

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO PRODUCIDO
POR LA EMPRESA CHILENA GERDAU AZA S.A. Y
COMERCIALIZADO POR UNIFER S.A., EN EL MERCADO
ECUATORIANO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

SUSANA DEL PILAR SÁNCHEZ REDROBÁN

JUANITA MILENA VILLAFUERTE TORRES

DIRECTOR: PROF. ING. JORGE VINTIMILLA

Quito, Febrero 2011

DECLARACIÓN

Nosotras, Susana del Pilar Sánchez Redrobán y Juanita Milena Villafuerte Torres, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Susana Sánchez Redrobán

Juanita Villafuerte Torres

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Susana del Pilar Sánchez Redrobán y Juanita Milena Villafuerte Torres, bajo mi supervisión.

Prof. Ing. Jorge Vintimilla
DIRECTOR DE PROYECTO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 HISTORIA DEL ACERO.....	2
1.3 GENERALIDADES	4
1.3.1 EL ACERO	4
1.3.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO.....	5
1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.....	6
1.3.4 ACEROS AL CARBONO.....	8
1.3.5 PROPIEDADES DEL ACERO	9
1.4 COMPOSICIÓN DEL ACERO	11
1.4.1 INFLUENCIA DE LOS CONSTITUYENTES DEL ACERO	11
1.5 PROCESO DE FABRICACIÓN	14
1.5.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGÓN GERDAU AZA.....	14
1.5.2 COLADO DEL ACERO	15
1.5.3 LAMINACIÓN EN CALIENTE DE LAS BARRAS	16
CAPÍTULO 2.....	18
2.1 ENSAYOS FÍSICOS.....	18
2.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN	18
2.1.2 ENSAYO DE DOBLADO EN FRÍO.....	24
2.1.3 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B.....	29
2.1.4 ENSAYO DE FATIGA.....	34
2.1.5 ENSAYO DE CORTE.....	42
2.1.6 ENSAYO DE SOLDADURA	47
2.1.7 ENSAYO DE IMPACTO	57
2.2 ENSAYO QUÍMICO	65
2.2.1 ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA	65
2.3 ENSAYO METALGRÁFICO	69
2.3.1 ANÁLISIS METALGRÁFICO	69
CAPÍTULO 3.....	76
COMPENDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	76

3.1	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN.....	76
3.1.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
3.2	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DOBLADO EN FRÍO.....	82
3.2.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
3.3	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B.....	85
3.3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
3.4	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FATIGA.....	87
3.4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
3.5	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE CORTE.....	90
3.5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	91
3.6	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE SOLDADURA.....	93
3.6.1	EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	93
3.6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	98
3.7	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE IMPACTO.....	100
3.7.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
3.8	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE METALOGRAFÍA.....	105
3.8.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	136
3.9	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	137
3.9.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	138
	CÁPITULO 4.....	139
	CONCLUSIONES.....	139
4.1	CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	139
4.2	RECOMENDACIONES.....	143
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
	GLOSARIO.....	145
	ANEXOS.....	150
	ANEXO A : RECOPIACIÓN DE INFORMES.....	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Longitud de las probetas para el ensayo de Tracción.....	22
Tabla 2.2.- Diámetros de mandriles, longitud de probeta y espaciamiento entre apoyo requerido para el el ensayo de Doblado.....	26
Tabla 2.3.- Especificaciones de los espaciamientos entre apoyos	26
Tabla 2.4.- Especificaciones técnicas del equipo de medición de dureza	30
Tabla 2.5.- Composición química de la varilla de diámetro 32mm	49
Tabla 2.6.- Composición química de la varilla de diámetro 25mm	49
Tabla 2.7.- Composición química de la varilla de diámetro 20mm	49
Tabla 2.8.- Porcentaje de carbono equivalente.....	49
Tabla 2.9.- Temperatura mínima para el precalentamiento de las varillas a ser soldadas.....	50
Tabla 2.10.- Requisitos para la selección del material de aporte.....	51
Tabla 2.11.- Procedimiento de soldadura para la junta en posición 1G.....	55
Tabla 2.12.- Especificaciones técnicas del Microscopio Metalográfico	72
Tabla 3.1.- Resultados del ensayo de tracción.....	77
Tabla 3.2.- Especificaciones mecánicas de las varillas para hormigón armado.....	78
Tabla 3.3.- Resumen de los esfuerzos de fluencia y esfuerzo máximo de las varillas.....	78
Tabla 3.4.- Relación del esfuerzo de rotura vs el esfuerzo de fluencia	81
Tabla 3.5.- Resultados del ensayo de doblado.....	82
Tabla 3.6.- Resumen de las durezas obtenidas de la sección transversal de la varilla Gerdau Aza.....	85
Tabla 3.7.- Resumen de las durezas obtenidas de la sección longitudinal de la varilla Gerdau Aza.....	85
Tabla 3.8.- Comparación de la dureza obtenida en el ensayo vs la dureza debido a la resistencia de tracción....	86
Tabla 3.9.- Resumen de resultados del ensayo de Fatiga.....	87
Tabla 3.10.- Resultados del ensayo de Corte	90
Tabla 3.11.- Resumen de resultados del ensayo a Corte.....	92
Tabla 3.12.- Resultados de la resistencia de las varillas soldada a traslape	93
Tabla 3.13.- Resultados de la resistencia de las varillas soldada a tope	94
Tabla 3.14.- Identificación de las muestras	95
Tabla 3.15.- Resultado Macrográfico	95
Tabla 3.16.- Identificación de las muestras	97
Tabla 3.17.- Resultado Macrográfico.....	97
Tabla 3.18.- Resultados del ensayo de Impacto a una temperatura de - 30° C.....	100
Tabla 3.19.- Resultados del ensayo de Impacto a una temperatura de 17° C.....	101

Tabla 3.20.- Resultados del ensayo de Impacto a una temperatura de 80° C.....	101
Tabla 3.21.- Resultados del ensayo de Impacto a una temperatura de 240° C.....	102
Tabla 3.22.- Resultados del ensayo de Impacto	102
Tabla 3.23.- Identificación de las muestras	105
Tabla 3.24.- Inclusiones en la sección transversal de las varillas de acero corrugado	106
Tabla 3.25.- Inclusiones en la sección longitudinal de las varillas de acero corrugado	110
Tabla 3.26.-Tamaño de las Inclusiones en la sección longitudinal y transversal de las varillas de acero corrugado.....	113
Tabla 3.27.- Resultados de las metalografías después del ataque.....	119
Tabla 3.28.- Resultados del ensayo de composición química.....	137
Tabla 3.29.- Composición química según la norma INEN 2 167: 98	138

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1.- Máquina de ensayo universal.....	23
Fotografía 2.2.- Máquina universal de Ensayo Tinius Olsen.....	27
Fotografía 2.3.- Inicio del proceso de doblado.....	28
Fotografía 2.4.- Durómetro Estandarizado.....	31
Fotografía 2.5.- Probetas transversales para el ensayo de dureza.....	32
Fotografía 2.6.- Probetas longitudinales para el ensayo de dureza.....	32
Fotografía 2.7.- Descripción visual del ensayo de dureza.....	33
Fotografía 2.8.- Probetas maquinadas para el ensayo de Fatiga.....	40
Fotografía 2.9.- Maquina para el ensayo de Fatiga.....	41
Fotografía 2.10.- Probeta bajo esfuerzos cíclicos.....	42
Fotografía 2.11.- Dado y soporte Jhonson.....	45
Fotografía 2.12.- Equipo necesario para el ensayo a Corte.....	46
Fotografía 2.13.- Aplicación del esfuerzo cortante en varilla.....	47
Fotografía 2.14.- Operador soldando en posición 1G.....	56
Fotografía 2.15.- Probeta maquinada para ensayo de Impacto.....	60
Fotografía 2.16.- Péndulo de Impacto.....	62
Fotografía 2.17.- Péndulo de Charpy golpeando la muestra.....	64
Fotografía 2.18.- Espectro de chispa.....	68
Fotografía 2.19.- Microscopio para el análisis metalográfico	73
Fotografía 2.20.- Colocación de resina en las probetas.....	74
Fotografía 2.21.- Pulidoras.....	75
Fotografía 3.1.- Doblado de la varilla a 180 ° C.....	83
Fotografía 3.2.- Cara externa de las varillas sin fisuración.....	84
Fotografía 3.3.- Falla en probeta por ensayo de fatiga.....	89
Fotografía 3.4.- Corte doble en varilla de diámetro 14 mm.....	91
Fotografía 3.5.- Corte doble en varilla de diámetro 14 mm.....	91
Fotografía 3.6.- Soldadura de las varillas a traslape antes del ensayo a tracción	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Curva del ensayo a tracción (Esfuerzo – Deformación).....	19
Figura 2.2.- Curva S vs N.....	37
Figura 2.3.- Detalle de la probeta a emplearse en el ensayo de Fatiga.....	39
Figura 2.4.- Junta a tope.....	50
Figura 2.5.- Proceso de Soldadura de Electrodo Cubierto.....	54
Figura 2.6.- Energía de fractura por impacto para el acero al carbono.....	58
Figura 2.7.- Detalle de probeta según la ASTM E23.....	60
Figura 2.8.- Se muestra un esquema de la distribución de los esfuerzos absorbidos.....	61
Figura 2.9.- Esquema de la fuerza aplicada.....	63
Figura 2.10.- Diagrama Hierro Carbono.....	70
Figura 2.11.- Límites de grano de los aceros.....	72
Figura 3.1.- Fuerza vs posición de las varillas corrugadas.....	79
Figura 3.2.- Comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción para cada diámetro.....	80
Figura 3.3.- Curva esfuerzo de fractura- ciclos.....	88
Figura 3.4.- Energía vs Temperatura.....	103

DEDICATORIA

A Dios, a mi padre José, a mi madre Socorrito, a mis hermanos José y Francisco, por su apoyo incondicional.

Susana Sánchez Redrobán

DEDICATORIA

A Juan, Margarita y María Belén.

A Luis † y Mariana.

Juanita Milena

AGRADECIMIENTO

Al Prof. Ing. Jorge Vintimilla Jaramillo por su valiosa dirección para la realización del presente trabajo.

Al Ing. César Monroy e Ing. Patricio Estupiñan por su incondicional apoyo y guía.

Queremos agradecer de manera especial al personal de los Laboratorios de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, a los Laboratorios de Metalografía, Análisis de Esfuerzos y Vibraciones, Máquinas Herramientas, Soldadura y al Departamento de Metalurgia Extractiva, de la Facultad de Ingeniería Mecánica; a sus Jefes, Directores, Asistentes y Ayudantes por su gentil ayuda y su generosa colaboración.

Muchas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo detalla el estudio y experimentación de las varillas de acero corrugas fabricadas por la empresa Gerdau Aza, para la verificación de las propiedades del material como son la ductilidad, resistencia, dureza, tenacidad, etc., con el respaldo de las normas ASTM, AWS e INEN.

En el primer capítulo, se realiza una descripción de las características del acero, los tipos de acero, las propiedades, el proceso de fabricación y la composición química del material.

En el segundo capítulo, se detalla la teoría de los ensayos que se realizaron como son el de Tracción, Doblado en frío, Dureza Rockwell B, Fatiga, Corte, Soldadura, Impacto, Metalográfico, y de Composición Química, sus procedimientos, equipos y materiales.

En el tercer capítulo, se desarrolla los resultados de cada ensayo y el análisis de los mismos aplicando los rangos de valores que permiten las normas en cada ensayo.

Como consecuencia del desarrollo del presente estudio se pudo llegar a obtener mejoras considerables y muy cercanas a los valores de la bibliografía con respecto a las varillas de acero corrugado, para que sea utilizado de forma confiable, en los diseños y aplicaciones de la construcción.

PRESENTACIÓN

El acero es un material que está presente en nuestro diario vivir. Con sólo dar una mirada a nuestro alrededor, podemos darnos cuenta de la importancia del acero en nuestra vida. Muchos de los implementos que utilizamos están fabricados de acero, en especial los centros urbanos requieren acero en su estructura. Así, el acero es el metal más utilizado en el mundo, por sus resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado y disponibilidad.

Para controlar la calidad de un producto se realizan inspecciones o pruebas de muestreo, para verificar que las características del producto sean óptimas y puedan cumplir con especificaciones y normativas.

La empresa UNIFER S.A. requiere verificar que las varillas de acero importado de la empresa chilena GERDAU AZA S.A., cumpla con las normativas nacionales e internacionales, caso contrario mejorar la calidad del producto.

Se pretende investigar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las barras de acero corrugado mediante el estudio experimental, aplicados en todos los diámetros que comercializa actualmente en el Ecuador.

Para comprobar la calidad del acero de refuerzo los ensayos serán realizados de acuerdo a las especificaciones que determinan las normas, se tomarán en cuenta el número de probetas, equipos, velocidades requeridas, esfuerzos, entre otros, que contribuirán con su óptima ejecución para que los resultados obtenidos sean lo más cercanos a la realidad. Cuyo objetivo final es que este acero de refuerzo sea utilizado con seguridad, confianza, en los diferentes diseños y aplicaciones de la construcción.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

En toda actividad productiva, el control de calidad es un factor relevante para obtener un producto aprobado. En el caso particular de la construcción de estructuras de hormigón armado, los materiales que se emplean actualmente no difieren mucho de aquellos que comenzaron a utilizarse hace algunas décadas y como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad, costo y es por ello su gran importancia para la población, industria y comercio.

En el presente proyecto se desarrolla un estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas, que posee el acero Gerdau AZA, tomando como referencia la bibliografía de varios autores, las normas ASTM, AWS e INEN vigentes en nuestro país, para así recomendar su utilización de manera confiable y segura para el campo de la construcción.

Para comprobar la calidad del acero de refuerzo los ensayos que se ha utilizado serán realizados de acuerdo a las especificaciones que determinan las normas, se tomarán en cuenta el número de probetas, equipos, velocidades requeridas, esfuerzos, entre otros, que contribuirán con la óptima ejecución del ensayo para que los resultados sean lo más cercanos a la realidad y que cumplan la normativa, para que el acero de refuerzo sea utilizado de forma confiable, en los diseños y aplicaciones de la construcción.

1.2 HISTORIA DEL ACERO¹

Aunque no se tiene datos precisos de la fecha en la que se descubrió la técnica de fundir material de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado, los primeros utensilios de este metal descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a. C.

Algunos de los primeros aceros provienen del Este de África, fechados cerca de 1400 a. C.

En la China antigua bajo la dinastía Han, entre el año 202 a. C y el año 220 d. C., se creó acero al derretir hierro forjado junto con hierro fundido, obteniendo así mejor producto de carbón intermedio, el acero, en torno al siglo I a. C.

El acero crucible basado en distintas técnicas de producir aleaciones de acero empleado calor lento y enfriando hierro puro y carbón fue producido en Merv entre el siglo IX y el siglo X.

En China, bajo la dinastía Song del siglo XI, hay evidencia de la producción de acero empleando dos técnicas: una de un método que producía un acero de calidad inferior por no ser homogéneo, y un precursor del moderno método Bessemer el cual utilizaba una descarbonización a través de repetidos forjados bajo abruptos enfriamientos.

El hierro para uso industrial fue descubierto hacia el año 1500 a.C., en Medzamor, cerca de Ereván, capital de Armenia y del monte Ararat. La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundándose extensamente hacia el año 1200 a.C.

Los métodos antiguos para la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno, con carbón vegetal y tiro de aire. Una posterior expulsión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego se perfeccionó la cementación fundiendo el acero cementado en crisoles de arcilla y en Sheffield (Inglaterra) se obtuvieron, a partir de 1740, aceros de crisol.

¹ El acero Estructural para Ingeniería Mecánica: Zapater – Pérez; México D.F- 2009

Fue Benjamín Huntsman el que desarrolló un procedimiento para fundir hierro forjado con carbono, obteniendo de esta forma el primer acero conocido.

En 1856, Sir Henry Bessemer, hizo posible la fabricación de acero en grandes cantidades, pero su procedimiento ha caído en duda, porque solo podía utilizar hierro que contuviese fósforo y azufre en pequeñas proporciones.

En 1857, sir William Siemens ideó otro procedimiento de fabricación industrial del acero, el procedimiento de Siemens se basa en la descarburación de la fundición de hierro dulce y óxido de hierro, calentando con aceite, gas de coque, o una mezcla de gas de alto horno y de coque. Siemens había experimentado en 1878 con la electricidad para calentar los hornos de acero, pero fue el metalúrgico francés Paúl Héroult coinventor del método moderno para fundir aluminio quién inició en 1902 la producción comercial del acero en hornos eléctricos a arco.

El método de Héroult consiste en introducir en el horno chatarra de acero de composición conocida haciendo saltar un arco eléctrico entre la chatarra y unos grandes electrodos de carbono situados en el techo del horno.

En 1948 se inventa el proceso del oxígeno básico L – D. tras la Segunda Guerra Mundial se iniciaron experimentos en varios países con oxígeno puro en lugar de aire para los procesos de refinado del acero. El éxito se logró en Austria en 1948, cuando una fábrica de acero situada cerca de la ciudad de Linz, Donawitz desarrolló el proceso del oxígeno básico o L – D.

En 1950 se inventa el proceso de colada continua, que se usa cuando se requiere producir perfiles laminados de acero de sección constante y en grandes cantidades. En la actualidad, se utilizan algunos metales y metaloides en forma de ferroaleaciones, que unidos al acero le proporcionan excelentes cualidades de dureza y resistencia.

1.3 GENERALIDADES

1.3.1 EL ACERO

“El acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar a diferencia de los aceros, se moldean.”²

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

El hierro y sus aleaciones son los habitualmente llamados metales ferrosos, cuyas propiedades cambian de forma significativa en presencia de pequeñas cantidades de aleaciones y ante el cambio de su estructura atómica, mediante el calentamiento y el enfriamiento.

Las barras de acero de construcción a ser estudiadas son ASTM A615 Grado 60.

$F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ (Resistencia a la fluencia).

Las varillas tienen resaltes por lo que se llama acero corrugado.

² El acero Estructural para Ingeniería Mecánica: Zapater – Pérez; México D.F- 2009

1.3.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO³

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que éstas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m³.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1.510 °C en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1.375 °C, y en general 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 rápido funde a 1.650 °C.
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000 °C.
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad.

³El acero Estructural para Ingeniería Mecánica: Zapater – Pérez; México D.F.- 2009

1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS⁴

Establecer una clasificación de los tipos de acero es un poco complejo. Además se debe considerar que en cada país rigen normas distintas.

Para los aceros aleados, debido a la presencia de nuevos y distintos elementos la clasificación es más dificultosa aún.

Todas estas clasificaciones especifican principalmente las composiciones químicas de los aceros, subdivididos en un sinnúmero de grupos e incluyendo decenas de análisis químicos diferentes.

Este sistema de clasificación de los aceros considera como base la composición química de los aceros, los que a su vez, podrían ser considerados en los siguientes subgrupos:

- **Aceros al Carbono:** aquellos aceros en los que está presente el Carbono y los elementos residuales, como el Manganeso, Silicio, Fósforo y Azufre, en cantidades consideradas como normales.
- **Aceros aleados de baja aleación:** aquellos aceros en que los elementos residuales están presentes sobre las cantidades normales, o donde están presentes nuevos elementos aleantes, cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado (normalmente un 3,0 al 3,5%). En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos.
- **Aceros aleados de alta aleación:** aquellos aceros en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra, en el mínimo, de un 10 a 12%. En estas condiciones, no sólo la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales

⁴ GERDAU AZA, Compendio de normas para productos de acero, Primera edición – 2002, pág. 14

sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y frecuentemente, múltiples operaciones.

- **Aceros aleados de media aleación:** aquellos aceros que pueden ser considerados un grupo intermedio entre los dos anteriores.

1.3.3.1 ACEROS ESTRUCTURALES ⁵

Es un material usado para la construcción de estructuras, de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza.

Entre sus ventajas está la gran resistencia a tensión y compresión así como su costo razonable. Su mayor uso como material estructural ha correspondido a las varillas usadas en el hormigón reforzado y a los perfiles livianos usados en estructuras. Los aceros de alta resistencia se utilizan mucho en proyectos de Ingeniería Civil.

Se define como acero estructural a lo que se obtiene al combinar el hierro (mínimo 98%), carbono y pequeñas proporciones de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le contribuyen un conjunto de propiedades determinadas.

De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- Aceros al Carbono
- Aceros de alta resistencia y baja aleación

Por razones de importancia para nosotros, se dará especial énfasis a los aceros al Carbono.

⁵ GERDAU AZA, Compendio de normas para productos de acero, Primera edición – 2002, pág. 20

1.3.4 ACEROS AL CARBONO⁶

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros, son los siguientes:

- Ductilidad y homogeneidad.
- Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia.
- Soldabilidad.
- Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento.
- Resistencia a la corrosión, razonable.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado, por los aceros al Carbono de bajo a medio Carbono, que son obtenidos por laminación y cuyos límites de resistencia varían de 40 a 50 Kgf/mm² y alargamientos que están en torno al 20%.

De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la homogeneidad en todo el producto. La ductilidad de estos aceros garantiza una excelente trabajabilidad en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.

El límite de fluencia, así como el módulo de elasticidad, son las características del acero que se utilizan en el proyecto y el cálculo de una estructura.

La soldabilidad por otra parte, es otra característica muy importante en este tipo de material de construcción, ya que la soldadura de los elementos y piezas en una estructura, es práctica común. Los aceros al Carbono comunes también satisfacen este requisito, pues deben ser soldados sin alterar su microestructura. Del mismo modo, el corte por llama, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a estos aceros, desde el punto de vista de sus alteraciones microestructurales en las proximidades de la zona de corte.

⁶ http://www.ramos.utfsm.cl/doc/796/sc/AcerosEstructurales_GERDAU.PDF

Finalmente, la resistencia a la corrosión sólo es alcanzada por la adición de pequeñas cantidades de cobre, elemento que adicionado en cantidades muy bajas (0,25%) mejora esta propiedad en dos veces en relación al mismo acero sin cobre.

Para la mayoría de las aplicaciones estructurales, la cantidad de Carbono de estos aceros varía entre 0,15% a 0,40%, con otros elementos (Mn, Si, P y S) en cantidades consideradas normales. Un acero con Carbono y Manganeso de un 0,20% y 0,50% respectivamente, presenta un límite de fluencia de 25 Kgf/mm² y una resistencia mecánica de 42 Kgf/mm².”

1.3.5 PROPIEDADES DEL ACERO ⁷

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero.

El motivo principal está centrado en la multiplicidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad
- Dureza
- Resistencia
- Maleabilidad
- Tenacidad

La primera de ellas, la **ductilidad**, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.

La **dureza** se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

⁷ GERDAU AZA, Compendio de normas para productos de acero, Primera edición – 2002, pág. 18

Analizando el caso de la **resistencia**, específicamente el de la resistencia a la tracción, tendremos que ésta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.

La **maleabilidad** es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.

La **tenacidad** viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, en levantar determinada estructura o edificio.

Finalmente, la **Rigidez** es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Es necesario aclarar que las varillas de acero corrugado empleadas en este estudio son de procedencia chilena producido por la empresa Gerdau AZA, son productos de sección circular, con nervios longitudinales y nervios inclinados respecto a su eje de clase A42-27Es, en esta nomenclatura, la letra A significa que el material es Acero al Carbono; los números se refieren a la resistencia a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción, respectivamente expresados en Kg/mm²; la letra E indica que el acero es para usos estructurales y la letra S que el acero es de soldabilidad garantizada.

Estas especificaciones son de acuerdo a normas chilenas (NCh).

En Estados Unidos así como en nuestro país, la Norma de aceros al Carbono estructurales más popular es la ASTM 615.

Las Barras de Refuerzo Gerdau AZA para Hormigón Armado, se usan en la confección de armaduras de cualquier elemento de hormigón armado, ya sea vaciado en obra, pretensado o premoldeado.

Ejemplo de aplicaciones son: losas, muros, vigas, columnas, muros de contención, estanques de agua, edificios en altura, represas, diques, pavimentos.

1.4 COMPOSICIÓN DEL ACERO

1.4.1 INFLUENCIA DE LOS CONSTITUYENTES DEL ACERO⁸

En los aceros al carbono, el carbono propiamente como tal, es elemento que más influye en las propiedades mecánicas del acero, transformando al hierro de un material o metal simple a una aleación compleja, aumentando su dureza y resistencia mecánica y a su vez reduciendo la plasticidad. Los elementos que acompañan al acero al carbono se les denominan por ciertos autores impurezas útiles e impurezas perjudiciales. Las impurezas útiles aquellas que mejoran las propiedades del acero, por lo tanto se les suele añadir al acero. Las impurezas perjudiciales son aquellas que producen efectos negativos en las propiedades. Estas impurezas o elementos perjudiciales coexisten junto al hierro y el carbono. El efecto adverso de los denominadas impurezas solo se presenta en determinadas concentraciones, las que al ser mínimas no producen efectos negativos, y hasta ciertas cantidades se convierten en beneficiosos.

