSION MPa | | ALARGAMIENTO % |
|-------------------------|--------|----------------|
| FLUENCIA | MÁXIMO | 20 cms |
| 456 | 718 | 19 |
| 414** | 620** | 8** |

** Especificaciones del Acero

4. DATOS FINALES

| | |
|----------------|----|
| No. de Varilla | 7 |
| Grado | 60 |

NOTAS: Las especificaciones utilizadas en el presente ensayo son de la **Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión**. Las muestras fueron tomadas por el Interesado.
 Corruca en V. El Espaciamiento Long. corresponde a dos (2) corrugaciones.

Ing. Pablo Christian De Leon Rodriguez
 Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados
 C.O. SECRETARIA/METALES

chr

Vo.Bo.
 Inga. Telma Mariela Cano Morales
 DIRECTORA Centro de Investigaciones de Ingeniería



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
 Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 38. **Resultado del ensayo de doblado de todos los diámetros y tratamientos térmicos**



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



PRUEBA DE DOBLADO

O.T. No. 32370

INFORME No. 26-M

INTERESADO: JULIO ROBERTO CACERES DIAZ CARNE No. 2001-17419
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "COMPARACION DE RESISTENCIAS EN BARRAS DE ACERO CORTADAS CON PULIDORAS DE MANO, ACETILENO Y SIERRA DE ARCO".
 ASUNTO: PRUEBA DE DOBLADO
 PROVEEDOR: *****
 FECHA: GUATEMALA, 22 DE ENERO DE 2014.

Antecedentes

El interesado refirió a este Centro de Investigaciones de Ingeniería 08 barras de acero de construcción, con el objeto de aplicarles prueba de doblado según Norma ASTM A-615 y Norma COGUANOR 36011 Segunda Revisión.

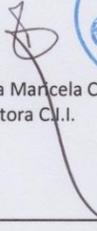
Resultados

| No. CORRELATIVO SECCION | IDENTIFICACION | PRUEBA DE DOBLADO 180° |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| 2 | No.3 CORRUGA EN X NORMAL | PASO PRUEBA |
| 4 | No.3 CORRUGA EN X SIERRA | PASO PRUEBA |
| 6 | No. 3 CORRUGA EN X PULIDORA | PASO PRUEBA |
| 8 | No. 3 CORRUGA EN X ACETILENO | PASO PRUEBA |
| 10 | No.7 CORRUGA EN V NORMAL | PASO PRUEBA |
| 12 | No.7 CORRUGA EN V SIERRA | PASO PRUEBA |
| 14 | No.7 CORRUGA EN V PULIDORA | PASO PRUEBA |
| 16 | No.7 CORRUGA EN V ACETILENO | PASO PRUEBA |

Atentamente,



Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados
USAC
cbr



Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora C.I.I.




Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

Figura 39. **Horno de laminado, donde se realizó el proceso de temperatura de las barras de acero**



Fuente: Planta Aceros de Guatemala.

Figura 40. **Barra sacada del horno de laminado después del aumento de temperatura**



Fuente: Planta Aceros de Guatemala.

Tabla XXVIII. **Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell para la barra cortada con pulidora, número 7 (7/8")**

| Distancia (mm) | Dureza (HRC) |
|-----------------------|---------------------|
| 0 | 12,5 |
| 10 | 9,0 |
| 20 | 10,0 |
| 30 | 14,0 |
| 40 | 9,0 |
| 50 | 17,0 |
| 60 | 17,0 |
| 70 | 18,0 |
| 80 | 23,5 |
| 90 | 22,5 |
| 100 | 21,0 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell para la barra cortada con pulidora, número 3 (3/8")**

| Distancia (mm) | Dureza (HRC) |
|-----------------------|---------------------|
| 0 | 9,5 |
| 10 | 10,0 |
| 20 | 11,5 |
| 30 | 12,0 |
| 40 | 15,5 |
| 50 | 15,0 |
| 60 | 15,0 |
| 70 | 15,0 |
| 75 | 13,5 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell para la barra cortada con acetileno, número 7 (7/8")**

| Distancia (mm) | Dureza (HRC) |
|-----------------------|---------------------|
| 0 | 18,3 |
| 10 | 20,5 |
| 20 | 17,5 |
| 30 | 17,0 |
| 40 | 18,0 |
| 50 | 20,5 |
| 60 | 18,0 |
| 70 | 19,5 |
| 80 | 25,5 |
| 90 | 25,5 |
| 100 | 22,0 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell para la barra cortada con acetileno, número 3 (3/8")**

| Distancia (mm) | Dureza (HRC) |
|-----------------------|---------------------|
| 0 | 24,5 |
| 10 | 12,0 |
| 20 | 15,5 |
| 30 | 15,5 |
| 40 | 27,0 |
| 50 | 31,0 |
| 60 | 34,0 |
| 70 | 31,0 |
| 80 | 33,0 |

Fuente: elaboración propia.