1.4.1.1 Manganeso.-

El manganeso permite obtener lingotes de acero sanos debido a su efecto desoxidante y por impedir la formación perjudicial del sulfuro de hierro, con lo cual promueve la forjabilidad del acero. Se combina fácilmente con todo el azufre del acero, formando sulfuro de manganeso (MnS), de este modo se impide que el azufre se combine con el hierro, si llega a combinar el azufre con el hierro se forma un sulfuro de hierro, el que producirá un acero frágil en caliente, difícil de forjar y de utilizar.

⁸ Manual de tratamientos térmicos para acero al carbono, Valdivia Chile- 2005
<http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>

1.4.1.2 Silicio.-

Al igual que el manganeso, se considera un agregado denominado como una impureza útil. El silicio influye al aumentar la elasticidad del acero y otorga mayor resistencia a la oxidación.

1.4.1.3 Azufre.-

En determinadas concentraciones, se le considera como un elemento perjudicial en el acero, ya que lo convierte en frágil en altas temperaturas e impide la conformación en caliente (laminado, forja). En cantidades reducidas ($< 0.012\%$) no ejerce efectos perjudiciales, sin embargo en cantidades de 0.06% suele producir efectos perjudiciales.

1.4.1.4 Fósforo.-

En el pasado se le consideraba uno de los elementos más perjudiciales que se podían encontrar presente en el acero. Sin embargo, según investigaciones meticulosas realizadas, han demostrado que hasta cantidades de 0.08% de su presencia no es perjudicial en la mayoría de las aplicaciones. Una cantidad mayor produce fragilidad en frío, a causa de su tendencia a originar estructura de grano grueso y segregaciones. El fósforo en presencia del cobre aumenta la capacidad del acero para resistir a la corrosión atmosférica y aumenta la resistencia eléctrica. También mejora la resistencia al rozamiento y mejora la maquinabilidad en los aceros para tornillería.

1.4.1.5 Aluminio.-

Se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. También se utiliza como elemento desoxidante.

1.4.1.6 Boro.-

En muy pequeñas cantidades logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro.

1.4.1.7 Cromo.-

Es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de los aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción. Sirve para aumentar la dureza, la resistencia a la tracción.

1.4.1.8 Molibdeno.-

Es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad.

1.4.1.9 Titanio.-

Se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura.

1.4.1.10 Vanadio

Posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción.

Los porcentajes de cada uno de los elementos pueden configurar un tipo determinado de acero normalizado, dependiendo del uso que se quiera dar al acero.

1.5 PROCESO DE FABRICACIÓN

1.5.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGÓN GERDAU AZA⁹

Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro - herrumbre. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y materiales térreos.

El acero se fabrica partiendo de la fundición o hierro colado; éste es muy impuro, pues contiene excesiva cantidad de carbono, silicio, fósforo y azufre, elementos que perjudican considerablemente la resistencia del acero y reducen el campo de sus aplicaciones.

En Gerdau AZA, el proceso de fabricación del acero se inicia con la selección, procesamiento y corte de trozos de acero en desuso, la chatarra, que es la materia prima básica. Otros elementos que también son empleados en la fabricación, son las ferroaleaciones, oxígeno, cal y fundentes, entre otros.

En primer lugar, la materia prima se carga en cestas, en proporciones adecuadas para satisfacer las especificaciones del proceso de fabricación del acero, las que son trasladadas a la Acería para alimentar el horno de arco eléctrico. Toda la carga es fundida en el horno de 60 toneladas de capacidad, mediante la aplicación de un arco eléctrico que desarrolla una potencia de 45.000 KVA.

⁹ Gerdau AZA, Compendio de normas para productos de acero, Primera edición - 2002

Una vez terminado el proceso de fusión, en donde toda la carga pasa del estado sólido al estado líquido, momento en el cual alcanza una temperatura de alrededor de 1.630°C, el acero es trasladado a un Horno de Cuchara, donde se realizará la etapa de afino y se procederá a tomar muestras de acero para realizar el análisis de espectrometría, con el propósito de conocer su composición química. Durante toda la etapa de fusión, se inyectan al horno importantes cantidades de oxígeno para extraer y remover las impurezas y cumplir así con los estándares de calidad preestablecidos. Luego de conocido el informe sobre la composición química, se realizan las correcciones necesarias mediante el proceso de afino, lo que permite obtener la composición y purezas deseadas. De esta forma, los diferentes grados del acero Gerdau AZA se obtienen, de un cuidadoso control de la composición y mediante la adición de ferroaleaciones como el ferromanganeso y ferrosilicio, aprovechando la mayor afinidad química de estos elementos, para formar entre otros, óxidos y sulfures que pasan en mayor cantidad a la escoria.

Cuando el acero líquido cumple con las especificaciones requeridas, tanto de composición química como de temperatura, éste es trasladado en la cuchara hasta el proceso de colada continua, donde se realizará el colado del acero.

1.5.2 COLADO DEL ACERO

Obtenido el acero en su estado líquido, éste debe solidificarse en la forma conveniente para la utilización posterior en los trenes de laminación, lo cual se hace mediante un equipo de colada continua, en el que se aplica un proceso distinto del convencional, para transformar el acero líquido en un producto semiterminado, llamado palanquilla, que son barras macizas de 130 x 130 mm de sección.

El acero líquido que se encuentra en la cuchara de colada, es transferido a una artesa o distribuidor, desde donde pasa a las vías de colada.

Desde el distribuidor, el acero cae dentro de tres lingoteras de cobre sin fondo, de doble pared y refrigeradas por agua, donde se inicia la solidificación del acero, con la formación de una delgada cáscara superficial endurecida, que contiene aún su núcleo de metal en estado líquido.

Para ayudar a acelerar la formación y engrosamiento de dicha cáscara, las lingoteras tienen un movimiento de oscilación vertical que, además, impide su adherencia a las paredes del molde y permite su transporte hacia el mecanismo extractor.

Después de dejar las lingoteras, tres metros debajo de éstas, el acero superficialmente sólido, es tomado por juegos de rodillos refrigerados con chorros de agua a alta presión, solidificándose completamente, y ya convertido en palanquilla, cortado automáticamente mediante cizallas, a la longitud deseada.

Luego de esto, las palanquillas son inspeccionadas visualmente para detectar eventuales defectos superficiales o de forma. Después de aprobadas, las palanquillas son separadas por coladas, identificadas y almacenadas para la operación siguiente: la laminación en caliente.

1.5.3 LAMINACIÓN EN CALIENTE DE LAS BARRAS

La laminación en caliente, es un proceso de transformación termomecánico, en donde se da la forma final a los productos siderúrgicos. En el caso de las barras de refuerzo para hormigón Gerdau AZA, el proceso es el siguiente: en la planta de laminación, las palanquillas son seleccionadas según la calidad del acero del producto final y son cargadas a un horno de recalentamiento horizontal, donde alcanzan una temperatura uniforme de 1.200 °C, lo que permitirá su deformación plástica durante el proceso de laminación en caliente.

En este proceso, la palanquilla es tratada mecánicamente, haciéndola pasar sucesivamente por los rodillos de los trenes de laminación, las cuales van reduciendo su sección original y consecuentemente, aumentando la longitud inicial. De esta forma, se lleva la sección transversal de la palanquilla cada vez más próxima a la forma y diámetro final de la barra redonda, con sus resaltes característicos y las marcas que identifican el origen o fabricante, el grado del acero y el diámetro nominal del producto.

Gerdau AZA posee un laminador continuo de última generación de 360.000 toneladas anuales de capacidad, que permite controlar el enfriamiento de las barras y rollos, con lo cual las propiedades mecánicas finales de las barras de refuerzo para

hormigón Gerdau AZA son determinadas con gran precisión, dado que son conducidas hasta el final del tren de laminación, a una parrilla o lecho de enfriamiento donde terminan de enfriarse, para luego proceder al corte a la medida deseada y posteriormente ser empaquetadas y almacenadas. Es aquí donde se extraen las muestras para su aprobación y certificación de acuerdo a las normas vigentes.

CAPÍTULO 2

MÉTODOS Y NORMAS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL ACERO

2.1 ENSAYOS FÍSICOS

Los más utilizados son el de tracción, doblado en frío, dureza Rockwell B, fatiga, corte, soldadura, impacto.

2.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

2.1.1.1 INTRODUCCIÓN

Debido a la gran cantidad de información que se puede obtener a partir de este ensayo, es sin duda una de las pruebas más empleadas para la calificación del acero. Permite medir al mismo tiempo la ductilidad, la resistencia. El valor de resistencia es utilizado directamente para todo lo que es diseño; los datos de la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura.

El objeto del ensayo de tracción es la obtención del límite elástico, aunque permite obtener el diagrama de carga (tensión-deformación) proporcionando una completa información sobre el comportamiento mecánico del acero.

Los resultados de un ensayo simple pueden aplicarse a todos los tamaños y formas de probeta para un material dado si se transforma la fuerza a esfuerzo, y la distancia entre las marcas de calibración a deformación. El esfuerzo y la deformación de uso en ingeniería se definen mediante las siguientes ecuaciones.

$$\text{Esfuerzo} = \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

y la,

$$\text{Deformación} = \varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Donde A_0 es el área original de la sección transversal de la muestra antes de iniciar la prueba, l_0 es la distancia original entre las marcas de calibración y l , es la distancia entre las marcas después de aplicar la fuerza F . La curva esfuerzo deformación se utiliza normalmente para registrar los resultados de un ensayo de tensión.

La deformación indica que tanto se deforma cada unidad de longitud del metal para cierto esfuerzo aplicado.

Las unidades utilizadas para registrar los resultados del ensayo para el esfuerzo son Kg/cm^2 y en Mpa .

2.1.1.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.1.1.2.1 Diagrama esfuerzo-deformación ¹⁰

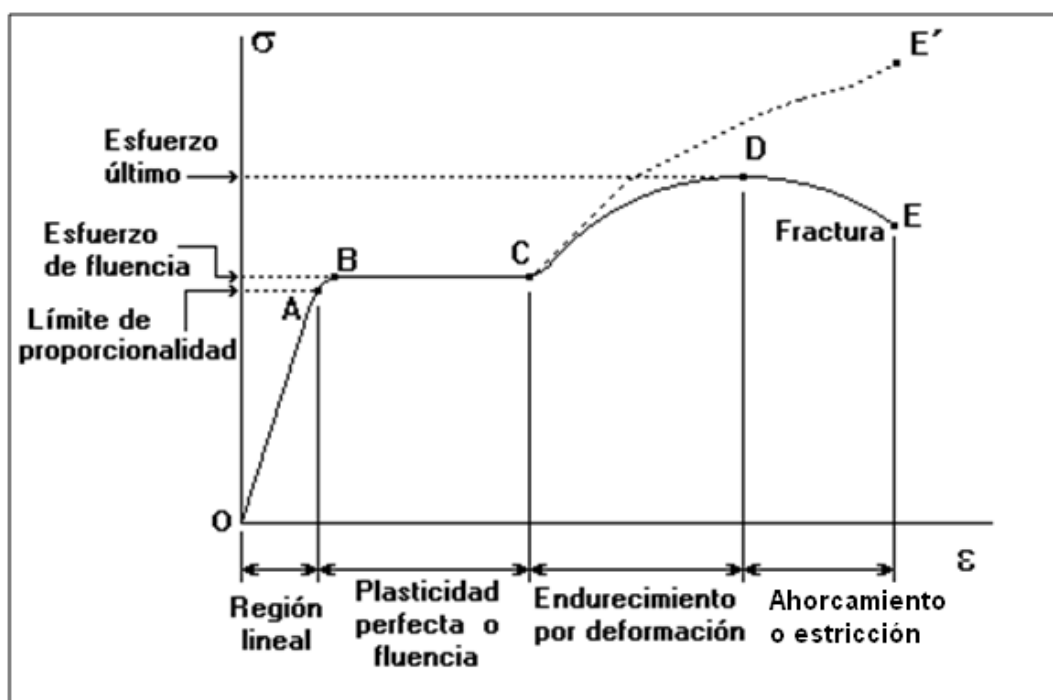


Figura 2.1.- Curva del ensayo a tracción (Esfuerzo - Deformación)

¹⁰ SMITH, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, pág. 208.
<http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales2.shtml>

El diagrama de esfuerzos es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales. En general la curva tensión-deformación así obtenida presenta 4 zonas diferenciadas:

2.1.1.2.2 Deformaciones elásticas

En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retirara la carga aplicada la probeta recuperaría su forma inicial.

El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina **módulo de deformación** 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.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina **límite de fluencia** y es la que marca la aparición de este fenómeno. Pueden existir dos zonas de deformación elástica la primera recta y la segunda curva siendo el **límite de proporcionalidad** el valor de la tensión que marca la transición entre ambas.

Generalmente este último valor carece de interés práctico y se define entonces un **límite elástico** (convencional o práctico) como aquel para el que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) y que se obtiene trazando una recta paralela al tramo proporcional (recto) con una deformación inicial igual a la convencional.

2.1.1.2.3 Fluencia o cedencia

Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada.

2.1.1.2.4 Deformaciones plásticas.

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 acusadas que en la zona elástica.

2.1.1.2.5 Ahorcamiento o Estricción

Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en una parte de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. El ahorcamiento es el 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 el ahorcamiento la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren ahorcamiento ni deformaciones plásticas significativas rompiéndose la probeta de forma brusca.

$$R_A = \frac{A_o - A_f}{A_o} (100) \quad (2.4)$$

Terminado el ensayo se determina la **carga de rotura, última o resistencia a la tracción**, la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura.

Alargamiento porcentual de rotura: La determinación de este valor de gran importancia para el conocimiento de la ductilidad del acero.

La ductilidad mide el grado de deformación que un material puede soportar sin romperse. Existen dos procedimientos para describir la ductilidad. Primero, se podría medir la distancia entre las marcas hechas en la probeta antes y después del

ensayo. El porcentaje de alargamiento o elongación expresa la distancia que se estira una probeta antes de la ruptura.

$$\text{Elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% \quad (2.5)$$

2.1.1.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO

Para el ensayo a tracción se necesita: Máquina de ensayos universal, calibrador pie de rey y probetas normalizadas de acero INEN 109.

Tabla 2.1.-Longitud de las probetas para el ensayo de Tracción

DIÁMETRO (mm)	LONGITUD PROBETA (cm)
4	50
6	50
8	50
12	50
14	55
16	60
18	56
20	60
22	64
25	70
28	76
32	84



Fotografía 2.1.-Máquina de ensayo universal

2.1.1.4 PROCEDIMIENTO

Anotar las medidas correspondientes a cada una de las probetas a ensayar: se requiere medir, longitud total, longitud de prueba, diámetro de prueba y diámetro de los extremos.

Ubicar en las probetas los puntos de calibración. Los puntos marcados se ubican a lo largo de toda la probeta a cada 5 centímetros desde el extremo de la probeta. Esto se hace con el fin de medir la deformación final que presentara la probeta.

Preparar la máquina para ensayos a tracción, posicionar la parte superior en cero para poder obtener la medida aproximada de deformación de la probeta. Luego sujetar la probeta en las respectivas mordazas.

Operar la máquina desde la consola, especificando los parámetros de ensayo como son: velocidad aplicada (inicial y final), reseteo de datos anteriores, y algunos otros.

Luego se realizar el ensayo. Lo importante es tener un registro de lo que aparece en la consola relacionando la fuerza aplicada con la deformación presentada por la probeta.

Medir la longitud final que presenta la varilla.

Colocar una nueva probeta en la máquina y repetir los pasos anteriores.

2.1.2 ENSAYO DE DOBLADO EN FRÍO

2.1.2.1 INTRODUCCIÓN

Este ensayo es solicitado por las especificaciones en la recepción de aceros en barras y perfiles, para la comprobación de la tenacidad de los mismos.

Es de gran importancia debido a que en el mundo de la construcción el doblado es un hecho de todos los días un claro ejemplo son los estribos que tienen un gran riesgo por la posibilidad de que produzca un principio de fisuración, con el consiguiente peligro de una futura corrosión para la barra.

2.1.2.2 PARÁMETROS TEÓRICOS¹¹

Una estructura dúctil cuando está próxima al colapso advierte de su situación experimentando grandes deformaciones e importante fisuración.

Todo elemento de hormigón armado, por ejemplo, una viga, está formado por dos materiales: hormigón y armaduras de acero. Donde el hormigón necesita la ayuda de las barras de acero para tener ductilidad.

Además, las barras precisan unas características de adherencia adecuadas para poder trabajar conjuntamente con el hormigón.

La ductilidad de un acero sometido a tracción es la capacidad para deformarse bajo carga, sin romperse, una vez superado el límite elástico.

¹¹ <http://www.celsa.com/Productos.mvc/Corrugados?=LaDuctilidad&sub=PaseoDidactico>

2.1.2.2.1 DUCTILIDAD DEL ACERO

A continuación se verá que hay aceros que casi no tienen ductilidad y, en cambio, otros son muy dúctiles. El comportamiento de un acero viene definido por la curva de tensión – deformación correspondiente al ensayo de tracción.

Para obtenerla se coge una muestra de una barra por uno de ellos. A medida que se estira la barra se alarga.

Si se anota el alargamiento que experimenta la barra para cada fuerza que se aplica, se obtiene la **curva tensión – deformación**.

La ductilidad del acero está relacionada con el área limitada bajo la zona plástica de la curva tensión – deformación, la cual representa la energía que dispone el acero para deformarse plásticamente hasta la rotura.

El doblado a temperatura ambiente es un ensayo derivado del de flexión, se realiza para determinar la ductilidad de los materiales metálicos (de él no se obtiene ningún valor específico).

El material se coloca entre los soportes cilíndricos, aplicando la carga lentamente hasta obtener el ángulo de plegado especificado para el mismo, o bien cuando se observa la aparición de las primeras fisuras en la cara inferior o la sometida a tracción.

La ausencia de grietas visibles para una persona con visión normal o corregida se considera como evidencia de que la probeta ha superado el ensayo.

2.1.2.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO

Los diámetros de los mandriles, así como las longitudes de probetas utilizadas y los espaciamientos entre apoyos está especificado en la siguiente tabla basada en la norma INEN 110:

Tabla 2.2.-Diámetros de mandriles, longitud de probeta y espaciamento entre apoyo requerido para el ensayo de Doblado

DIÁMETRO Φ (mm)	MANDRIL (NORMA)	MANDRIL UTILIZADO	LONGITUD PROBETA (cm)	ESPACIO ENTRE APOYOS (cm)
8	24	30	25	5.0
10	30	30	25	5.6
12	36	30	25	6.0
14	42	48	25	8.4
16	48	48	25	8.8
18	56	48	25	9.2
20	80	96	30	14.8
22	88	96	30	15.2
25	100	96	35	15.8
32	192	175	50	40.9

Se ensayó dos muestras por cada varilla de 8, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, y 32mm. de diámetro.

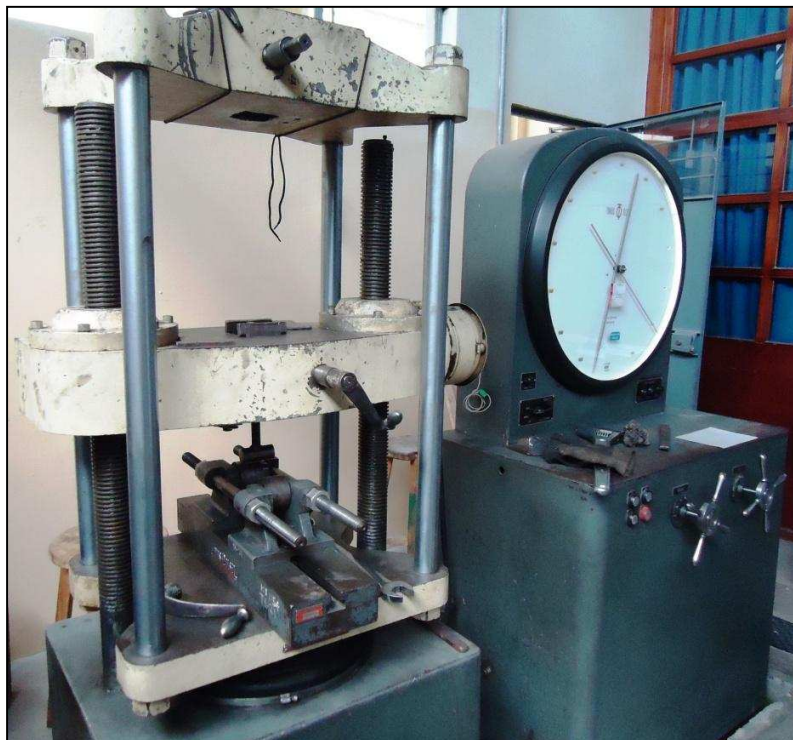
La luz entre los bordes de los apoyos se establece según la norma como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.3.- Especificaciones de los espaciamentos entre los apoyos

DIÁMETRO DE VARILLA, Φ (mm)	ESPACIAMIENTO ENTRE APOYOS (mm)
8, 10, 12	$d + 2 \Phi$
14, 16, 18	$d + 2 \Phi + 8$
20, 22, 25	$d + 2 \Phi + 12$
32	$d + 7 \Phi + 10$

Donde “d” es el diámetro del mandril según el diámetro de la varilla como se indica en la tabla 2.3.

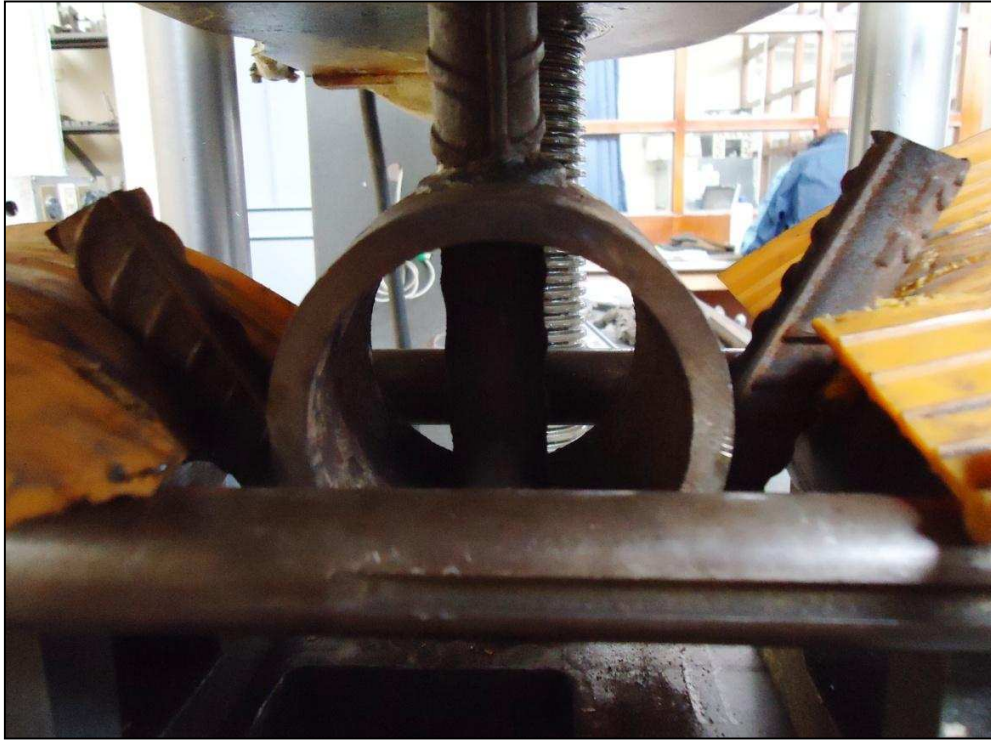
Para la ejecución del ensayo se necesita la máquina Universal de Ensayo marca Tinius Olsen, tipo Súper L con capacidad de 120000 lb/fuerza. Se realiza el plegado hasta un ángulo de 180° con forma de "U", además se requirió de mandriles de distintos diámetros.



Fotografía 2.2.- Máquina Universal de Ensayo Tinius Olsen

2.1.2.4 PROCEDIMIENTO

Colocada la probeta sobre dos apoyos, se somete a una carga progresiva controlada y que aumenta paulatinamente en el centro de la misma, se dobla hasta la aparición de grietas o hasta que se considere suficiente el ángulo de doblado, y el estudio de la zona del dobles, las grietas si las hay, los pliegues y demás detalles de esa zona proporcionan información útil sobre el comportamiento de ese material en trabajos de flexión.



Fotografía 2.3.- Inicio del proceso de doblado

El ensayo da un resultado satisfactorio o, en otras palabras, el material es aceptado si no presenta sobre su parte estirada grietas o resquebrajaduras a simple vista.

2.1.3 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B

2.1.3.1 INTRODUCCIÓN

Por medio de este método se obtiene características mecánicas importantes en forma rápida y no destructiva.

Dureza: "La mayor o menor resistencia que un cuerpo opone a ser rayado o penetrado por otro" o "la mayor o menor dureza de un cuerpo respecto a otro tomado como elemento de comparación".¹²

La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica).

2.1.3.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.1.3.2.1 Dureza Rockwell

Se calcula la dureza en base a la profundidad de penetración y la carga total no se aplica en forma continua. Hay una carga inicial y otra adicional (varía según las condiciones de ensayo).

El valor se obtiene en directa del dial del indicador. La dureza está dada por el incremento de penetración debido a la acción de la carga adicional y una vez suprimida ésta.

Número de dureza Rockwell: es un número obtenido por la profundidad de la huella; el cual proviene cuando se aumenta la carga sobre un penetrador desde una carga fija menor hasta una mayor, retornando después a la carga menor.

¹² <http://ibiguridp3.wordpress.com/res/esf/>

Los números de dureza Rockwell se expresan siempre con un símbolo de escala, que indica el penetrador y la carga utilizada.

2.1.3.2.2 Características del Ensayo Rockwell

- La medida de la dureza se hace en función de la profundidad de la huella y no de su superficie.
- Es válido para materiales duros y blandos.
- Para materiales blandos ($HB < 200$) el penetrador es una bola de acero de diámetro = 1,5875 mm (HRB).
- Para materiales duros ($HB > 200$) el penetrador es un cono de diamante de 120° en la punta (HRC).
- Es un ensayo rápido y fácil de realizar pero menos preciso que los anteriores. No se requiere personal especializado.

2.1.3.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO

Se utiliza un durómetro estandarizado ASTM E-18, provisto por el Laboratorio de Metalografía, el equipo puede utilizarse en escalas Rockwell B y C, para el acero fabricado por Gerdau AZA y de acuerdo a la resistencia a la tracción se requiere la escala Rockwell B.

Tabla 2.4.- Especificaciones técnicas del equipo de medición de dureza

ESPECIFICACIONES	
Carga mínima:	10 Kgf
Carga máxima:	60, 100,150 Kgf
Aplicación de la fuerza de prueba:	Diseño de carga muerta
Control de aplicación de fuerza:	Sistema amortiguado hidráulico
Display:	Análogo
Capacidad vertical:	6.7 plg

ACCESORIOS ESTÁNDAR
Escala B, Indentador de acero templado
1/16" Indentador de bola



Fotografía 2.4.- Durómetro Estandarizado

2.1.3.3.1 Penetradores:

Para la escala B:

Se utiliza un penetrador esférico de acero templado y de una superficie finamente pulida.

2.1.3.4 PROCEDIMIENTO

Se corta las varillas de 2cm para la posición transversal y de 4cm para la posición longitudinal, se las esmerila para retirar las impurezas e imperfecciones.



Fotografía 2.5.-Probetas transversales para el ensayo de dureza



Fotografía 2.6.-Probetas longitudinales para el ensayo de dureza

Se ubica las piezas sobre el soporte del durómetro, evitando que ocurra el desplazamiento entre pieza y soporte durante el ensayo.



Fotografía 2.7.-Descripción visual del ensayo de dureza

Se aplica una carga inicial (P_0) de forma perpendicular y gradual, la que será igual a 10 Kp para ambas escalas. La aplicación de esta carga tiene por finalidad:

Eliminar la influencia de rugosidad de la superficie de la pieza y determinar el punto de partida de la medición de la penetración.

Se aplica una carga principal (P_1) para la escala B, cuya fuerza será equivalente a 90 Kp y para la escala C será de 140 Kp. El aumento de la carga (P_1) hasta su valor límite deberá ser lento, entre 3 y 6 seg, aplicada en forma uniforme y libre de vibraciones. La aplicación de esta carga tiene por finalidad determinar la dureza de la pieza con una carga total para la escala B de 100 Kp y para la escala C de 150 Kp.

La carga total ejercida se mantendrá durante 15 segundos ó hasta que la aguja del dial indicador de dureza se estabilice.

Se retira la carga principal (P_1) de manera lenta y uniforme, manteniendo la carga inicial (P_0). La eliminación de esta carga, permite al material recuperar su elasticidad,

lo que genera una elevación del penetrador hasta un determinado punto, que se encuentra expresado en el dial del durómetro.

Para leer el valor de dureza en la escala B, se deberá leer directamente en la escala roja del dial, ubicada hacia el interior del dispositivo.

2.1.4 ENSAYO DE FATIGA

2.1.4.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de los materiales toma como suyo el análisis de las diferentes piezas que pueden conformar una determinada máquina o estructura. Este análisis implica factores tales como el tiempo útil de la pieza así como funcionalidad. Debido a este hecho es que se lleva a cabo el ensayo de fatiga, ya que predice que tan próxima está una inminente falla del material.

Dicho análisis de fatiga es de suma importancia, ya que en la falla por fatiga no hay síntoma previo visible por así llamarlo, así que un adecuado análisis va a ayudar desde a prevenir accidentes.

2.1.4.2 PARÁMETROS TEÓRICOS ¹³

En Ingeniería y en especial, en la Ciencia de Materiales, la fatiga de materiales se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material) se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura.

La fatiga es una forma de rotura, que ocurre en estructuras sometidas a tensiones dinámicas y fluctuantes (puentes, ferrocarriles, automóviles, aviones, etc.). Su principal peligro es que puede ocurrir a una tensión menor que la resistencia a tracción o el límite elástico para una carga estática, y aparecer sin previo aviso,

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/Fatiga_de_materiales

causando roturas catastróficas. Es un fenómeno muy importante, ya que es la primera causa de rotura de los materiales metálicos.

La rotura por fatiga tiene aspecto frágil aún en metales dúctiles, puesto que no hay apenas deformación plástica asociada a la rotura. El proceso consiste en un inicio y posterior propagación de fisuras, que crecen desde un tamaño inicial microscópico hasta un tamaño macroscópico, capaz de comprometer la integridad estructural del material. La superficie de fractura es perpendicular a la dirección del esfuerzo.

Las tensiones cíclicas puede ser axial (tensión y compresión), de flexión o torsional.

2.1.4.2.1 Cargas cíclicas axiales¹⁴

El acero de refuerzo o como se lo conoce en el lenguaje común varilla, cumple una función vital en el hormigón armado durante la absorción y transmisión de esfuerzos, de manera especial en aquellos que se presentan de forma repetitiva con un periodo determinado, el principal y más relevante ejemplo de este caso se refiere a cargas sísmicas.

Por tal razón estos elementos están sometidos a esfuerzos de torsión. Las cargas de fatiga torsional están presentes durante toda la vida del componente, siendo éste uno de los posibles modos de falla.

Ahora se anuncia aquellos casos en que las tensiones en el acero pasan repetidamente de ser tracciones a ser compresiones.

El comportamiento que experimenta el acero frente a este tipo de cargas, como es el caso de las producidas por los terremotos, es muy distinto del descrito para la fatiga.

La alternancia de tracciones y compresiones en las armaduras producen un efecto destructivo del acero muy superior al que genera la fatiga.

El ensayo de fatiga permite comprender el comportamiento de un material cuando se le aplica un esfuerzo cíclico. Propiedades importantes incluyen el esfuerzo límite para fatiga (esfuerzo por debajo del cual nunca ocurrirá la ruptura), resistencia a la fatiga

¹⁴ http://www.construnario.com/notiweb/tematicos_resultado.asp?id=121&informe=1

(el esfuerzo máximo para que la falla ocurra en un número dado de ciclos) y la vida en fatiga (número de ciclos que resistirá un material a un esfuerzo dado). También puede ayudar a determinar la vida en fatiga el conocer la rapidez de crecimiento de las grietas en el material.

2.1.4.2.2 Curva S-N¹⁵

Estas curvas se obtienen a través de una serie de ensayos donde una probeta del material se somete a tensiones cíclicas con una amplitud máxima relativamente grande. Se cuentan los ciclos hasta rotura. Este procedimiento se repite en otras probetas a amplitudes máximas decrecientes.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, S, frente al logaritmo del número N de ciclos hasta la rotura para cada una de las probetas. Los valores de S se toman normalmente como amplitudes de la tensión. A mayor tensión, menor número de ciclos hasta rotura. En algunas aleaciones férreas y en aleaciones de titanio, la curva S-N se hace horizontal para valores grandes de N, es decir, existe una tensión límite, denominada límite de fatiga por debajo del cual la rotura por fatiga no ocurrirá.

¹⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Fatiga_de_materiales

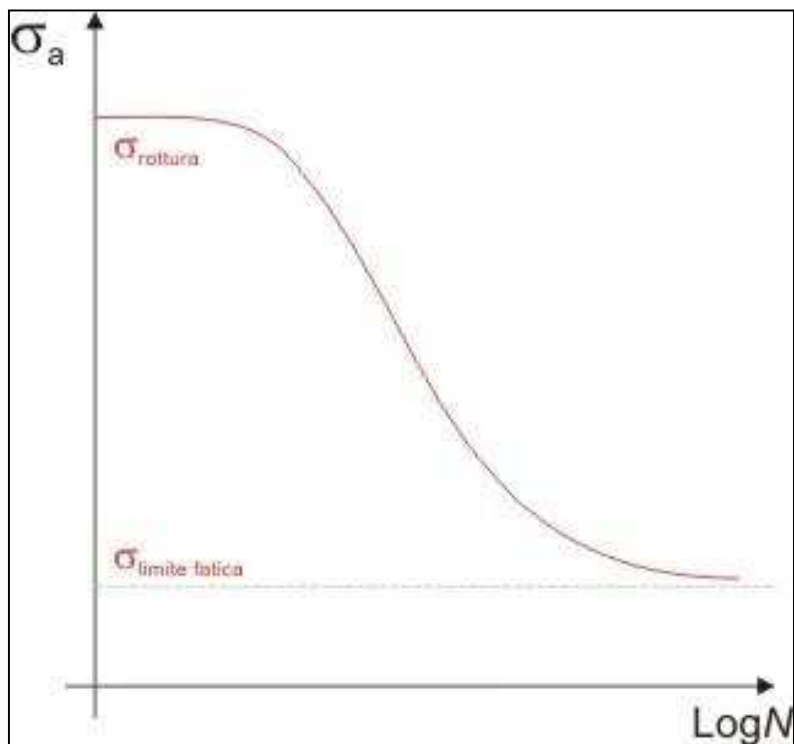


Figura 2.2.- Curva S vs. N

2.1.4.2.3 Límite de fatiga¹⁶

Curva S-N mediante la cual se puede calcular el límite de fatiga.

Para la mayoría de los metales existe un esfuerzo crítico, por debajo del cual la rotura sólo se produce al cabo de un considerable período o número de ciclos. Dicho esfuerzo crítico, expresado en N/mm^2 , se denomina límite de fatiga.

No obstante, debe recalcar que el límite de fatiga es el número límite, es decir, a esa tensión cíclica el material no se fracturaría.

¹⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Fatiga_de_materiales

2.1.4.2.4 Cálculo¹⁷

El cálculo del límite de fatiga, tan sólo es posible determinarlo a partir de las curvas S-N. Éstas no son exactas sino que difieren una cuarta parte del comportamiento real del material. Así pues, se han creado métodos estadísticos para aproximar bastante el resultado real.

En el eje de las abscisas se situará la relación entre el esfuerzo a fatiga $S'f$ y la tensión máxima que puede soportar un material, Sut .

Se calcula $S'f$ con la siguiente ecuación:

$$S'f = N^b \cdot 10^c \quad (2.6)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{0.8 \cdot Sut}{S'e} \right) \quad (2.7)$$

$$c = \text{Log} \left(\frac{0.8 \cdot Sut}{S'e} \right)^2 \quad (2.8)$$

$$S'e = 0,5 * Sut \quad (2.9)$$

$$S'f = 0,8 * Sut \quad (2.10)$$

2.1.4.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADOS

Para el maquinado de las probetas se tienen definidas las especificaciones de diseño y proceso, las cuales vienen dadas en la norma ASTM E466 – E468.

¹⁷ http://es./Fatiga_de_materiales

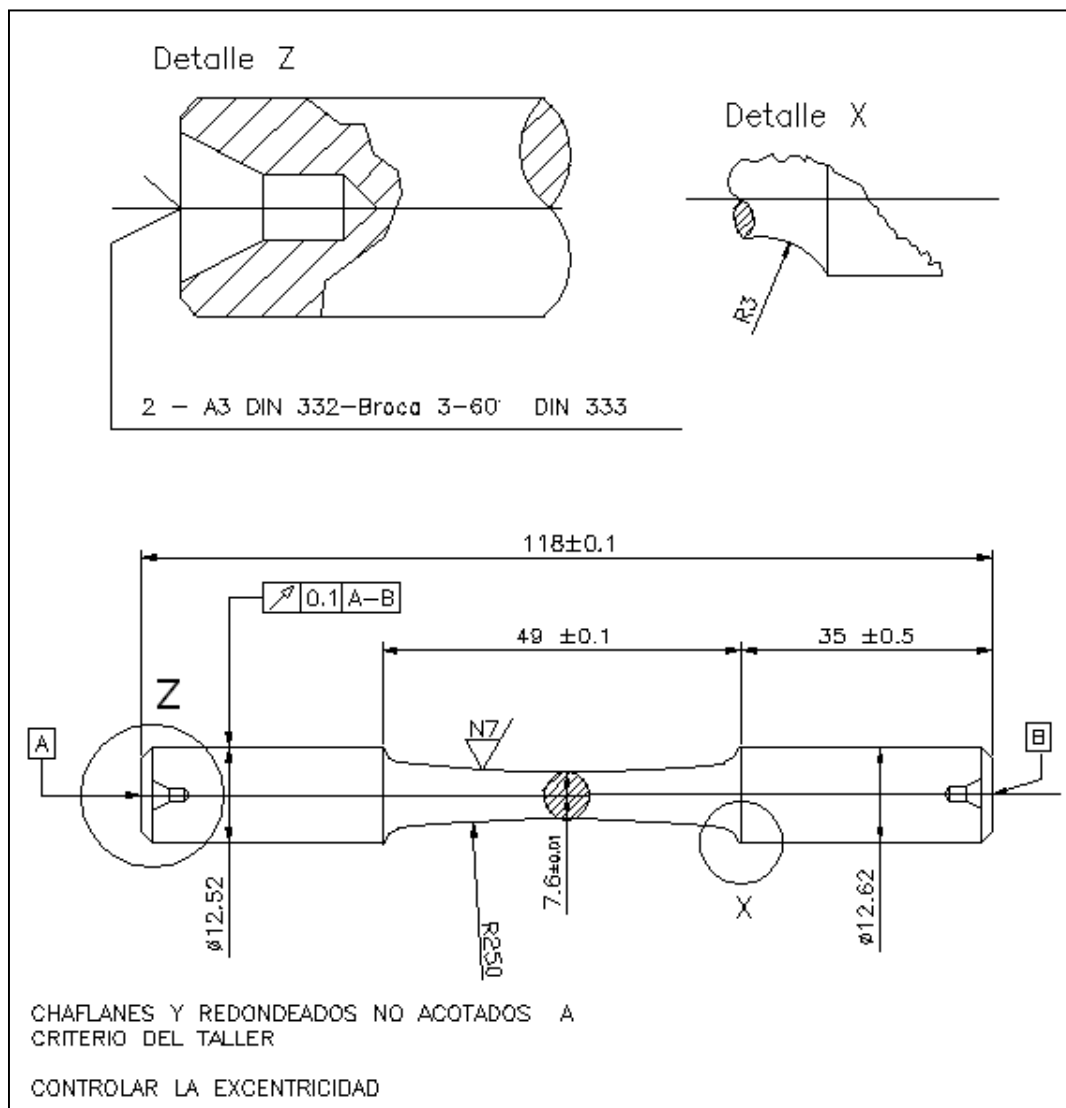


Figura 2.3.- Detalle de probeta a emplearse en el ensayo de Fatiga

Se debe considerar los siguientes aspectos con respecto a la probeta:

- La forja debe estar libre de fisuras.
- Se debe medir los diámetros de forjado, los cuales no son maquinados y determinar que cumplan con las especificaciones del plano.
- Las forjas deberán ser de una misma colada y/o proceso.



Fotografía 2.8.-Probetas maquinadas para el ensayo de Fatiga

El ensayo se desarrolla con un equipo de mesa que permiten determinar los principios fundamentales de la comprobación de resistencia a la fatiga. La probeta de ensayo metálica es enclavada, se carga mediante una balanza de resorte con una fuerza o carga. Con ello aparece en la muestra cilíndrica una resistencia alternativa a la flexión. Tras un cierto número de ciclos de carga, la muestra se rompe como consecuencia de la fatiga del material. En este caso, la máquina se para automáticamente por efecto del interruptor de paro. El número de ciclos queda registrado por un contador de revoluciones.

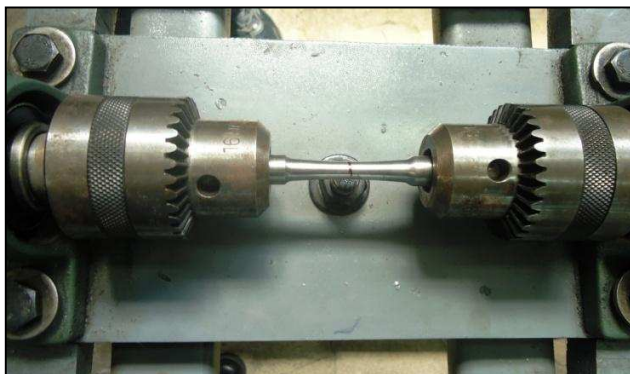


Fotografía 2.9.-Máquina para el ensayo de fatiga

2.1.4.4 PROCEDIMIENTO

Se aplica a una probeta una carga media específica (que puede ser cero) y una carga alternante y se registra el número de ciclos requeridos para producir la falla del material (vida a la fatiga). Por lo general, el ensayo se repite con probetas idénticas y varias cargas fluctuantes. Las cargas se pueden aplicar axialmente, en torsión o en flexión. Dependiendo de la amplitud de la carga media y cíclica, el esfuerzo neto de la probeta puede estar en una dirección durante el ciclo de carga o puede invertir su dirección. Los datos procedentes de los ensayos de fatiga se presentan en un diagrama S-N, que es un gráfico del número de ciclos necesarios para provocar una falla en una probeta contra la amplitud del esfuerzo cíclico desarrollado. El esfuerzo cíclico representado puede ser la amplitud de esfuerzo, el esfuerzo máximo o el esfuerzo mínimo. Cada curva del diagrama representa un esfuerzo medio constante.

La mayoría de los ensayos de fatiga se realizan en máquinas de flexión, de vigas rotativas o de tipo vibratorio.



Fotografía 2.10.-Probeta bajo esfuerzos cíclicos

2.1.5 ENSAYO DE CORTE

2.1.5.1 INTRODUCCIÓN

Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano.

En el ensayo de corte directo ocasionalmente llamado ensayo de corte transversal usualmente se procede a sujetar flexionantes, que minimicen a través del plano a lo largo del cual indicación de la resistencia al esfuerzo que puede esperarse en remaches, pernos de palanca, bloques, bloques de madera, etc., Sin embargo, debido a la flexión o la fricción entre las partes de la herramienta o a ambas, da una aproximación de los valores correctos de la resistencia al corte. Los resultados de esa prueba dependen en un grado considerable de la dureza y el fijo de los bordes de las placas endurecidas que descansan sobre la probeta. El ensayo de corte transversal posee la limitación adicional de ser completamente inútil para la

determinación de la resistencia elástica o del módulo de rigidez debido a la imposibilidad de medir las deformaciones.

2.1.5.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.1.5.2.1 Fuerza cortante.-

Es la suma algebraica de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de la viga (o elemento estructural) que actúan a un lado de la sección considerada.

2.1.5.2.2 Esfuerzo cortante.-

Fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa. También llamada fuerza de cizallamiento.

El ensayo de corte tiene poca aplicación práctica, pues no permite deducir de él algunas de las características mecánicas de importancia del material que se ensaya; es por ello que rara vez lo solicitan las especificaciones.

El esfuerzo de corte no puede ser obtenido prácticamente como un esfuerzo puro o simple, pues va generalmente acompañado por otro de flexión, cuyo valor variará según el procedimiento a seguir, pues es indudable que si se considera una sola cuchilla su importancia decrecerá, aunque también en este caso tendrá una pequeña influencia en el valor obtenido la dureza del filo y la penetración en cuña del mismo. Sin embargo prácticamente se calcula el esfuerzo de corte como si se tratara de un esfuerzo simple, aplicando la fórmula de tensión ya conocida, debido a que éste predomina tomando valores de tal magnitud que permiten desprestigiar los efectos secundarios.

2.1.5.2.3 Corte simple.-

En el corte simple la fuerza aplicada a la probeta sólo será en un extremo de tal forma que sólo se realice un corte en esta.

En éste, la resistencia provisional es igual a la relación de la carga máxima soportada por la probeta durante el ensayo, respecto al área del cizallamiento, es decir,

$$\tau_p = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \left(\frac{kgf}{mm^2} \right) \quad (2.11)$$

Tensión estática al corte simple

2.1.5.2.4 Corte doble.-

La fuerza aplicada a la probeta será en la parte media de la probeta de manera que el corte se realizará en dos secciones. En este caso la resistencia provisional es igual a la relación de la carga máxima (P_{max}), soportada por la probeta durante el ensayo, respecto a dos veces el área del cizallamiento (A), es decir:

$$\tau_p = \frac{P_{m\acute{a}x}}{2 \cdot A} \left(\frac{kgf}{mm^2} \right) \quad (2.12)$$

Tensión estática al corte doble

2.1.5.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADOS

Para la realización del ensayo es necesario que las varillas sean cortadas en 50cm. de longitud con el fin de que se disponga de una longitud prudente para la realización del ensayo.

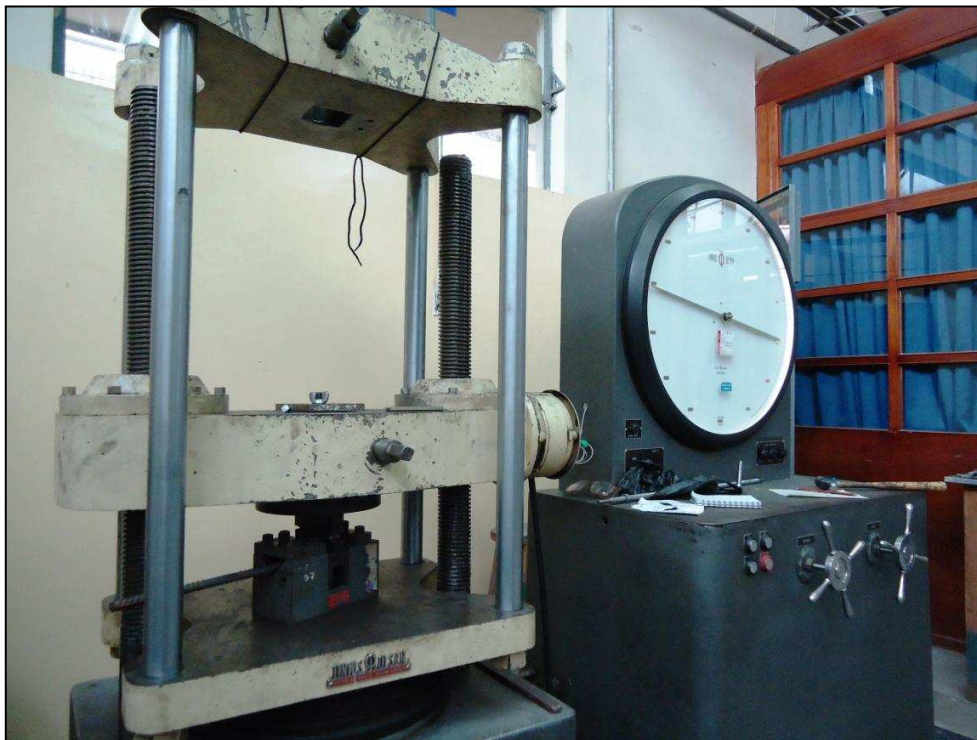
Se utiliza dos muestras de varillas de diámetro 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22 y 24 mm. para corte simple de igual manera para corte doble, con excepción del diámetro 24mm, debido a que el dado que dispone el laboratorio sólo puede ser utilizado con probetas de máximo 1 pulgada de diámetro.

Para el ensayo de corte directo de metales, usualmente se corta una barra en algún dispositivo que apriete una porción de la probeta, mientras que la restante es sometida a carga por medio de dados adecuados.



Fotografía 2.11.- Dado y soporte Jhonson

Los dados y la herramienta de carga se hacen de acero templado para herramientas afiladas. Para placas metálicas se usa un dispositivo de punzón redondo ocasionalmente. En algunos ensayos de acero se usa una probeta ranurada. Los ensayos de corte directo ordinariamente se hacen en máquinas de ensayo de compresión o tensión. La máquina empleada es una Máquina Universal de Ensayo marca Tinius Olsen de tipo Súper L, con una capacidad de 120000 libras – fuerza.



Fotografía 2.12.- Equipo necesario para el ensayo a Corte

2.1.5.4 PROCEDIMIENTO

El ensayo se lo realiza colocando la muestra de varilla previamente cortada a la medida necesaria, en el equipo Jhonson de soporte, en la máquina se colocará el dado necesario que permita cortar la varilla con la transmisión de la carga proveniente del marco de compresión de la máquina universal. Para el corte simple se colocará solamente el extremo de la varilla, en cambio para corte doble se colocará la varilla en un tramo medio.

Finalmente se observará las rupturas en las muestras.



Fotografía 2.13.- Aplicación del esfuerzo cortante en varilla

2.1.6 ENSAYO DE SOLDADURA

2.1.6.1 INTRODUCCIÓN

La construcción de estructuras de hormigón armado usando aceros estructurales con uniones soldadas son económicas y técnicamente aceptables, ya que las uniones soldadas de los aceros estructurales no tienen influencia en la estructura de hormigón.

La soldadura del acero de refuerzo en el Ecuador, se realiza sin tomar en cuenta las recomendaciones especificadas en las normas. En general, el proceso de soldadura de barras de refuerzo se realiza en el lugar donde se desarrolla la obra, con una supervisión deficiente para el proceso y una baja calificación de los soldadores. En la mayoría de los casos no se precalientan las barras y en las superficies a unir no se eliminan las imperfecciones, además el ángulo de unión es inadecuado, el secado o el tipo de los electrodos no es el especificado, por todo esto el presente estudio se ha realizado teniendo como referencia las especificaciones y exigencias del Código ANSI/AWS D1.4, y ANSI/AWS D1.1, tal como lo sugiere la norma técnica correspondiente.

Además se han utilizado procedimientos de análisis que permitan garantizar un adecuado conocimiento de la soldabilidad de las barras corrugadas de acero ASTM A36 para su uso en hormigón armado.

2.1.6.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.1.6.2.1 Características para la soldadura

Para elaborar un procedimiento de soldadura es necesario tener en cuenta dos aspectos importantes como son la composición química y las propiedades mecánicas del material a soldar.

La capacidad de un material para ser soldado, que en este trabajo se denomina soldabilidad, depende de la composición química del acero, y se evalúa con el parámetro llamado Carbono Equivalente (CE). Este parámetro se define con las siguientes expresiones empíricas.

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6} \quad (2.13)$$

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10} \quad (2.14)$$

Las expresiones anteriores sugieren que la soldabilidad de los aceros al carbono depende principalmente del contenido de carbono. Para los aceros de bajo carbono la soldabilidad es excelente, es buena y regular para los aceros de medio carbono y pobre para los aceros de alto carbono. Los aceros con un máximo de 0.30% de contenido de carbono son adecuados para soldar, en general se pueden soldar logrando un comportamiento de la barra del tipo dúctil. Los aceros de medio y alto carbono son más difíciles de soldar ya que con bastante facilidad se puede formar Martensita en la zona afectada por el calor, causando por lo tanto, una soldadura de tipo frágil.

2.1.6.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADOS

Para la realización de este ensayo se escogieron las barras de refuerzo fabricadas por Gerdau AZA de los diámetros 32, 25, 20, mm. Las barras fueron soldadas en el Laboratorio de Soldadura.

2.1.6.3.1 Material base

Las barras de acero de refuerzo son fabricadas en grado 420 (para la designación según ASTM A615) o Grado A42 (para la designación de NTE INEN 102).

De acuerdo al ensayo de composición química realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2.5.- Composición química de la varilla de diámetro 32mm

% C	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% V
0.426	0.756	0.056	0.089	0.26	0.02	0.005

Tabla 2.6.- Composición química de la varilla de diámetro 25mm

% C	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% V
0.457	1.102	0.081	0.005	0.005	0.001	0.005

Tabla 2.7.- Composición química de la varilla de diámetro 20mm

% C	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% V
0.419	0.682	0.077	0.079	0.293	0.061	0.005

Con base en la información de las tablas 2.5, 2.6 y 2.7 se calculó el parámetro CE (carbono equivalente) con la ecuación (2.13) y con la ecuación (2.14). Los resultados de estas ecuaciones se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8.- Porcentaje de carbono equivalente.

DIÁMETRO (mm)	Ec. (2.13)	Ec. (2.14)
32	0.57	0.55
25	0.65	0.64
20	0.57	0.55

Con los resultados del carbono equivalente y empleando la tabla 5.2 de ANSI/AWS D1.4-98(AWS, 1998) se obtiene que, para soldar las barras de refuerzo empleadas en este estudio es necesario una temperatura de precalentamiento de 150° C.

Tabla 2.9.- Temperatura mínima para el precalentamiento de las varillas a ser soldadas

TEMPERATURA MÍNIMA DE PRECALENTAMIENTO		
Rango de C.E. (%)	Tamaño de la barra (mm)	Temperatura mínima (°C)
C.E. ≤ 0.40	D ≤ 36	-
	43 y 57	10
0.4 < C.E. ≤ 0.45	D ≤ 36	-
	43 y 57	10
0.45 < C.E. ≤ 0.55	D ≤ 19	-
	22 ≤ D ≤ 36	10
	43 ≤ D ≤ 57	90
0.55 < C.E. ≤ 0.65	D ≤ 19	40
	22 ≤ D ≤ 36	90
	43 ≤ D ≤ 57	150
0.65 < C.E. ≤ 0.75	D ≤ 19	150
	22 ≤ D ≤ 57	200
C.E. > 0.75	D ≤ 19	150
	22 ≤ D ≤ 57	260

2.1.6.4 Tipo de junta

Las barras de refuerzo pueden ser soldadas mediante varios tipos de juntas, entre estas se encuentran las uniones: directas a tope, indirectas a tope, a traslape y en T. Para el efecto de la presente tesis, se consideró la unión a tope directo, la de traslape la cual debe ser soldada con soldadura de penetración como se indica en la figura 2.4.

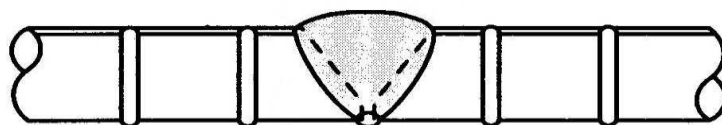


Figura 2.4.- Junta a tope

2.1.6.5 Material de aporte

Tabla 2.10.- Requisitos para la selección del material de aporte

REQUERIMIENTOS PARA EL MATERIAL DE APORTE Y EL METAL BASE						
GRUPO	ESPECIFICACIÓN DEL ACERO	Sy MPa	Sut MPa	ESPECIFICACIÓN DEL ELECTRODO	Sy MPa	Sut MPa
I	ASTM A615M GRADO 300	300	500	SMAW		
				AWS		
				A5.1		
				Y 5.5		
				E7015,		
				E7016,	365	482
				E7018,	-496	
				E7028,		
				E7015-X	390	480-
				E7016-X,	-415	520
				E7018-X		
				GMAW		
				AWS		
				A5.18		
				ER70S-		
				X, E70C-	400	480
				3, E70C-		
				3		
				FCAW		
				AWS		
				A5.20 y		
				A5.29		
				E7XT-X	400	480
E7XTX-	400	480-				
X, E70C-		620				
Except.						
de -2,-3,-						
10,-13,-						
14,-GS						

Tabla 2.10.- Continuación

II	ASTM A706M GRADO 420	420	550	SMAW	460	550
				AWS 5.5		
				E8015-X,		
				E8016-X,		
				E8018-X	470	550
				GMAW		
				AWS		
				A5.28		
				ER80S-	470	550
				X, E80C-		
				X, E90C-		
				X		
				FCAW	470	550-690
				AWS		
A 5.29						
E8XTX-						
X	530	620				
SMAW						
AWS 5.5						
E9015-X,						
E9016-X,	540	620				
E9018-X						
GMAW						
AWS						
A5.28	540	620				
ER90S-X						
FCAW						
AWS						
A5.29	540	620				
E9XTX-						
X						

Tabla 2.10.- Continuación

IV	ASTM A615M GRADO 520	520	700	SMAW		
				AWS 5.5		
				E10015-		
				X,	600	690
				E10016-		
				X,		
				E10018-		
				X		
				E10018-	610-	690
				M	690	
				GMAW	610	690
				AWS		
				A 5.28		
				ER100S,		
				ER100C-		
				X		
FCAW	610					
AWS		690				
A5.29		-830				
E10XTX-						
X						

2.1.6.6 Procedimiento de soldadura

En vista de que el proceso más usado en el mercado de la construcción es el de electrodo revestido (SMAW Shield Metal Arc Welding), éste se convierte en nuestra selección para soldar las varillas en estudio.

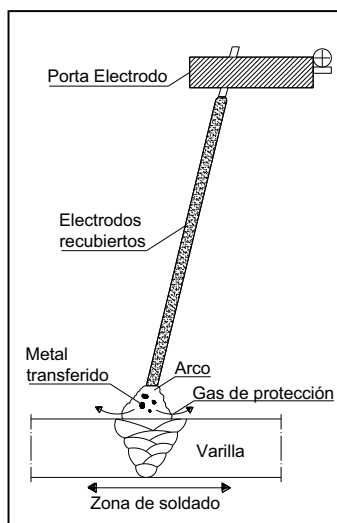


Figura. 2.5.- Proceso de Soldadura de Electrodo Cubierto

Un Arco Eléctrico es mantenido entre la punta de un electrodo cubierto (Coated Electrode) y la pieza a trabajar. Las gotas de metal derretido son transferidas a través del arco y son convertidas en un cordón de soldadura, un escudo protector de gases es producido de la descomposición del material fundente que cubre el electrodo, además el fundente también puede proveer algunos complementos a la aleación, la escoria derretida se escurre sobre el cordón de soldadura donde protege el metal soldado aislándolo de la atmósfera durante la solidificación, esta escoria también ayuda a darle forma al cordón de soldadura especialmente en soldadura vertical y sobre cabeza. La escoria debe ser removida después de cada procedimiento.

2.1.6.7 Procedimiento de soldadura para la junta en posición 1G

Preparación del metal base.

Las superficies a ser soldadas deben estar libres de limallas, grietas u otros defectos que pudiesen afectar negativamente la calidad o resistencia de la soldadura. Las superficies a ser soldadas, y las superficies adyacentes a la soldadura, deberán también estar libres de humedad, óxido, grasa, recubrimientos epóxicos u otro material que pudiese afectar la unión soldada o pudiese en el proceso expeler vapores o gases nocivos.

Los extremos de las barras de acero, para una unión directa a tope, deben ser formadas por medio de oxicorte, sierras u otros procedimientos mecánicos como se indica en la figura 2.5.

Tabla 2.11.- Procedimiento de soldadura para la junta en posición 1G

Código Aplicado	ANSI/AWS D1.4-98, STRUCTURAL WELDING CODE-REINFORCING STEEL
Especificación del Material Base	ASTM 615 Grado 420
Tamaño de Barra	32, 25, 20 mm de diámetro
Tipo de Revestimiento de la Barra	***
Material de Respaldo	N/A
Tamaño de Respaldo	N/A
Proceso de Soldadura	SMAW
Carbono Equivalente	Correspondientes a los diámetros mencionados
Manual o Mecánica	MANUAL
Posición de Soldadura	1G
Progresión Vertical	N/A
Especificación del Material de Aporte	E7018
Clasificación del Material de Aporte	AWS A5.1
Gas de Protección	N/A
Rango del flujo del gas	N/A
Pase simple o múltiple	MULTIPLE

Técnica	OSCILADO Y MULTIPASES
Arco simple o múltiple	ARCO SIMPLE
Corriente de Soldadura	CONTINUA
Polaridad	INVERSA
Tratamiento de la Raíz	***
Pre calentamiento y Temperatura de Interpase	105°C
Limpieza	CEPILLO



Fotografía 2.14.- Operador soldando en posición 1G.

2.1.7 ENSAYO DE IMPACTO

2.1.7.1 INTRODUCCIÓN.-

Los ensayos dinámicos son realizados para valorar la capacidad de resistencia de los materiales metálicos a las cargas de impacto (tenacidad) y determinar su tendencia a la destrucción frágil. Entre los ensayos de esta índole los más conocidos y estandarizados son los de impacto a la flexión con muestras ranuradas.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios. Existen dos tipos de ensayo que han alcanzado gran difusión: Charpy e Izod.¹⁸

2.1.7.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.1.7.2.1 FRACTURA¹⁹

Es la separación de un sólido bajo tensión en dos o más piezas. En general, la fractura metálica puede clasificarse en dúctil y frágil. La fractura dúctil ocurre después de una intensa deformación plástica y se caracteriza por una lenta propagación de la grieta. La fractura frágil se produce a lo largo de planos cristalográficos llamados planos de fractura y tiene una rápida propagación de la grieta.

¹⁸ GERDAU AZA, Compendio de normas para productos de acero, Primera edición – 2002, pág. 1

¹⁹ <http://www.unalmed.edu.co/~cpgarcia/mecanicas2.PDF>

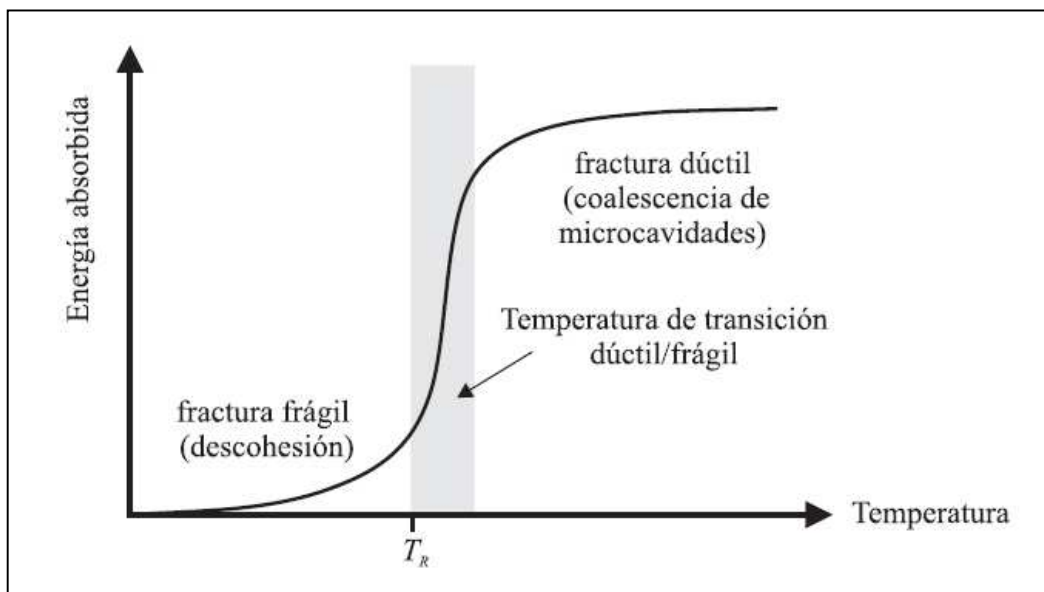


Figura 2.6.- Energía de fractura por impacto para un acero al carbono

2.1.7.2.2 Fractura dúctil

Esta fractura ocurre bajo una intensa deformación plástica.

La fractura dúctil comienza con la formación de un cuello y la formación de cavidades dentro de la zona de estrangulamiento. Luego las cavidades se fusionan en una grieta en el centro de la muestra y se propaga hacia la superficie en dirección perpendicular a la tensión aplicada. Cuando se acerca a la superficie, la grieta cambia su dirección a 45° con respecto al eje de tensión y resulta una fractura de cono y embudo.

2.1.7.2.3 Fractura frágil

La fractura frágil tiene lugar sin una apreciable deformación y debido a una rápida propagación de una grieta. Normalmente ocurre a lo largo de planos cristalográficos específicos denominados planos de fractura que son perpendiculares a la tensión aplicada.

La mayoría de las fracturas frágiles son transgranulares o sea que se propagan a través de los granos. Pero si los límites de grano constituyen una zona de debilidad, es posible que la fractura se propague intergranularmente. Las bajas temperaturas y las altas deformaciones favorecen la fractura frágil.

2.1.7.2.4 Tenacidad.-

Es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, los esfuerzos bruscos que se les apliquen. Evalúa la habilidad de un material de soportar un impacto sin fracturarse.

2.1.7.2.5 Tipos de ensayo de impacto

La tenacidad se valora mediante una prueba sencilla en una máquina de ensayos de impacto. Hay dos métodos diferentes para evaluar esta propiedad. Se denominan ensayos de Charpy y ensayo de Izod. La diferencia entre los dos radica en la forma como se posiciona la muestra.

Para el ensayo de impacto se utiliza la norma ASTM E23.

2.1.7.2.6 Ensayo Charpy

Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, producto del cual ésta se rompe muy rápidamente y determina su tendencia a la destrucción frágil. Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Se requiere aproximadamente unos 10 cm de longitud, se prepara la probeta bajo procesos de torneado según las dimensiones indicadas en las normas ASTM e INEN, consiste en una barra de sección transversal cuadrada dentro de la cual se ha realizado una talla en forma de V.

Las probetas fueron realizadas a partir de las varillas de diámetro: 16, 18, 20, 22, 25 y 32mm. Los diámetros inferiores fue imposible realizar la probeta debido a que su menor tamaño no cubría las dimensiones requeridas para la probeta.

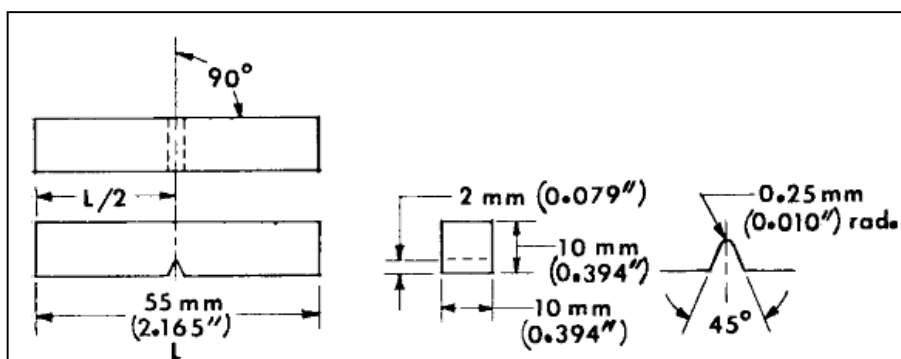
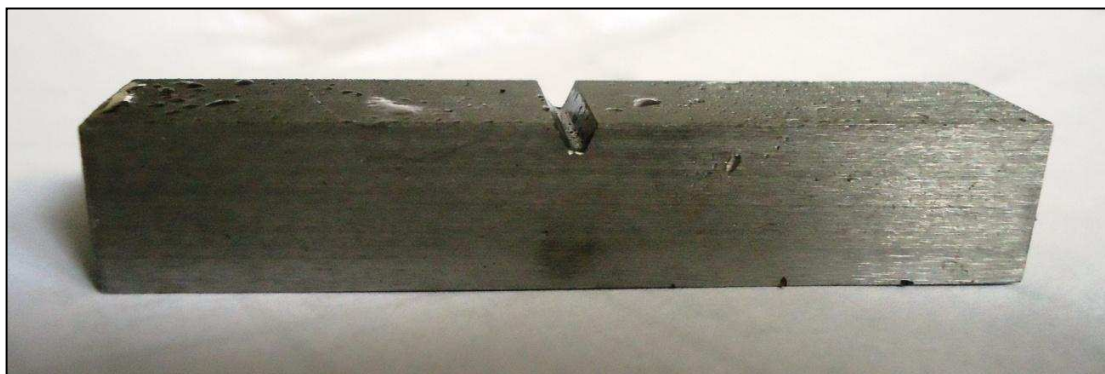


Figura 2.7.- Detalle de probeta según la ASTM E23



Fotografía 2.15.- Probeta maquinada para ensayo de Impacto

Se deben medir cuidadosamente las probetas con instrumentos de medición convencional y no convencional.

Como se ve en la figura 2.14, la ranura tiene el objetivo de que la probeta se rompa en un solo impacto. Además la ranura garantiza el rompimiento de la probeta por una sección controlada. En este tipo de probetas los esfuerzos y la deformación plástica

se concentran en una parte limitada del volumen de la muestra, alrededor de la incisión. Precisamente aquí es donde es absorbida prácticamente toda la energía del impacto, como se aprecia en la siguiente figura en tonos de color azul.

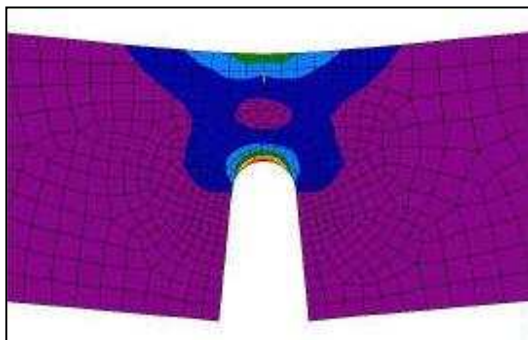


Figura 2.8.- Distribución de los esfuerzos absorbidos

Análisis de esfuerzos con elementos finitos. Se muestra la concentración de esfuerzos alrededor de la entalladura y la posible propagación de la deformación.

2.1.7.2.7 Influencia de la temperatura²⁰

En general, el aumento de temperatura favorece la deformación plástica (el deslizamiento de dislocaciones es más fácil), y las bajas temperaturas favorecen la fractura.

- Tensión de fluencia (movimiento de dislocaciones) disminuye al aumentar la temperatura.
- Resistencia a fractura (enlaces) casi independiente de la temperatura.

2.1.7.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADOS

Para el ensayo a impacto se usa el Martinete de Péndulo, el cual se muestra en la figura 2.16

Sus características técnicas son:

²⁰ http://www1.ceit.es/asignaturas/Materiales1/docu/6_Fractura_2009.pdf

Graduación de la escala 0,1 lb-ft

Velocidad de impacto 5,6 m/s a 6m/s.



Fotografía 2.16.- Péndulo de impacto

El estándar ASTM E23-72 presenta las siguientes exigencias para los martillos de péndulo:

a) La máquina debe ser de construcción rígida y con capacidad energética suficiente para romper la probeta de un solo golpe. La máquina no debe ser usada para valores mayores al 80% del rango de la escala. La velocidad no debe ser menos de 3 m/s ni mayor de 6 m/s. el error en la escala en cualquier punto no debe exceder el 0,2% del rango o 0,4% de lectura.

El plano del movimiento del péndulo debe ser perpendicular al eje transversal de la muestra y no debe desviarse más de 3:1000 (unidades de longitud). El dispositivo de liberación del péndulo desde su punto inicial debe operar libremente y no impulsar, retardar o hacer vibrar el péndulo. Se debe proveer un dispositivo (ensayo Charpy) para situar la probeta de manera que su plano de simétrico o quede desviado más de 0,1 mm con respecto al punto medio entre los apoyos.

2.1.7.4 PROCEDIMIENTO

El ensayo de impacto se realiza con la ayuda del péndulo de Charpy, con una energía que sobrepasa los 30 kgf-cm. El esquema de ensayo se muestra en la figura.

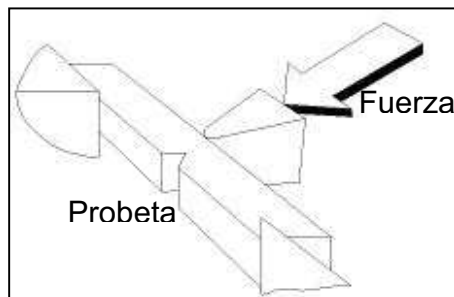


Figura 2.9.- Esquema de la fuerza aplicada

La muestra se coloca horizontalmente en un patrón especial que garantiza estrictamente la posición de la incisión (ranura, entalle) en la parte media del vano entre los apoyos. Para esto se utiliza una pinza especial que ayudará a sujetar con precisión la probeta.

El impacto es aplicado desde el lado opuesto a la incisión, en el plano perpendicular al eje longitudinal de la muestra. El péndulo se fija en la posición superior inicial. Luego la uña de fijación se retira, el péndulo cae libremente por efecto de la gravedad de su propia gravedad aplicando un impacto a la muestra, que la encorva y destruye elevándose en relación al eje vertical del péndulo Charpy. Este ángulo es tanto menor, cuanto mayor es la energía aplicada en el proceso por el péndulo para la deformación y destrucción de la muestra.

Por medio de la escala, se mide el ángulo de elevación del péndulo y directamente se lee la energía consumida en el proceso (la escala de indicador esta graduada).



Fotografía 2.17.- Péndulo de Charpy golpeando la muestra

2.2 ENSAYO QUÍMICO

2.2.1 ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

2.2.1.1 INTRODUCCIÓN.-

El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 97,0 al 99,5%, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio), a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros). El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad.

Las varillas de acero corrugadas analizadas son A36, este tipo de acero tiene un contenido máximo de carbono que varía entre 0.25% y 0.29%, dependiendo del espesor.

2.2.1.2 PARÁMETROS TEÓRICOS

2.2.1.2.1 Elementos influyentes en la composición química

- **Aluminio - Al:** EL Aluminio es usado principalmente como desoxidante en la elaboración de acero. El Aluminio también reduce el crecimiento del grano al formar óxidos y nitruros.
- **Azufre - S:** El Azufre se considera como un elemento perjudicial en las aleaciones de acero, una impureza. Sin embargo, en ocasiones se agrega hasta 0.25% de azufre para mejorar la maquinabilidad. Los aceros altos en azufre son difíciles de soldar pueden causar porosidad en las soldaduras.
- **Carbono - C:** El Carbono es el elemento de aleación más efectivo, eficiente y de bajo costo. En aceros enfriados lentamente, el Carbono forma carburo de hierro y

cementita, la cual con la ferrita forma a su vez la perlita. Cuando el acero se enfría más rápidamente, el acero al carbón muestra endurecimiento superficial. El Carbono es el elemento responsable de dar la dureza y alta resistencia del acero.

- **Boro - B:** El Boro logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado. Una pequeña cantidad de Boro, (0.001%) tiene un efecto marcado en el endurecimiento del acero, ya que también se combina con el carbono para formar los carburos que dan al acero características de revestimiento duro.

- **Cobalto - Co:** El Cobalto es un elemento poco habitual en los aceros, ya que disminuye la capacidad de endurecimiento.

- **Cromo - Cr:** El Cromo es un formador de ferrita, aumentando la profundidad del endurecimiento. Así mismo, aumenta la resistencia a altas temperaturas y evita la corrosión. El Cromo es un elemento principal de aleación en aceros inoxidable, y debido a su capacidad de formar carburos se utiliza en revestimientos o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.

- **Fósforo - P:** Fósforo se considera un elemento perjudicial en los aceros, casi una impureza, al igual que el Azufre, ya que reduce la ductilidad y la resistencia al impacto. Sin embargo, en algunos tipos de aceros se agrega deliberadamente para aumentar su resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.

- **Manganeso - Mn:** El Manganeso es uno de los elementos fundamentales e indispensables, está presente en casi todas las aleaciones de acero. El Manganeso es un formador de austenita, y al combinarse con el azufre previene la formación de sulfuro de hierro en los bordes del grano, altamente perjudicial durante el proceso de laminación. El Manganeso se usa para desoxidar y aumentar su capacidad de endurecimiento.

- **Molibdeno - Mo:** El Molibdeno también es un elemento habitual ya que aumenta mucho la profundidad de endurecimiento del acero, así como su resistencia al impacto. El Molibdeno es el elemento más efectivo para mejorar la resistencia del acero a las bajas temperaturas, reduciendo además la pérdida de resistencia por templado. Los aceros inoxidable austeníticos contienen Molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.

- **Nitrógeno - N:** El Nitrógeno puede agregarse a algunos tipos de acero, para promover la formación de austenita.
- **Níquel - Ni:** Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El Níquel se utiliza mucho en los aceros inoxidable, para aumentar la resistencia a la corrosión. El Níquel ofrece propiedades únicas para soldar Fundición.
- **Plomo - Pb:** El Plomo es un ejemplo de elemento casi insoluble en Hierro. Se añade plomo a muchos tipos de acero para mejorar en gran manera su maquinabilidad.
- **Titanio - Ti:** Básicamente, el Titanio se utiliza para estabilizar y desoxidar acero, aunque debido a sus propiedades, pocas veces se usa en soldaduras.
- **Tungsteno - W:** El Tungsteno se añade para impartir gran resistencia a alta temperatura.
- **Vanadio - V:** El Vanadio facilita la formación de grano pequeño y reduce la pérdida de resistencia durante el templado, aumentando por lo tanto la capacidad de endurecimiento.

2.2.1.2.2 Análisis químico por espectrometría de emisión óptica o de chispa

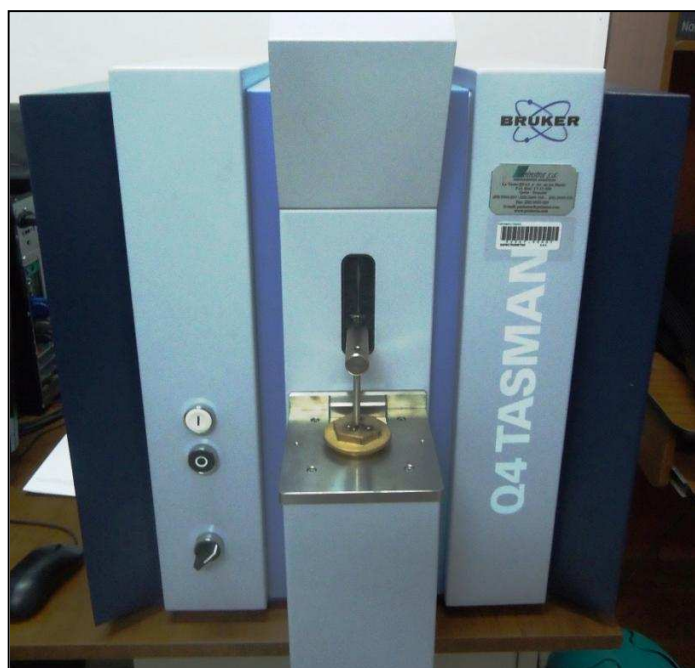
Consiste en la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo.

Este tipo de análisis permite determinar los elementos presentes en una muestra así como el porcentaje de cada uno de ellos. Este método consiste en detectar las longitudes de onda característica de cada elemento cuando sus electrones son excitados mediante una chispa.

2.2.1.3 MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADOS

Para la obtención de los porcentajes de composición química es necesario muestras de la varilla en corte transversal con una longitud aproximada de 3 cm. Con el fin de que la chispa a ser lanzada tenga suficiente área, ésta no debe presentar irregularidades.

Un espectrómetro óptico o espectroscopio, es un instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético. La variable que se mide generalmente es la intensidad luminosa pero se puede medir también el estado de polarización electromagnética, por ejemplo. La variable independiente suele ser la longitud de onda de la luz, generalmente expresada en submúltiplos del metro. Se utilizan espectrómetros en espectroscopía para producir líneas espectrales y medir sus longitudes de onda e intensidades.



Fotografía 2.18- Espectrómetro de chispa

2.2.1.4 PROCEDIMIENTO

En este ensayo se utilizara el método de espectría de chispa o arco, donde se usa para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. Un arco eléctrico o chispa se pasan por la muestra, calentándola a alta temperatura para excitar los átomos. Los átomos de analito excitado emiten luz en varias longitudes de onda que pueden ser detectadas mediante métodos espectroscópicos comunes. Ya que las condiciones que producen la emisión por arco no son controladas cuantitativamente, el análisis de los elementos es cualitativo. Hoy día, las fuentes de chispa con descargas controladas bajo una atmósfera de argón permiten que este método pueda ser considerado eminentemente cuantitativo y su uso está muy extendido en los laboratorios de control de producción de fundiciones y acerías.

De esta manera se presentaran los valores porcentuales de los elementos detectados en las muestras ensayadas.

2.3 ENSAYO METALOGRAFICO

2.3.1 ANÁLISIS METALOGRAFICO

2.3.1.1 INTRODUCCIÓN

A través del ensayo metalográfico se busca determinar los cambios metalúrgicos del acero Gerdau AZA A 42, para lo cual se estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista, tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.

2.3.1.2 DIAGRAMA HIERRO – CARBONO ²¹

El acero se obtiene cuando se mezcla hierro con carbono. El acero aleado es un acero al que se le añaden elementos de aleación adicionales al carbono. Al acero que está formado simplemente por hierro y carbón se le suele llamar “acero al carbono”. En la figura 2.10. Se muestra el diagrama de fases del acero al carbono.

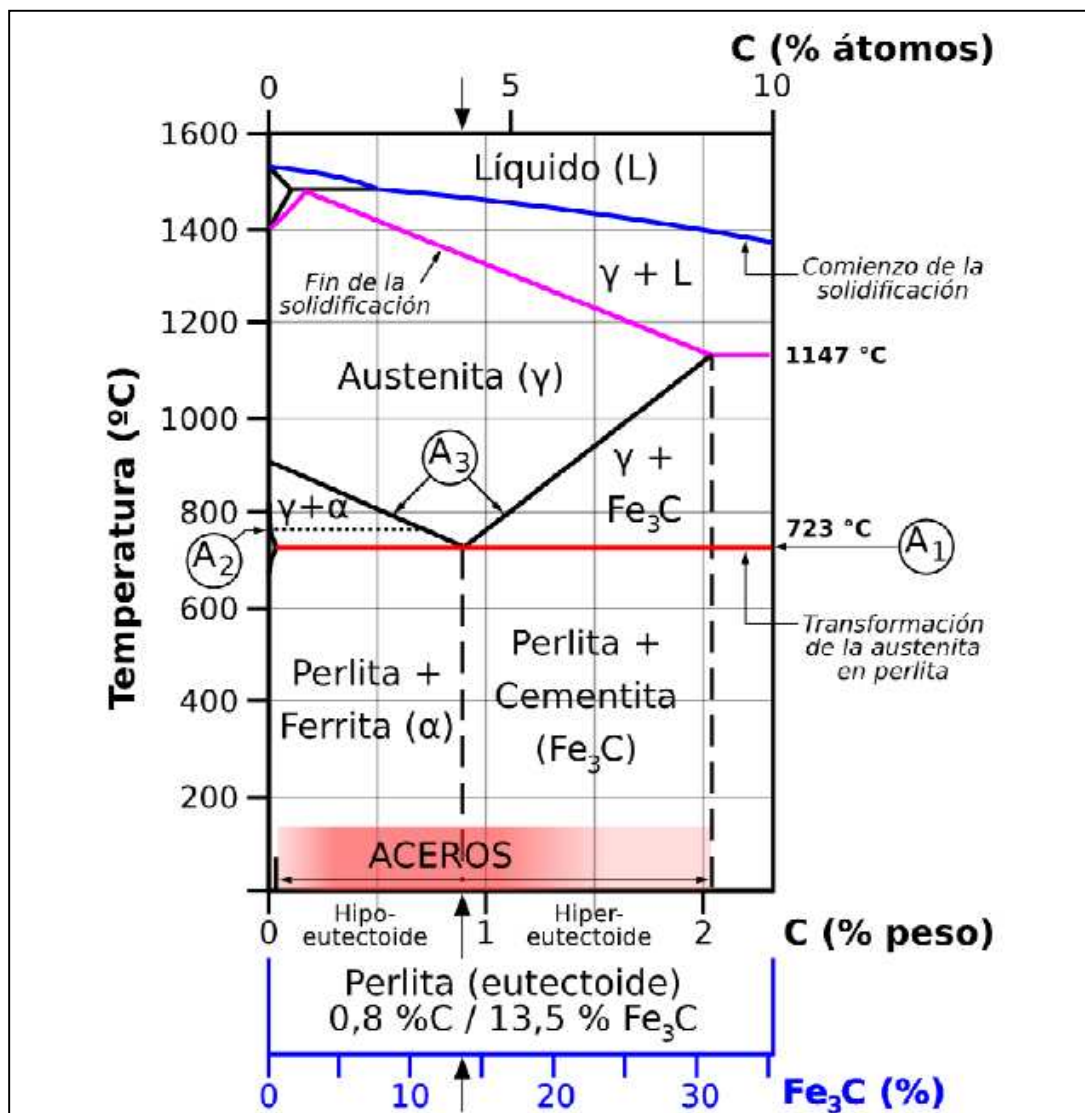


Figura 2.10.- Diagrama Hierro Carbono

²¹ http://cerezo.pntic.mec.es/rlopez33/bach/tecind2/Tema_1/acero.html

El acero puede tener las siguientes fases de equilibrio:

1. **Ferrita (α)**. Consiste en átomos de hierro con estructura cristalina BCC y átomos de carbono en los sitios intersticiales. La cantidad de átomos de carbono presentes en la ferrita es pequeña. La ferrita es una fase muy suave, dúctil y magnética.
2. **Austenita (γ)**. Consiste en átomos de hierro con estructura FCC y átomos de carbono en los sitios intersticiales. Presenta menos suavidad y ductilidad que la ferrita. Es una fase no magnética.
3. **Cementita (Fe_3C)**. Es un compuesto intermetálico. Es una fase muy dura y frágil.
4. **Perlita**. Es una fase que resulta de la reacción eutectoide del acero. La reacción eutectoide permite que la austenita en estado sólido se transforme en ferrita y cementita, ambas también en estado sólido. Esta transformación es similar a la reacción eutéctica, por lo que la fase resultante tiene una apariencia similar al sólido eutéctico.

La parte del diagrama correspondiente a los aceros es la siguiente:

En el diagrama se distinguen dos temperaturas: A1, de aparición de la perlita y A3 o temperatura de austenización completa, que varía con el contenido en carbono del acero. La temperatura A2 (768°C) se conoce como temperatura de Curie y en ella el hierro pasa de ser una sustancia fácilmente magnetizable a temperatura ambiente a perder esas propiedades magnéticas.

Cuando el enfriamiento de un acero eutectoide es muy lento, la austenita se transforma en perlita. Para un acero hipoeutectoide, un enfriamiento lento significa obtener una estructura perlítica rodeada de ferrita. A esto se le conoce como **matriz ferrítica**. Para aceros hipereutectoides la cementita tiende a formar nódulos o pequeños granos en el seno de la austenita, a esto se le denomina **cementita proeutectoide**, que se mantendrá cuando la austenita se transforme en perlita.

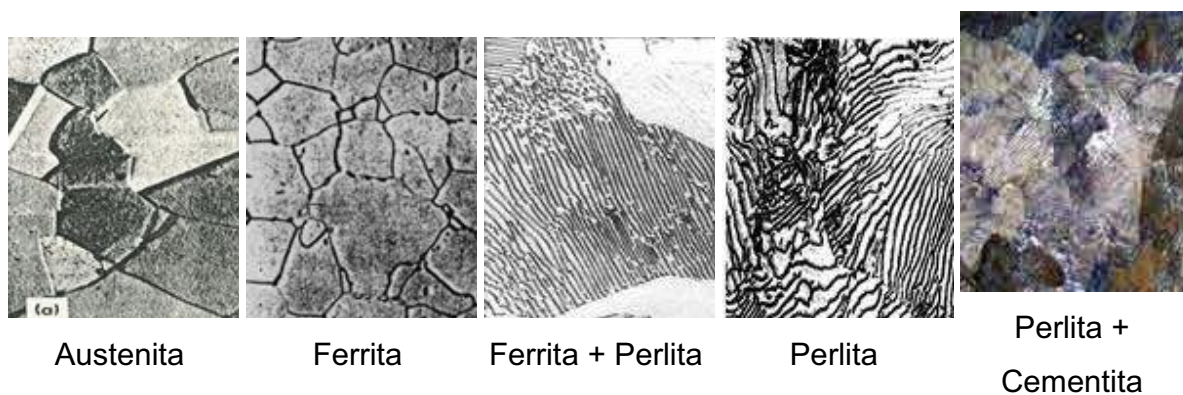


Figura. 2.11.- Límites de grano de los aceros

2.3.1.3 MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para el ensayo Metalográfico se ha realizado probetas en el sentido longitudinal como transversal de la varilla de construcción Gerdau AZA.

Para el análisis y la elaboración de las probetas se utilizó sierras manuales, sierras eléctricas enfriadas por agua, una desbastadora gruesa eléctrica también enfriada por agua, lijas de diferentes densidades, una pulidora eléctrica con alúmina suspendida en agua, y un microscopio

Tabla. 2.12.- Especificaciones técnicas del Microscopio Metalográfico

MODELO	TIPO	CABEZAL	LENTE	CAMPO	ILUMINACIÓN
IM 7200	Brightfield	Trino	SWH 10x FN22	Fijo plano 180mm x 245mm	Vertical Koehler 6 [V] 30[W] halógena



Fotografía 2.19.- Microscopio para el análisis metalográfico

2.3.1.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

El procedimiento para llevar a cabo una metalografía es el siguiente:

1. **Corte del Material:** La orientación de la superficie a examinar es de suma importancia, ya que de acuerdo al corte que se realice sobre el material, la estructura se podrá observar de diferente manera. El método para cortar debe ser aquel que minimice la deformación y el calentamiento del área de análisis, ya que estos factores podría afectar la superficie que se examine.
2. **Forma de Montar el Material (Encapsulamiento):** El material debe ser montado sobre una resina de poliéster para la cual se utiliza un catalizador y endurecedor, metil cetona y octoato de cobalto, las temperaturas en las que

se lleva a cabo el proceso de montar el material no deben afectar la estructura del mismo.



Fotografía 2.20.- Colocación de resina en la probetas

3. **Esmerilado:** El esmerilado se realiza para remover todo el material o imperfecciones que quedan sobre el corte, esto con el fin de dejar un área totalmente plana, además se usa una serie de lijas para complementar esta operación
4. **Desbaste fino:** En esta etapa se remueve la zona deformada causada por los procesos anteriores, se usa lijas números: 240-320-400-600 granos/pulg para complementar esta operación, este proceso se debe realizar desde la lija más gruesa a la más delgada.
5. **Pulido grueso:** En la operación de pulido se utilizan pulidoras de paño, utilizando como abrasivo alúmina de 1 micrón en suspensión con agua.



Fotografía 2.21.- Pulidoras

- 6. Pulido fino:** La pieza a examinar debe contar con un acabado superficial excelente (acabado de espejo), esto se logra mediante la utilización de un abrasivo fino llamado Alúmina (Al_2O_3), el cual se coloca sobre el disco rotatorio cubierto de un paño y ejerciendo la presión correcta entre la pieza y el paño se logra el acabado deseado.
- 7. Ataque del material:** El ataque del material consiste en utilizar un agente químico que reaccione con la superficie a examinar, este es el paso de mayor importancia durante la metalografía, ya que si el agente no es el indicado, no se podrán observar las características deseadas sobre la pieza, la selección del agente químico varía según el material y sus características.

Para el microataque se utilizó Nital al 2 % y para el macro ataque Nital al 10 % (Nital = Ácido Nítrico + Alcohol al 99.5%)
- 8. Recopilación fotográfica:** Una vez que la muestra es atacada se procede a observar las probetas en el microscopio, para identificar las inclusiones, y las microestructuras del material.

CAPÍTULO 3.

COMPENDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo detalla los resultados obtenidos en los ensayos de tracción doblado en frío, dureza Rockwell B, corte, fatiga, soldadura, metalografía y composición química del acero Gerdau AZA importado por UNIFER para el consumo del mercado ecuatoriano.

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN.

A continuación se expresa la tabla de resultados del ensayo de tracción de cada uno de los diámetros, que la UNIFER comercializa.

Tabla 3.1.- Resultados del ensayo de tracción

DIÁMETRO DE PROBETA (mm)	CARGA FLUENCIA	CARGA MÁXIMA	ESFUERZO FLUENCIA	ESFUERZO MÁXIMO	ELONG.
	kg.	kg.	Kg/cm2	Kg/cm2	%
32.00	41690.00	60070.00	5183.73	7469.09	21.62
32.00	41530.00	59850.00	5163.83	7441.74	24.32
32.00	41610.00	59960.00	5173.78	7455.41	24.32
25.00	26010.00	36470.00	5298.71	7429.61	21.26
25.00	25890.00	36850.00	5274.27	7507.02	27.98
25.00	25950.00	36660.00	5286.49	7468.31	27.98
22.00	19680.00	28360.00	5177.14	7460.55	22.54
22.00	16060.00	24665.00	4224.84	6488.52	20.00
20.00	14680.00	21820.00	4672.79	6945.52	24.00
20.00	15320.00	21960.00	4876.51	6990.09	27.58
20.00	15000.00	21890.00	4774.65	6967.80	20.92
18.00	11700.00	17400.00	5819.10	8654.05	22.58
18.00	8640.00	13405.00	4297.18	6667.10	20.48
16.00	9742.00	13717.00	4845.27	6822.28	22.58
16.00	9721.00	13749.00	4834.83	6838.19	20.48
16.00	9731.50	13733.00	4840.05	6830.23	20.48
14.00	7927.00	10770.00	5149.47	6996.32	18.42
14.00	7924.00	10807.00	5147.53	7020.36	16.20
14.00	7925.50	10788.50	5148.50	7008.34	16.20
12.00	5397.00	7959.00	4772.00	7037.30	23.00
12.00	5492.00	7779.00	4855.99	6878.15	22.00
12.00	5444.50	7869.00	4813.99	6957.72	22.00
10.00	3801.00	5663.00	4839.58	7210.36	20.00
10.00	3830.00	5657.00	4876.51	7202.72	27.00
10.00	3815.50	5660.00	4858.05	7206.54	27.00
8.00	2261.00	3516.00	4498.12	6994.86	15.00
8.00	2260.00	3456.00	4496.13	6875.49	16.00
8.00	2260.00	3456.00	4496.13	6875.49	16.00

3.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis y comprobación de resultados tomamos como referencia la norma INEN 102, en la cual se indica los requisitos que debe cumplir las varillas con resaltes para hormigón armado.

Tabla 3.2- Especificaciones mecánicas de las varillas para hormigón armado

ENSAYO		UNIDAD	GRADO DE ACERO
Tracción	Límite de fluencia, mínimo	Kg/cm ²	4200
	Resistencia máximo, mínimo	Kg/cm ²	6300
	Alargamiento mínimo	%	15

Tabla 3.3.- Resumen de los esfuerzos de fluencia y esfuerzos máximo de las varillas.

DIÁMETRO DE PROBETA (mm)	ESFUERZO FLUENCIA Kg/cm ²	ESFUERZO MÁXIMO Kg/cm ²
32.00	5173.78	7455
25.00	5286.49	7468
22.00	4224.84	6489
20.00	4774.65	6968
18.00	4638.70	7329
16.00	4840.05	6830
14.00	5148.50	7008
12.00	4813.99	6958
10.00	4858.05	7207
8.00	4496.79	6915

- De acuerdo a los resultados obtenidos en este ensayo, las varillas están sobre los límites permitidos de 4200 Kg/cm^2 , como se observa en la tabla 3.2; de igual manera sucede con el esfuerzo máximo ya que el valor mínimo es 6300 kg/cm^2 , los valores obtenidos están dentro del rango 6489 a 7455 Kg/cm^2 ; por lo cual podemos indicar que las varillas si cumple con ésta especificación.
- El porcentaje de elongación de la probeta está entre el 15 al 28 %, según la norma INEN 102, el alargamiento mínimo es del 15%, cumpliendo este requisito bordeando el límite mínimo establecido en la norma.
- El esfuerzo de fluencia es un valor que influye directamente en el diseño estructural porque se diseña con 4200 Kg/cm^2 ; los valores conseguidos en el ensayo a tracción sobrepasan el valor, de esta manera se estaría diseñando estructuras sobre reforzadas.
- La ductilidad con deformación uniforme se incrementa con el endurecimiento por deformación, mientras que la deformación no uniforme se hace mayor con la velocidad de deformación.
- Las probetas muestran una reducción de la sección transversal y una buena deformación plástica lo cual es bueno debido a que hay ductilidad del material.

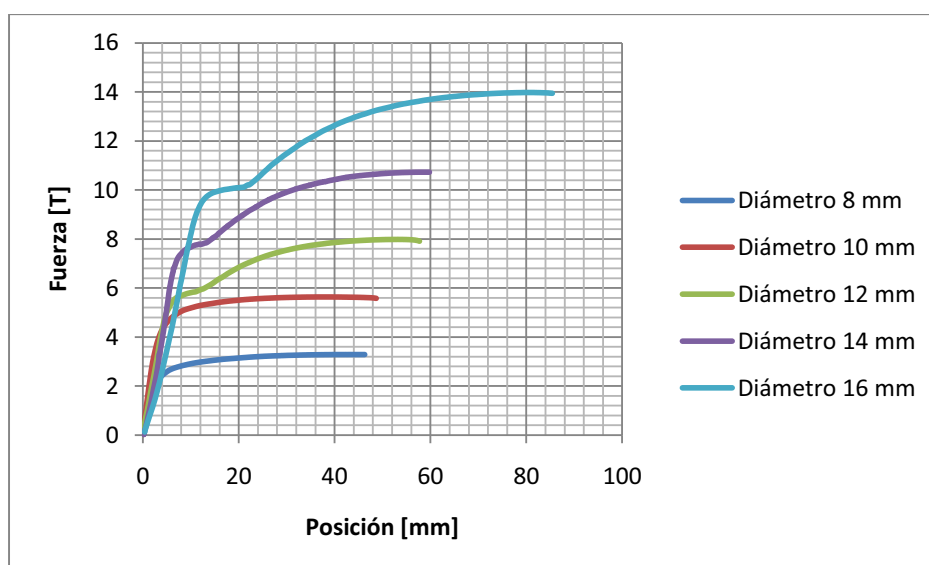


Figura 3.1.- Fuerza vs posición de las varillas corrugadas.

- Como se puede apreciar en la figura 3.1, a medida que aumenta el diámetro de la varilla, aumenta la fuerza a la que se rompe la misma, como también su deformación.
- Igualmente se evidenció que las probetas de mayor diámetro tienen un esfuerzo de fluencia mayor que las de diámetro pequeño.

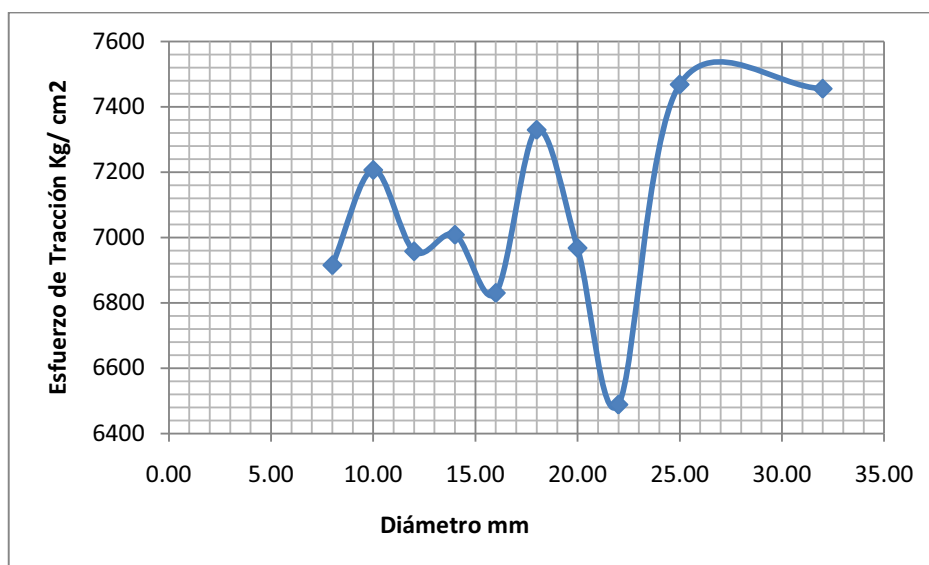


Figura 3.2.- Comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción para cada diámetro.

- De acuerdo a lo que se observa en la figura 3.2. El esfuerzo de tracción promedio del ensayo de las 3 varillas decrece en los diámetros 22, 16 y 12 mm con respecto a los otros diámetros.

Tabla 3.4.- Relación del esfuerzo de rotura vs el esfuerzo de fluencia.

DIÁMETRO DE PROBETA (mm)	RELACIÓN fu/fy
32.00	1.441
25.00	1.413
22.00	1.536
20.00	1.459
18.00	1.580
16.00	1.411
14.00	1.361
12.00	1.445
10.00	1.483
8.00	1.538

- Para garantizar un ductilidad suficiente los aceros deben cumplir con: $f_u/f_y \geq 1,10$. De acuerdo a la tabla 3.4, todas las varillas cumplen con este requerimiento.

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DOBLADO EN FRÍO.

Tabla 3.5.- Resultados del ensayo de doblado

DIÁMETRO DE VARILLA (mm)	IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES
8	8 A	No se observan fisuras
	8 B	No se observan fisuras
10	10 A	No se observan fisuras
	10 B	No se observan fisuras
12	12 A	No se observan fisuras
	12 B	No se observan fisuras
14	14 A	No se observan fisuras
	14 B	No se observan fisuras
16	16 A	No se observan fisuras
	16 B	No se observan fisuras
18	18 A	No se observan fisuras
	18 B	No se observan fisuras
20	20 A	No se observan fisuras
	20 B	No se observan fisuras
22	22 A	No se observan fisuras
	22 B	No se observan fisuras
25	25 A	No se observan fisuras
	25 B	No se observan fisuras
32	32 A	No se observan fisuras
	32 B	No se observan fisuras

3.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Los resultados que se obtuvieron a partir del ensayo de doblado realizado en dos muestras de cada diámetro de 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25 y 32 mm. Se observó que no se presentaron fisuras.

Como se muestra en las siguientes fotografías:



Fotografía 3.1.- Doblado de la varilla a 180°



Fotografía 3.2.- Cara externa de las varillas sin fisuración

- La norma INEN 110 y ASTM 615 señala que la probeta debe examinarse por su cara externa después del ensayo, donde no se deben presentar fisuras, esta inspección debe ser realizada visualmente.
- Este ensayo es de suma importancia para el control de calidad del acero de refuerzo, debido a que este proceso se lo realiza en las construcciones, en lo que se relaciona a la elaboración de ganchos, estribos, etc.
- Cabe recalcar que las varillas no presentan fisuras al ser ensayada al ángulo máximo establecido por la norma que es 180°

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B

Tabla 3.6.-Resumen de las durezas obtenidas de la sección transversal de las varillas Gerdau AZA

DIÁMETRO (mm)	DUREZA ROCKWELL B
32	91
25	93
22	91
20	90
18	93
16	89
14	90
12	90
10	90
8	90

Tabla 3.7.- Resumen de las durezas obtenidas de la sección longitudinal de las varillas Gerdau AZA

DIÁMETRO (mm)	DUREZA ROCKWELL B
32	98
25	96
22	90
20	91
18	96
16	89
14	89
12	90
10	91
8	89

Tabla 3.8.- Comparación de la dureza obtenida en el ensayo vs la dureza debido a la resistencia de tracción

DIÁMETRO (mm)	DUREZA ROCKWELL B (ENSAYO)	ESFUERZO MÁXIMO ENSAYO DE TRACCIÓN (Kg/cm ²)	DUREZA ROCKWELL B (TABLAS)
32	91	7455	96
25	93	7468	96
22	91	6489	90
20	90	6968	94
18	93	6667	92
16	89	6830	93
14	90	7008	95
12	90	6958	94
10	90	7207	96
8	90	6915	93

3.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Al considerar que la varilla de construcción fabricada por la empresa Gerdau AZA, está bajo las mismas especificaciones, las coladas son iguales y la composición química es similar para todos los diámetros; en las tablas 3.6 y 3.7, se observa que la variación de la dureza en la sección transversal y longitudinal es similar para todos los diámetros con un promedio de dureza del 90.
- Al comparar los resultados obtenidos en el ensayo de dureza con los valores de la resistencia a tracción del acero utilizado para estructuras de hormigón armado como se indica en la tabla 3.8., se observa que los valores de dureza obtenidos en el ensayo son menores a los que debería tener de acuerdo a la resistencia del acero.

- El valor de dureza obtenido permite identificar un beneficio más de este acero, en lo que se refiere al desgaste en su condición física, en especial cuando éste se encuentra expuesto a factores externos y a la mala manipulación del material.
- La dureza del material depende de la cantidad de carbono que esté presente, considerando los valores que especifica la norma sobre estos porcentajes, si existe un excedente no habrá ductilidad y llegará a ser un material frágil.

3.4 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FATIGA

Se procedió a realizar el ensayo de fatiga con diferentes valores de carga para cada tipo de muestra. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3.9.- Resumen resultados del ensayo de Fatiga

PROBETA Nº	DIÁMETRO MUESTRA, Φ (mm)	CARGA (kg)	CICLOS (N)	TIEMPO (min)	Sut (kg/cm ²)	OBSERVACIÓN
1	16	10	36086	20.37	4807,64	Si falló
2	18	12	9876	5.4	4807,64	Si falló
3	20	14	4500	2.29	4807,64	Si falló
4	22	15	5800	2.58	4807,64	Si falló
5	25	16	2962	1.44	4807,64	Si falló
6	32	18	-	-	4807,64	Falló por fluencia

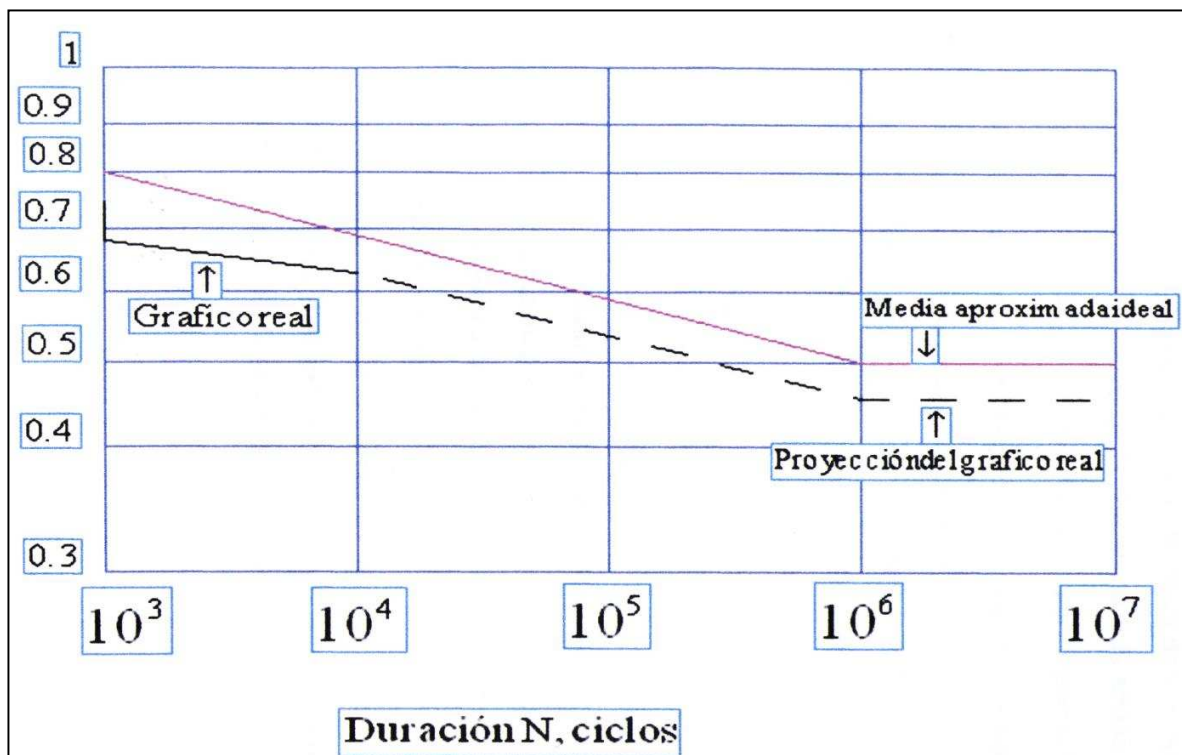


Figura 3.3.- Curva Esfuerzo de fractura- ciclos

3.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Primero se debe aclarar que los resultados son independientes del diámetro de la varilla empleado debido a que las probetas fueron maquinadas quedando todas con las mismas dimensiones.

- Donde 5 de las 6 probetas fallaron a fatiga es decir a cierto número de ciclos y bajo cierta carga dada se fracturaron sin alcanzar su límite de esfuerzo último.
- De acuerdo al gráfico se puede observar que la línea de falla real se encuentra por debajo de la gráfica de la Media Aproximada Ideal, esto se debe a que se tomó el menor valor de S_{ut} (4800kg/cm²).

- Por lo tanto se puede concluir, de acuerdo a las pruebas y al gráfico ($S_f - N$) observados que el material tiene un comportamiento normal frente al fenómeno de la fatiga como se puede observar gráficamente.
- Los ensayos de fatiga indican límites de resistencia a la fatiga o límites de fatiga de los materiales, este es el esfuerzo máximo al cual se puede sujetar un material, sin que exista falla por fatiga, independientemente del número de ciclos.



Fotografía 3.3.- Falla en probeta por ensayo de Fatiga

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE CORTE

Tabla 3.10.- Resultados del ensayo de Corte

DIÁMETRO DE VARILLA, Φ (mm)	IDENTIFICACIÓN	CORTE SIMPLE (Kg)	ESFUERZO A CORTE SIMPLE (kg/cm ²)	CORTE DOBLE (Kg)	ESFUERZO A CORTE DOBLE (kg/cm ²)
8	8A	2386,36	4747,52	5227,27	10399,34
	8B	2727,27	5425,74	5897,73	11733,17
10	10A	4806,82	6120,24	8863,64	11285,54
	10B	4590,91	5845,33	9318,18	11864,29
12	12A	5590,91	4943,45	1181,82	1044,96
	12B	5909,09	5224,79	12363,64	10931,86
14	14A	7090,91	4606,34	15363,64	9980,41
	14B	8090,91	5255,96	17409,09	11309,16
16	16A	10181,82	5064,03	21318,18	10602,80
	16B	10772,73	5357,92	20681,82	10286,30
18	18A	13909,09	5465,93	27045,45	10628,20
	18B	14090,91	5537,38	27272,73	10717,51
20	20A	15409,09	4904,87	31272,73	9954,43
	20B	15909,09	5064,03	3272,73	1041,74
22	22A	20227,27	5321,11	-	-
	22B	20727,27	5452,65	-	-

3.5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los ensayos de corte doble para las varillas de 20 y 22 mm de diámetro no pudieron ser efectuados debido a que la carga prevista sobrepasa la capacidad del equipo.



Fotografía 3.4.- Corte doble en varilla de diámetro 14 mm



Fotografía 3.5.- Corte doble en varilla de diámetro 14 m

Tabla 3.11.-Resumen de resultados del ensayo a corte

DIÁMETRO DE VARILLA, Φ (mm)	ESFUERZO A CORTE SIMPLE (kg/cm²)	ESFUERZO A CORTE DOBLE (kg/cm²)
8	5086,63	11066,25
10	5982,78	11574,91
12	5084,12	10931,86
14	4931,15	10644,79
16	5210,97	10444,55
18	5501,66	10672,86
20	5064,03	9954,43
22	5386,88	-

- Se puede observar según el ensayo realizado que los esfuerzos crecen en función del aumento de diámetro de las varillas, es decir se necesita de un mayor esfuerzo a corte para estas últimas.
- El ensayo a corte no fue realizado bajo normas, debido a que no existe alguna que especifique procedimientos y valores mínimos o máximos a cumplir. Debido a que está estimado como de mayor relevancia el ensayo a tracción.
- Se ha considerado necesario realizar este ensayo puesto que en Ingeniería Civil se presentan numerosos casos de diseño de vigas, donde la flexión se muestra acompañada de fuerzas de corte que pueden alcanzar cierta relevancia en la resistencia de la viga (sobre todo en vigas cortas).

3.6 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE SOLDADURA

Un vez realizada la soldadura de las varillas de Gerdua AZA, a tope y a traslape se procede a revisar el estado de estas soldaduras, para ello es necesario la evaluación del procedimiento de soldadura.

3.6.1 EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La evaluación de los dos procedimientos de soldadura se han realizado a través de ensayos requeridos por ANSI/AWS D1.4 – 98: ensayo visual, tracción y macroataque.

3.6.1.1 ENSAYO VISUAL:

El ensayo visual realizado en los especímenes soldados, para las posiciones 1G no detectó presencia de discontinuidades que afecten el cumplimiento de las exigencias de ANSI/AWS D1.4–98 y AWS D1.1-04.

3.6.1.2 ENSAYO DE TRACCIÓN:

Se realizaron dos ensayos de tracción por cada posición. En la posición 1G, los valores de resistencia máxima obtenidos fueron de:

Tabla 3.12.- Resultados de la resistencia de las varillas soldada a traslape

SOLDADURA TRASLAPADA	
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Mpa)
22	493.8
32	496.3

Tabla 3.13.- Resultados de la resistencia de las varillas soldada a tope

SOLDADURA A TOPE	
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Mpa)
22	642.4
25	529.4
32	537.8



Fotografía 3.6.- Soldadura de las varillas a traslape antes del ensayo a tracción



Fotografía 3.7.- Soldadura de las varillas a tope antes del ensayo a tracción

3.6.1.3 Macrografía:

Se realizaron dos ensayos de macrografía uno a tope y otro a traslape. Los resultados para la posición 1G, del diámetro 32 mm.

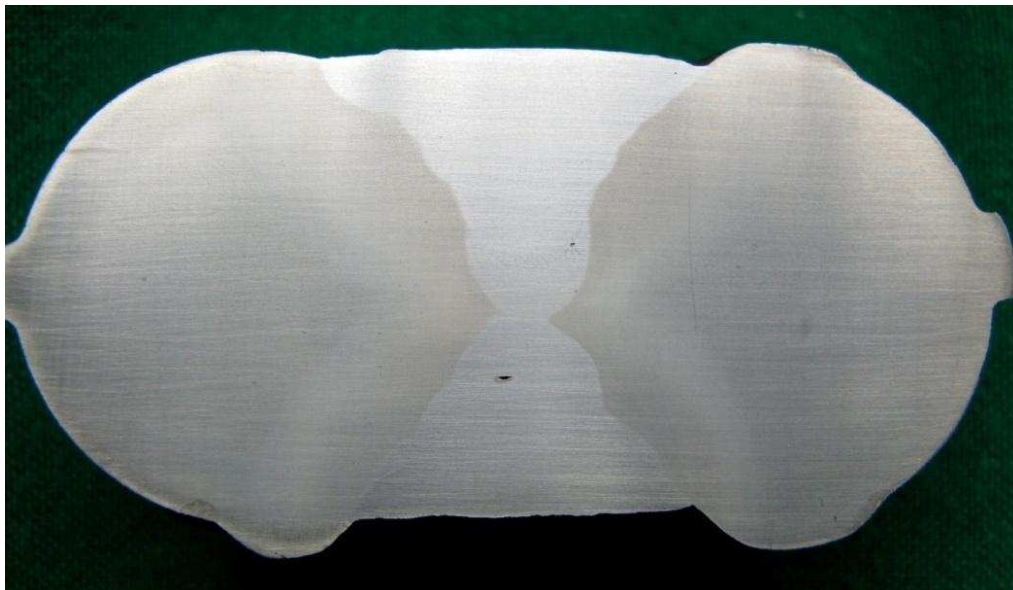
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

Tabla 3.14.-Identificación de las muestras

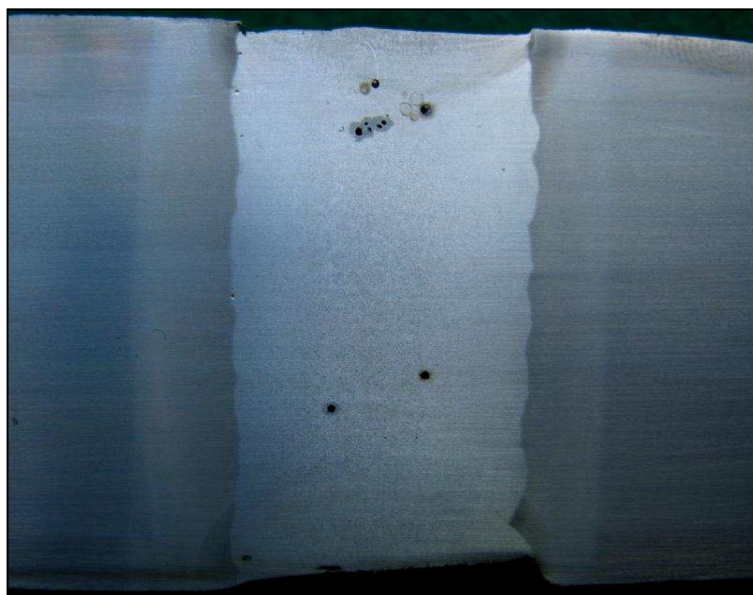
MUESTRA	POSICIÓN	PROCESO	DESCRIPCIÓN
01	1G	SMAW	Junta soldada a traslape de dos varillas de 32 mm de diámetro.
03	1G	SMAW	Junta soldada a tope de dos varillas de 32 mm de diámetro.

Tabla 3.15.- Resultado Macrográfico.

MUESTRA		OBSERVACIONES
01	1G	Se observan tres cordones de soldadura los cuales presentan fusión completa con el metal base y penetración en la raíz. Se observa un poro < a 1 mm. y no existe presencia de fisuras. Fotografía 3.8
03	1G	Se observan tres cordones de soldadura los cuales presentan fusión completa con el metal base y penetración en la raíz. Se observan poros < 1 mm. Fotografía 3.9



Fotografía 3.8.- Muestra 1 (1G – SMAW): Se observan tres cordones de soldadura los cuales presentan fusión completa con el metal base y penetración en la raíz. Se observa dos poros: < a 1 mm, y de 1 mm., y no existe presencia de fisuras.



Fotografía 3.9.- Muestra 3 (1G – SMAW): Se observan tres cordones de soldadura los cuales presentan fusión completa con el metal base y penetración en la raíz. Se observa poros < a 1 mm, y no existe presencia de fisuras.

Para que una soldadura de buenos resultados, es necesario tener en cuenta aspectos como calificación del soldador, calificación del proceso de soldadura, electrodo ideal para estos empalmes, ya que si no se cumple estos requisitos del código se obtendrá resultados como los indicados a continuación.

IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS.

Tabla 3.16.- Identificación de las muestras

MUESTRA	POSICIÓN	PROCESO	DESCRIPCIÓN
02	1G	SMAW	Junta soldada a traslape de dos varillas de 18 mm de diámetro.

Tabla. 3.17.- Resultado Macrográfico.

MUESTRA		OBSERVACIONES
02	1G	Se observan dos cordones de soldadura los cuales no presentan fusión completa con el metal base ni penetración en la raíz. No se observan fisuras ni poros. Fotografía 3.10.



Fotografía 3.10.- Muestra 2 (1G – SMAW): Se observan dos cordones de soldadura los cuales no presentan fusión completa con el metal base ni penetración en la raíz. No se observan poros ni fisuras.

3.6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El código especifica que se debe alcanzar por lo menos el 125% del valor de la resistencia para la varilla tipo A42 (o grado 420), donde el 125% de 420 Mpa, es 525 Mpa. De acuerdo con esta especificación del código las varillas soldadas a tope cumplen con esta normativa, mientras que las varillas soldadas a traslape no cumplen con este valor de resistencia máxima.
- Como se puede ver en las fotografías las varillas soldadas a traslape se rompieron fuera de la soldadura, pero su resistencia es menor, debido a que en esta área de rotura, la varilla sufrió un calentamiento, lo que hace que el material se debilite y pierda resistencia, para evitar esto se recomienda, realizar un tratamiento térmico después de realizada la soldadura.



Fotografía 3.11.- Varilla soldada a traslape después del ensayo de tracción

- En cambio las varillas soldadas a tope se rompieron en la soldadura, pero su resistencia es mayor debido a que la resistencia del material de aporte es mayor por haberse utilizado un electrodo E7018.



Fotografía 3.12.- Varilla soldada a tope después del ensayo de tracción

- Como se observa en la figura 3.10. Los cordones de soldadura presentan una fusión incompleta con el metal base, no existe buena penetración de la raíz, es por estos aspectos que la soldadura debe ser realizado por un soldador calificado y con un procedimiento estricto de soldadura.
- La penetración incompleta puede ser debida a una separación excesivamente pequeña de la raíz, a un electrodo demasiado grueso, a una corriente de soldadura insuficiente, a una excesiva velocidad de pasada. Este efecto por lo general no es aceptable y requiere la eliminación del cordón de soldadura anterior y la repetición del proceso.

- La falta de continuidad del cordón se origina cuando el soldador interrumpe el cordón y no empalma bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que en los casos más severos pueden considerarse auténticas falta de fusión transversal
- Las porosidades son bolsas de gas esféricas producidas por una alteración en el arco, una oxidación en el revestimiento del electrodo, o electrodo húmedo y/u oxidado o una variación en la relación Voltaje-Amperaje-Velocidad en la soldadura.

3.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE IMPACTO

Tabla 3.18.- Resultados del ensayo de impacto a una temperatura de -30° C

TEMPERATURA: - 30°C	
DIÁMETRO DE LA VARILLA DE LA CUAL SE EXTRAJO LA PROBETA	ENERGÍA Kg.m²/s²
16	-
18	-
20	16
22	-
25	11
32	11

Tabla 3.19.- Resultados del ensayo de impacto a una temperatura de 17° C

TEMPERATURA: 17°C	
DIÁMETRO DE LA VARILLA DE LA CUAL SE EXTRAJO LA PROBETA	ENERGÍA Kg.m2/s2
16	-
18	30
20	19
22	24
25	22
32	22

Tabla 3.20.-Resultados del ensayo de impacto a una temperatura de 80° C

TEMPERATURA: 80°C	
DIÁMETRO DE LA VARILLA DE LA CUAL SE EXTRAJO LA PROBETA	ENERGÍA Kg.m2/s2
16	71
18	60
20	68
22	76
25	62
32	57

Tabla 3.21.- Resultados del ensayo de impacto a una temperatura de 240° C

TEMPERATURA: 240°C	
DIÁMETRO DE LA VARILLA DE LA CUAL SE EXTRAJO LA PROBETA	ENERGÍA Kg.m2/s2
16	68
18	54
20	65
22	-
25	68
32	57

Tabla 3.22.- Resultados del ensayo de impacto

TEMPERATURA °C	ENERGÍA Kg.m2/s2
-30	13
17	23
80	66
240	62

3.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En base al gráfico 3.4 se puede observar que el acero presenta un rango de fractura frágil hasta los 20 °C, un rango de temperatura de transición, con un comportamiento de rotura que puede ser frágil o dúctil entre los 20 y 60 °C y finalmente una zona de fractura frágil a partir de los 60°C.

- La curva obtenida con la relación energía – temperatura corresponde a un comportamiento normal del acero.
- A mayor temperatura se necesita más energía para romper el material y este se comporta de manera dúctil con gran deformación y estiramiento antes de fracturarse, en cambio a menor temperatura el material se fractura con poca energía absorbida, el material es frágil y se observa poca deformación en el punto de fractura.
- Este ensayo se basa en la aplicación de una carga de impacto, que se pueden comparar con cargas dinámicas que son aplicadas súbitamente y causan impacto sobre una estructura, por ejemplo en un puente, estas pueden provocar una fractura frágil cuyas consecuencias representan un peligro.
- Un acero que vaya a estar sometido a fuerzas impacto durante su funcionamiento debe poseer una temperatura de transición inferior a la temperatura circundante.

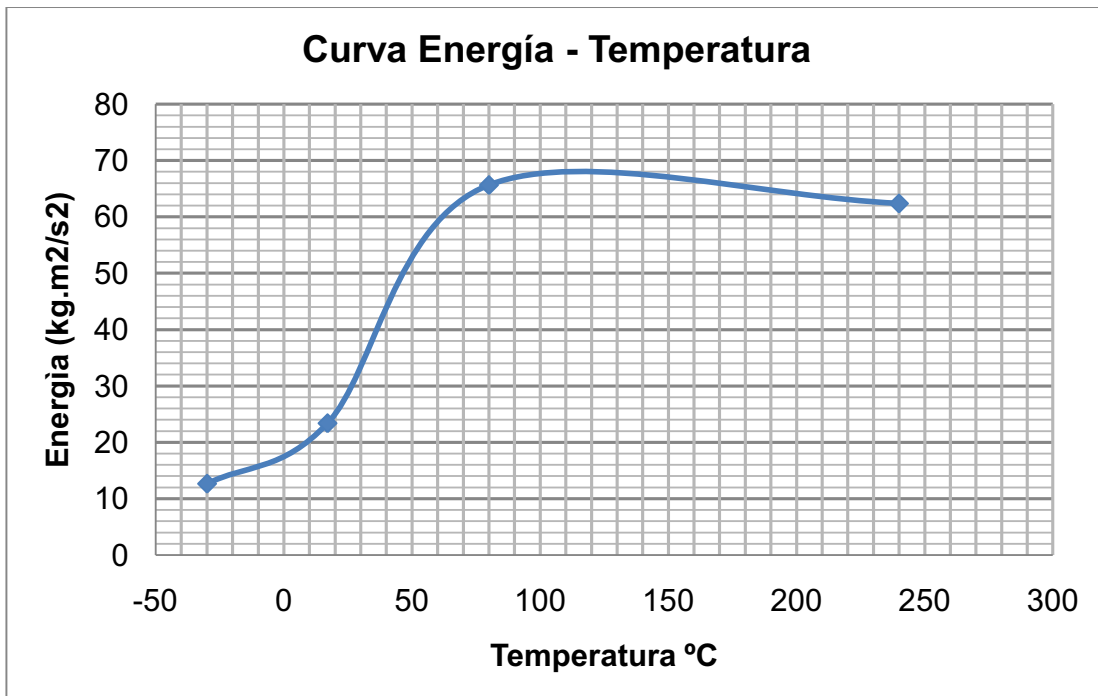


Figura 3.4.- Curva energía vs temperatura



Fotografía 3.13.- Falla de la probeta por carga de impacto

3.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE METALOGRAFÍA

Los elementos se identifican de la siguiente manera:

Tabla 3.23.- Identificación de las muestras

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
AT	Parte transversal de una varilla corrugada de 8 mm de diámetro comercial
BT	Parte transversal de una varilla corrugada de 10 mm de diámetro comercial
CL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 12 mm de diámetro comercial
CT	Parte transversal de una varilla corrugada de 12 mm de diámetro comercial
DL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 14 mm de diámetro comercial
DT	Parte transversal de una varilla corrugada de 14 mm de diámetro comercial
EL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 16 mm de diámetro comercial
ET	Parte transversal de una varilla corrugada de 16 mm de diámetro comercial
FL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 18 mm de diámetro comercial
FT	Parte transversal de una varilla corrugada de 18 mm de diámetro comercial
GL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 20 mm de diámetro comercial
GT	Parte transversal de una varilla corrugada de 20 mm de diámetro comercial
HL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 22 mm de diámetro comercial
HT	Parte transversal de una varilla corrugada de 22 mm de diámetro comercial
IL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 32 mm de diámetro comercial
IT	Parte transversal de una varilla corrugada de 32 mm de diámetro comercial
JT	Parte transversal de una varilla corrugada de 25 mm de diámetro comercial
JL	Parte longitudinal de una varilla corrugada de 25 mm de diámetro comercial

ANÁLISIS METALOGRAFICO.

Tabla 3.24.- Inclusiones en la sección transversal de las varillas de acero corrugado

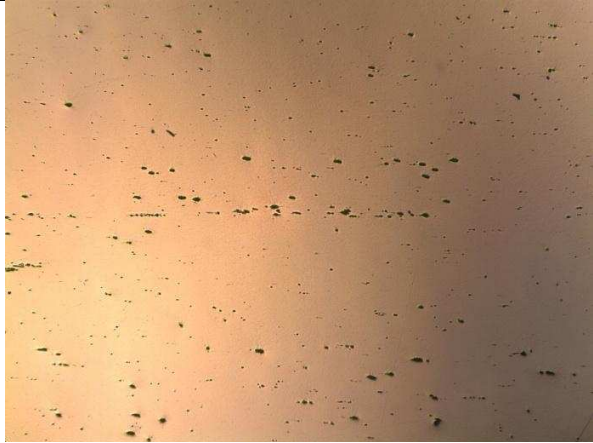
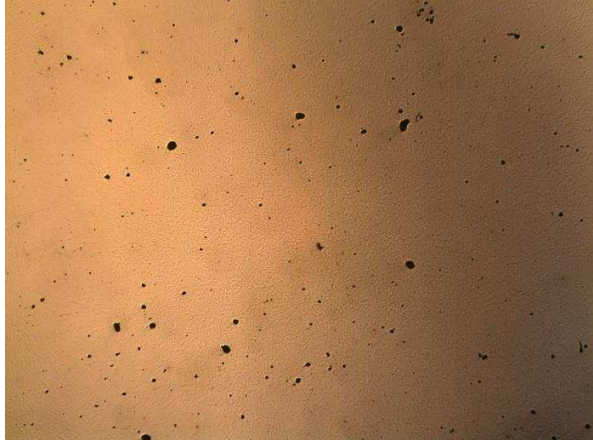
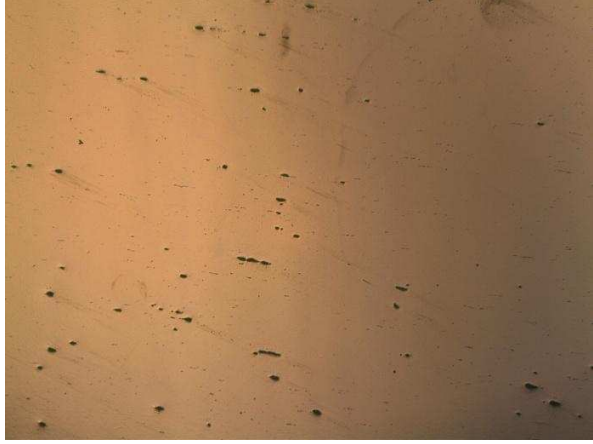
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
AT		<p>100X Se observa una gran cantidad de inclusiones tipo silicato alineadas, y de diferentes tamaños.</p>
BT		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato de diferentes tamaños aleatoriamente distribuidos en la superficie analizada.</p>
CT		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato de forma alargada, distribuidas en la superficie de la muestra.</p>

Tabla 3.24.- Continuación

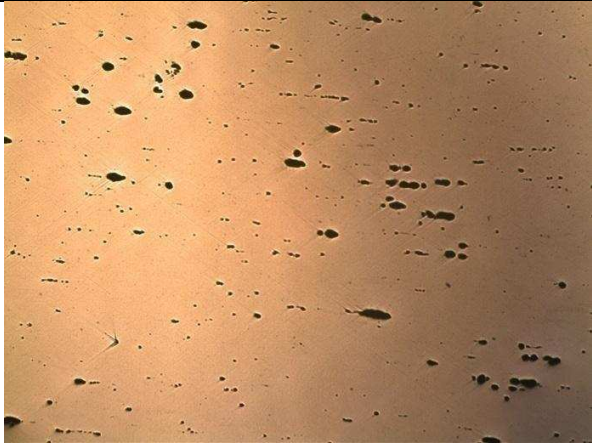
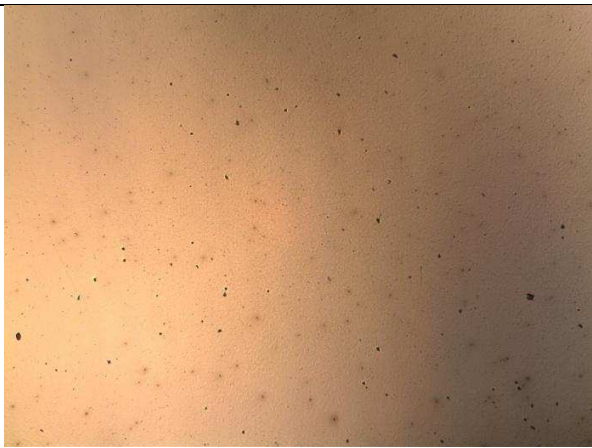

MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
DT		100X Se observan una gran cantidad de inclusiones tipo silicato de diferente tamaño.
ET		100X Se observa inclusiones tipo silicato en la superficie de la muestra.
FT		100X Se observa la presencia de inclusiones tipo silicato.

Tabla 3.24.- Continuación

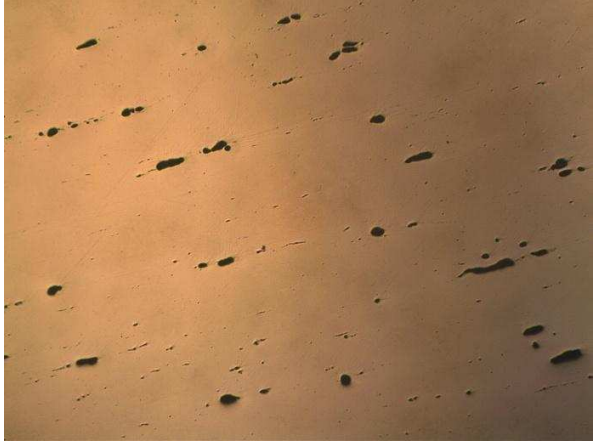
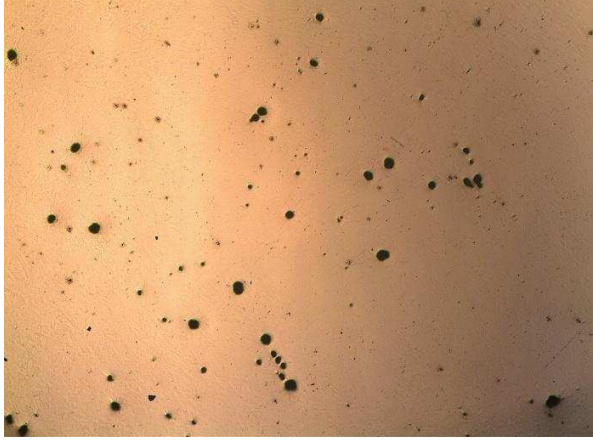

MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
GT		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato alargadas de gran tamaño en la superficie de la muestra.</p>
HT		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato de gran tamaño en la superficie de la muestra.</p>
IT		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato en toda la superficie de la muestra.</p>

Tabla 3.24.- Continuación

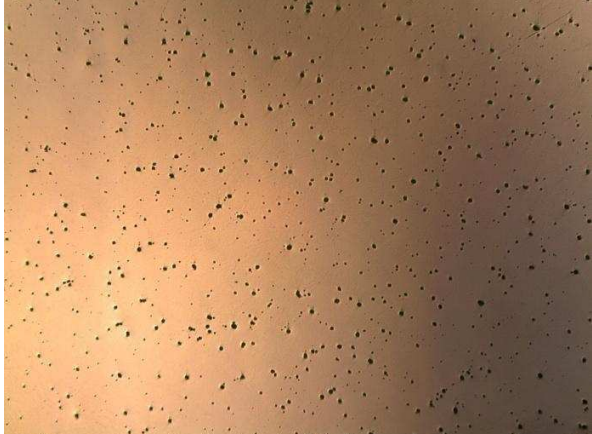
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
JT		100X Se observa una gran cantidad de inclusiones tipo silicato en toda la superficie de la muestra.

Tabla 3.25.- Inclusiones en la sección longitudinal de las varillas de acero corrugado



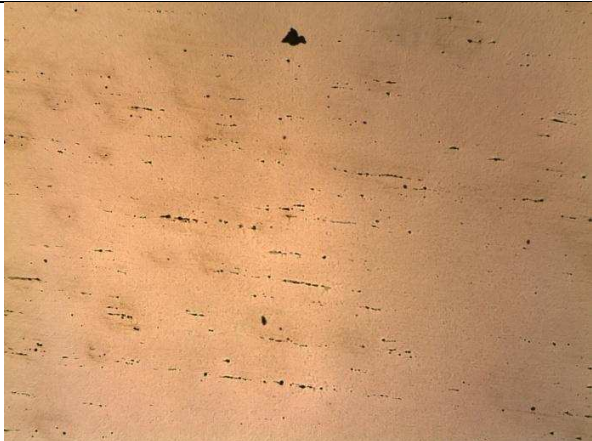
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
CL		<p>100X Se observa también inclusiones de tipo silicato.</p>
DL		<p>100X Se observa una gran cantidad de inclusiones tipo silicato distribuidas en toda la superficie de la muestra.</p>
EL		<p>100X Se observan inclusiones alineadas tipo silicato.</p>

Tabla 3.25.- Continuación




MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
FL		<p>100X Se observa inclusiones tipo silicato en toda la superficie de la muestra.</p>
GL		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato en la superficie de la muestra.</p>
HL		<p>100X Se observan inclusiones tipo silicato alargadas y alineadas.</p>

Tabla 3.25.- Continuación


MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
IL		100X Se observan inclusiones tipo silicato en toda la superficie de la muestra.

Tabla 3.26.- Tamaño de Inclusiones de la sección transversal y longitudinal de las varillas de acero corrugadas

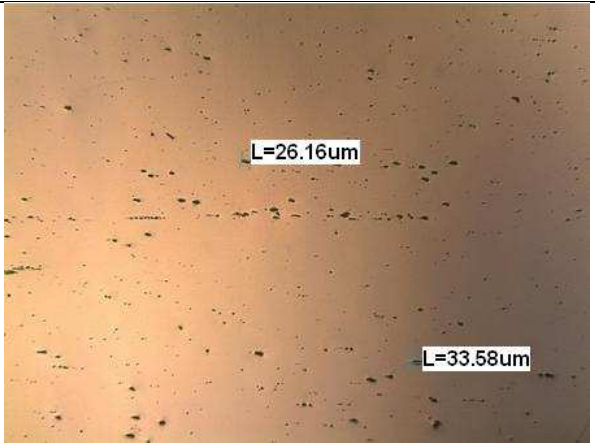
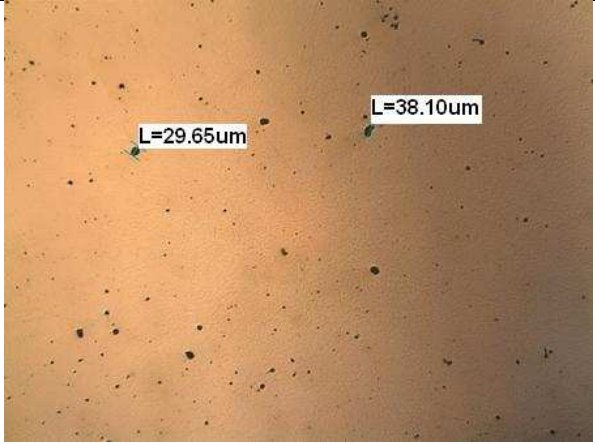
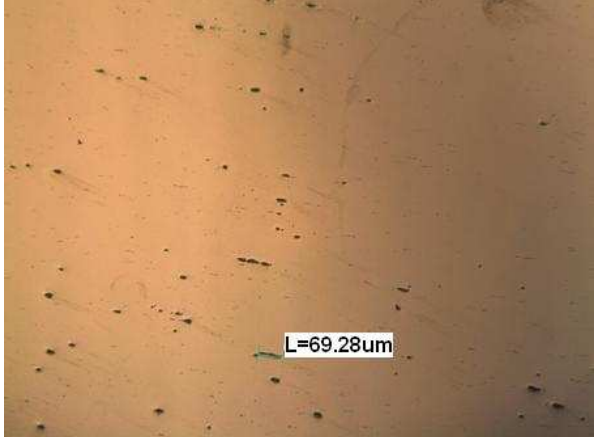
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
AT		<p>INCLUSIONES: 33.58μm la de mayor tamaño.</p>
BT		<p>INCLUSIONES: 38,1μm la de mayor tamaño.</p>
CT		<p>INCLUSIONES: 69.3μm la de mayor tamaño.</p>

Tabla 3.26.- Continuación

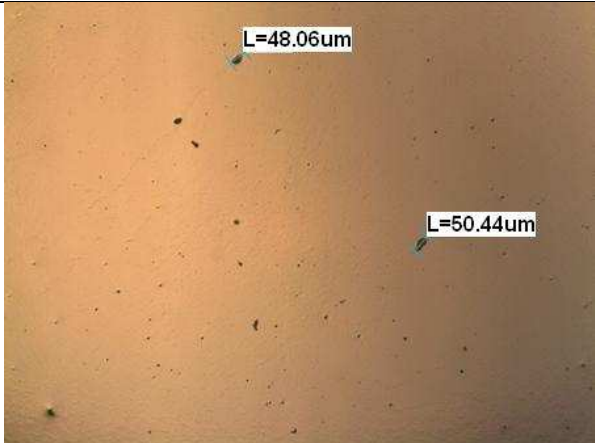
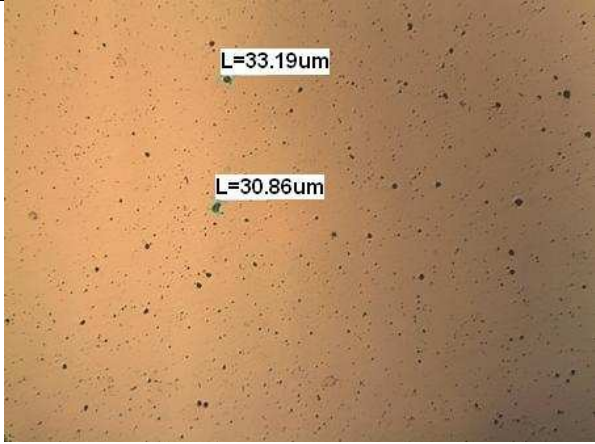
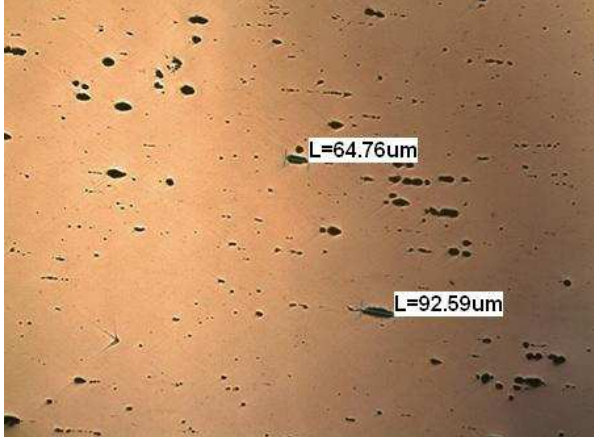
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
CL		INCLUSIONES: 50,44 μ m la de mayor tamaño. 100X
DL		INCLUSIONES: 33,19 μ m la de mayor tamaño
DT		INCLUSIONES: 92.59 μ m la de mayor tamaño.

Tabla 3.26.- Continuación

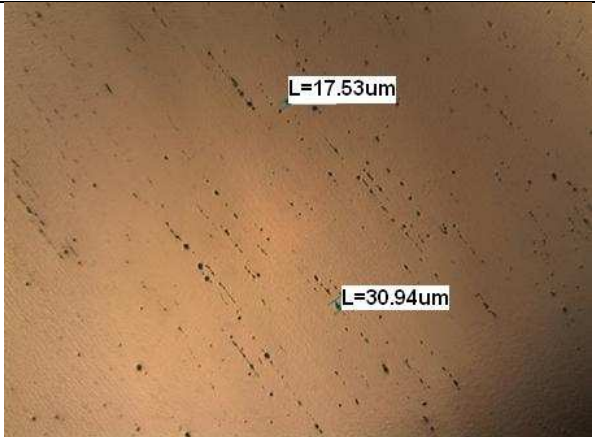

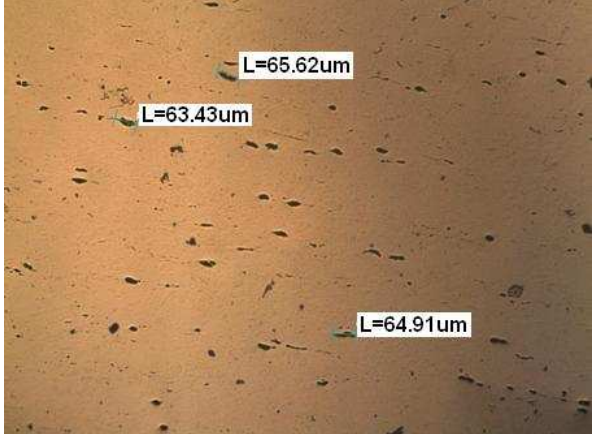
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
EL	 <p>Micrograph showing inclusions in sample EL. Two labels indicate inclusion sizes: L=17.53um and L=30.94um.</p>	<p>INCLUSIONES: 30.94µm la de mayor tamaño</p>
ET	 <p>Micrograph showing inclusions in sample ET. Two labels indicate inclusion sizes: L=24.23um and L=28.26um.</p>	<p>INCLUSIONES: 28,26µm la de mayor tamaño</p>
FL	 <p>Micrograph showing inclusions in sample FL. Three labels indicate inclusion sizes: L=65.62um, L=63.43um, and L=64.91um.</p>	<p>INCLUSIONES: 65,62µm la de mayor tamaño.</p>

Tabla 3.26.- Continuación

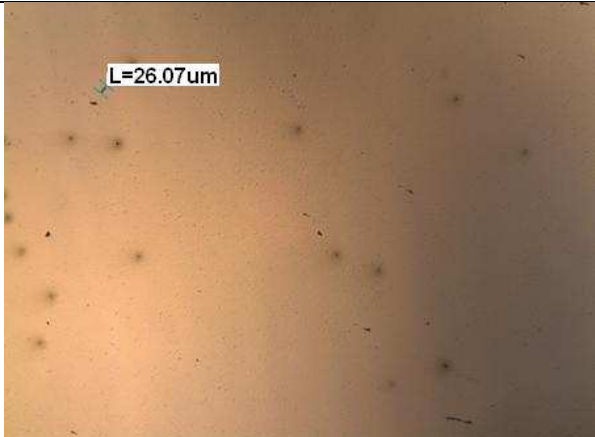
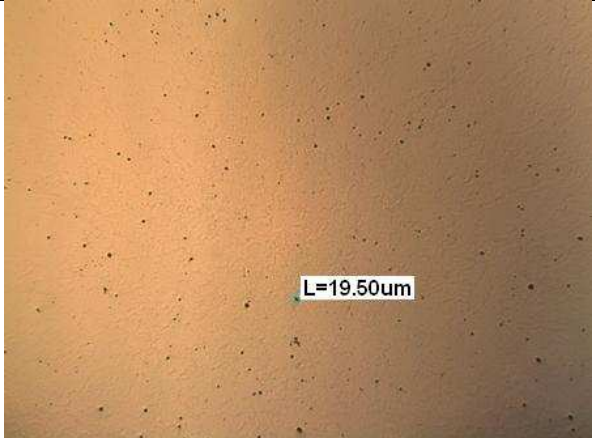
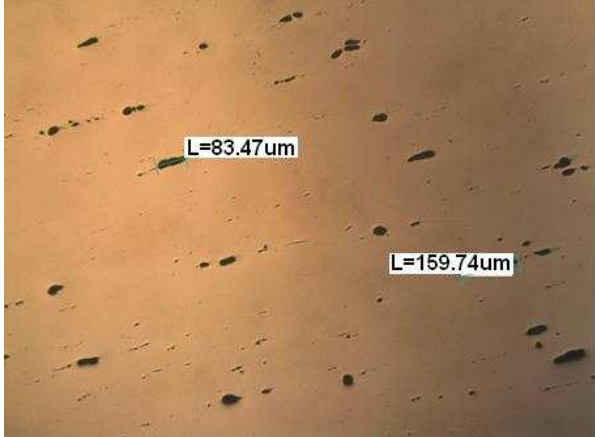
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
FT		INCLUSIONES: 26,07 μ m la de mayor tamaño
GL		INCLUSIONES: 19,5 μ m la de mayor tamaño.
GT		INCLUSIONES: 159,74 μ m la de mayor tamaño

Tabla 3.26.- Continuación

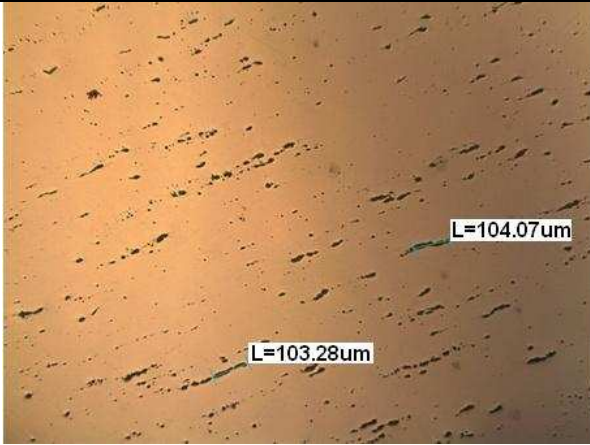
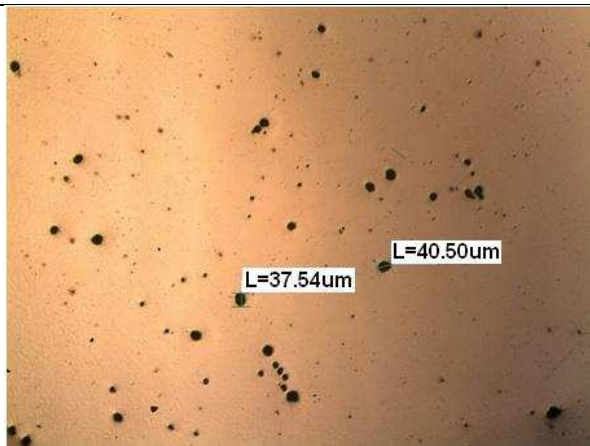
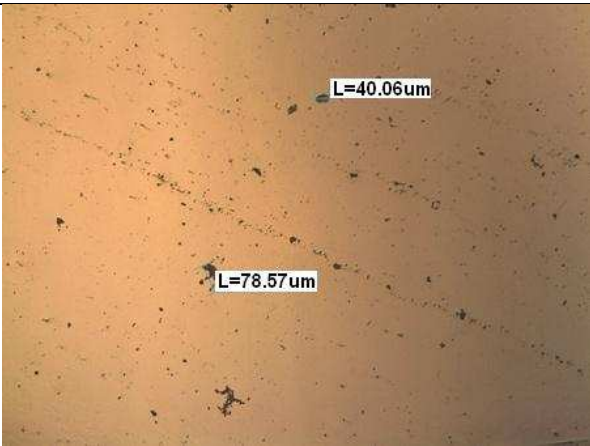
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
HL		INCLUSIONES: 104,07 μ m la de mayor tamaño.
HT		INCLUSIONES: 40,5 μ m la de mayor tamaño.
IL		INCLUSIONES: 40,06 μ m la de mayor tamaño.

Tabla 3.26.- Continuación

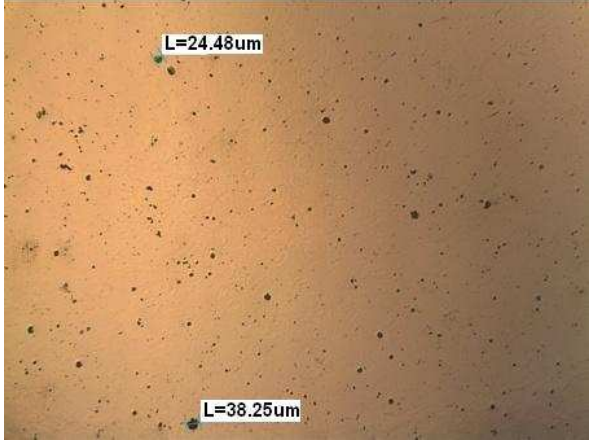
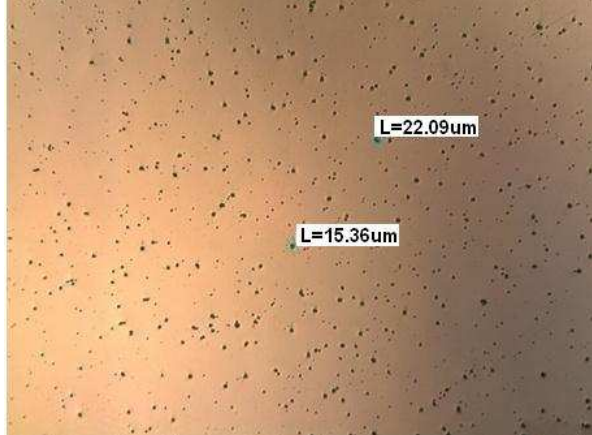
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
IT	 <p>The micrograph shows a brownish matrix with numerous small dark inclusions. Two specific inclusions are highlighted with white labels: one at the top center labeled 'L=24.48um' and one at the bottom center labeled 'L=38.25um'.</p>	INCLUSIONES: 38,25 μ m la de mayor tamaño.
JT	 <p>The micrograph shows a brownish matrix with numerous small dark inclusions. Two specific inclusions are highlighted with white labels: one at the top right labeled 'L=22.09um' and one at the bottom center labeled 'L=15.36um'.</p>	INCLUSIONES: 22,09 μ m la de mayor tamaño.

Tabla 3.27.- Resultados de las metalografías después del ataque.


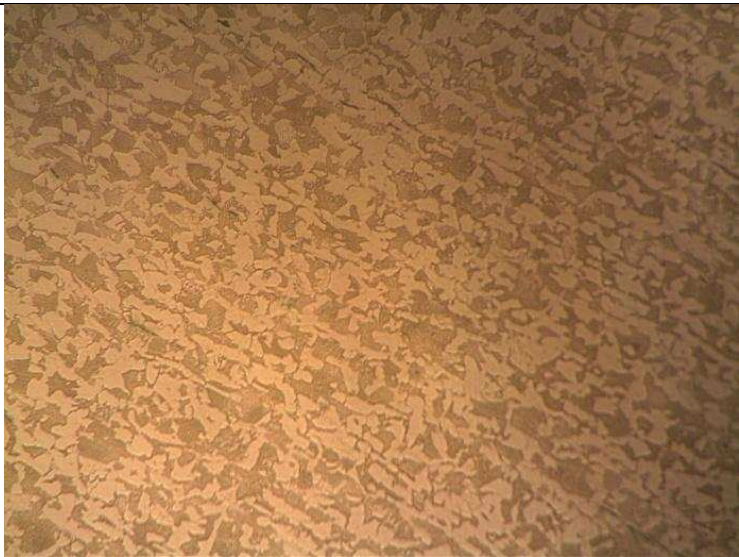
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
AT		<p>100X: Acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío. Se observa la dirección de la laminación</p>
		<p>500X: Acero laminado en caliente, de matriz ferrítico-perlítica. Se observan zonas donde la ferrita está alineada en dirección de la laminación.</p>

Tabla 3.27.- Continuación


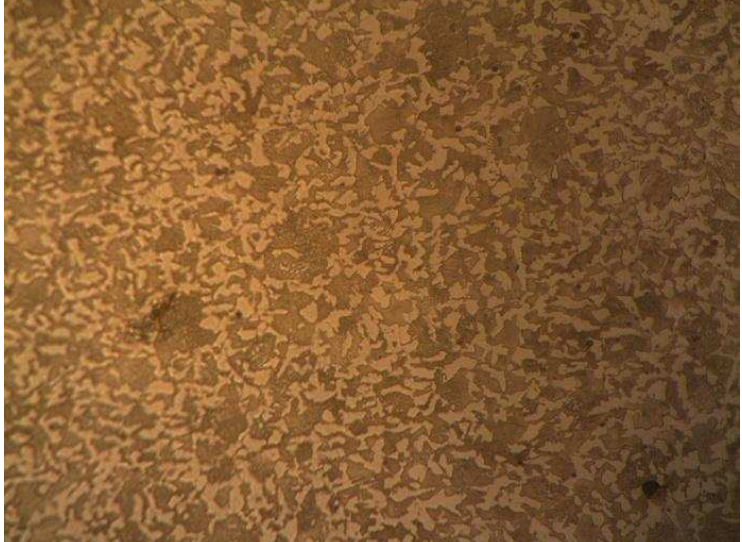
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
BT		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
CT		100X: Acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.

Tabla 3.27.- Continuación


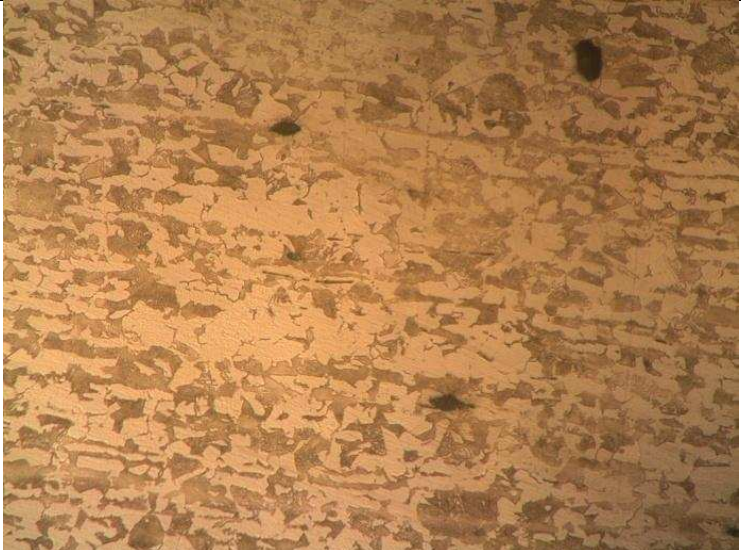
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
CL		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observan zonas donde la ferrita está alineada en dirección de la laminación.</p>

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
DL		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
DT		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica</p>

Tabla 3.27.- Continuación


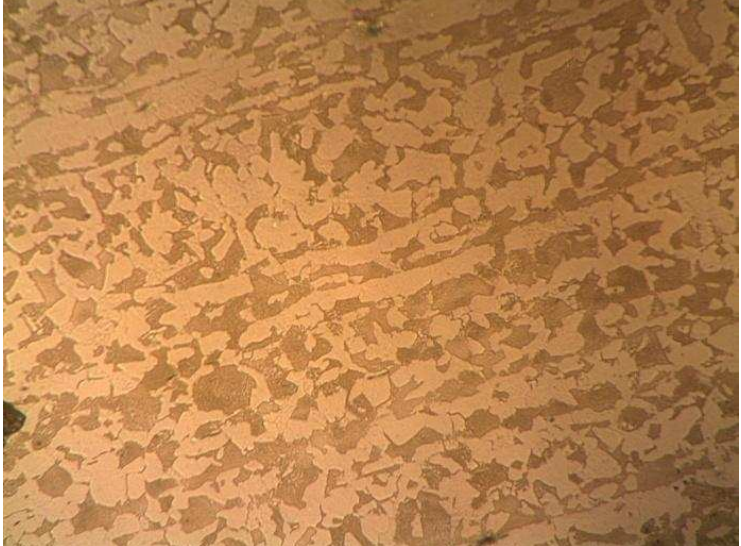
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
EL		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observan zonas donde la ferrita está alineada en dirección de la laminación.</p>

Tabla 3.27.- Continuación


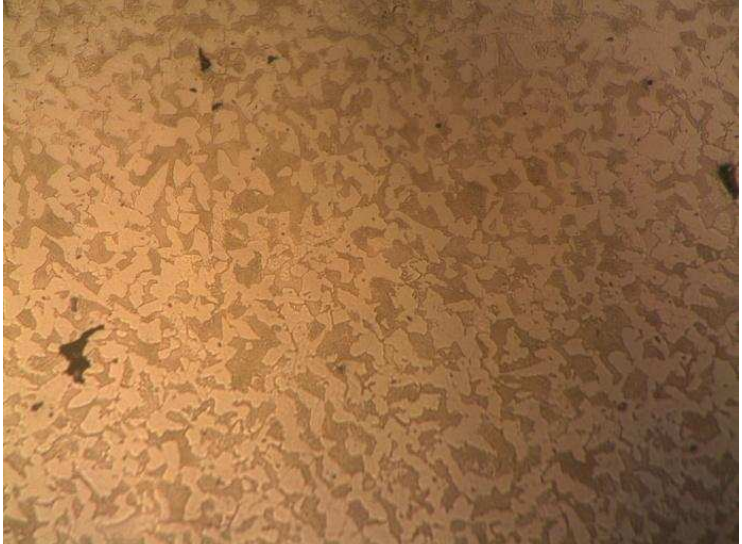
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
ET		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.</p>

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
FL		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular.</p>

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
FT		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular.

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
GL		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C...</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.</p>

Tabla 3.27.- Continuación


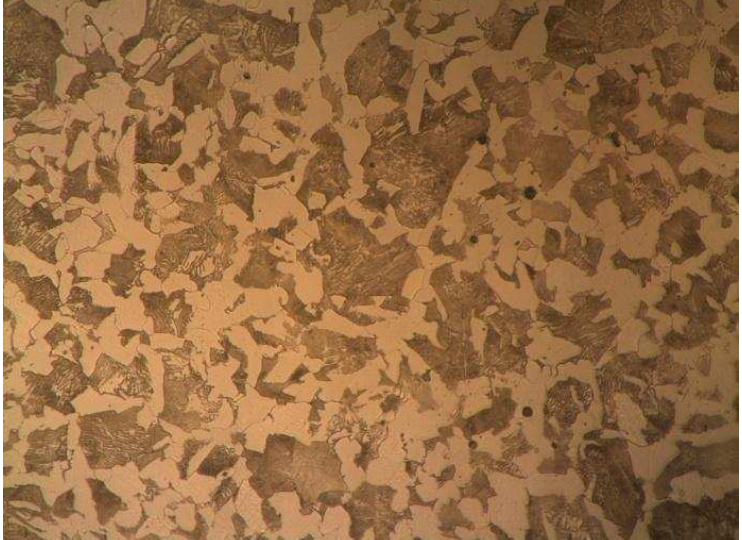
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
GT		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica.

Tabla 3.27.- Continuación



MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
HL		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular

Tabla 3.27.- Continuación


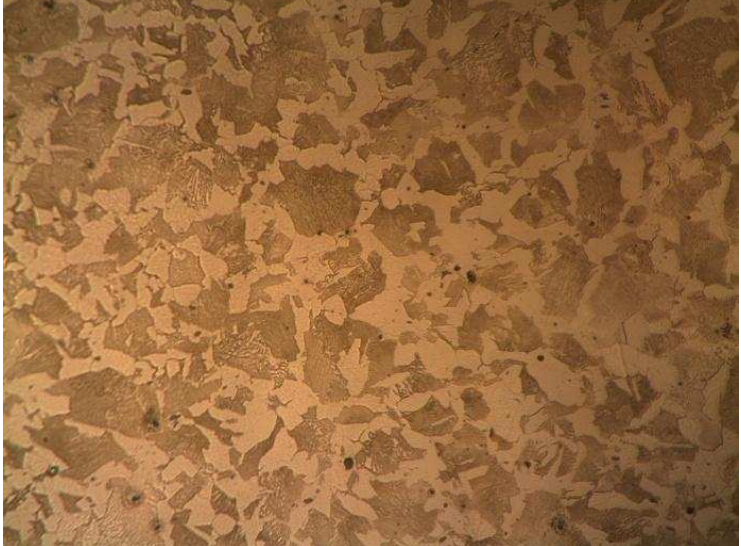
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
HT		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular</p>

Tabla 3.27.- Continuación

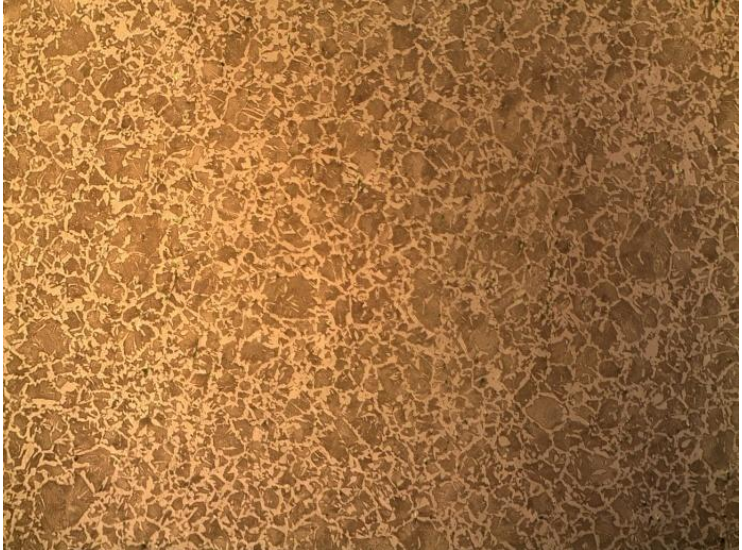

MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
IL		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular.

Tabla 3.27.- Continuación

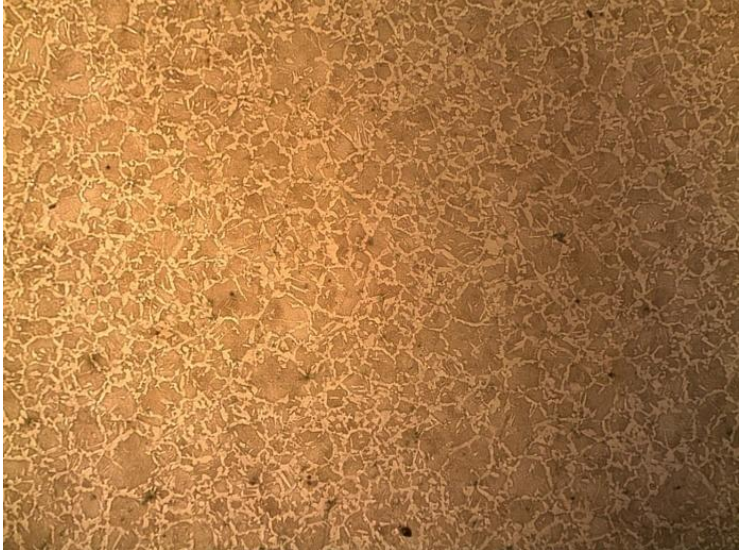
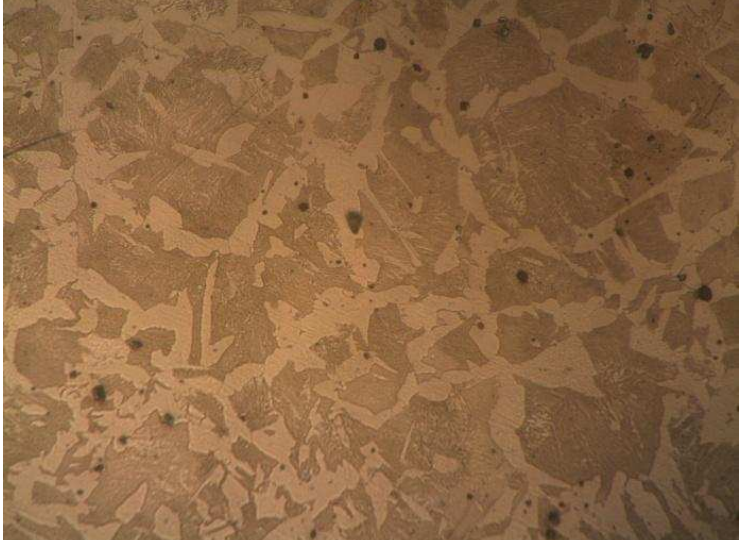
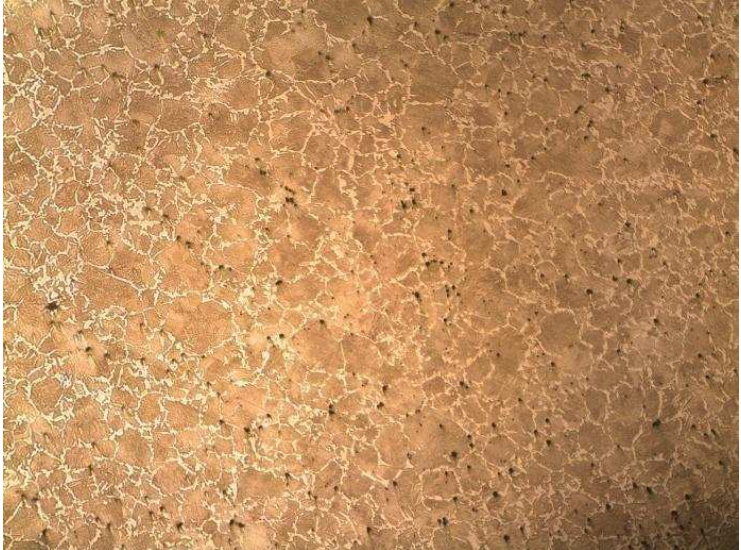
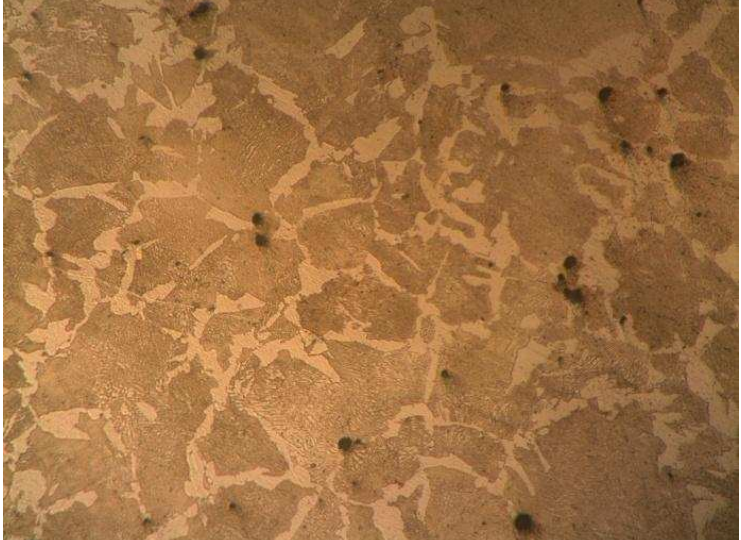
MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
IT		100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.
		500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular.

Tabla 3.27.- Continuación

MUESTRA	FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
JT		<p>100X: Corresponde a un acero ferrítico-perlítico de contenido medio de Carbono, aproximadamente 0.4% de C.</p>
		<p>500X: Acero de matriz ferrítico-perlítica. Se observa la presencia de ferrita acicular.</p>

3.8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Como se observa en la tabla 3.24, las inclusiones en la sección transversal de las varillas corrugadas son de tipo silicato, al igual que la tabla 3.25, donde se muestran las inclusiones en la sección longitudinal. Las inclusiones son de tipo silicatos por defecto de fabricación las cuales indican que el material se comporta como un concentrador de esfuerzos, lo que reduce la calidad del acero; estas inclusiones en algunas probetas son muy grandes por lo cual el material tienen fracturarse.
- En el corte longitudinal de la varilla corrugada se observan inclusiones de alargadas, mientras que el corte transversal las inclusiones son redondas y están distribuidas en la toda la muestra.
- Las inclusiones son consideradas en general dañinas para el control del proceso y para la calidad final del acero, también afectan adversamente a las propiedades de fatiga y a la resistencia de fractura.
- El tamaño de inclusiones está entre 19.5 a 104.07 μm
- En las tablas 3.27, se observa que la matriz es ferrítico – perlítico para todos los diámetros, aproximadamente 0.4% de C, laminado en caliente y terminado en frío.
- El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos, tratamientos térmicos y composición general. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales.

3.9 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de chispa. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3.28. Resultados del ensayo de Composición Química

METALES	Φ32mm	Φ25mm	Φ22mm	Φ20mm	Φ18mm
	%	%	%	%	%
Carbono (C)	0,426	0,457	0,432	0,419	0,403
Silicio (Si)	0,162	0,193	0,17	0,13	0,202
Manganeso (Mn)	0,756	1,102	0,725	0,682	0,745
Cromo (Cr)	0,056	0,081	0,083	0,077	0,095
Níquel (Ni)	0,089	< 0.005	0,131	0,079	0,096
Fósforo (P)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Azufre (S)	< 0.150	< 0.150	< 0.150	< 0.150	< 0.150
Cobre (Cu)	0,26	< 0.005	0,276	0,293	0,303
Aluminio (Al)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Molibdeno (Mo)	0,02	< 0.001	0,055	0,061	0,03
Titanio (Ti)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Vanadio (V)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Wolfranio (W)	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Boro (B)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Según la norma INEN 2 167:98 para varilla con resaltes de acero al carbono laminadas en caliente para hormigón armado. Establece que los porcentajes de los principales elementos a ser cumplidos deben ser de:

Tabla 3.29.- Composición Química según la norma INEN 2 167:98

METALES	max %
Carbono (C)	0,33
Silicio (Si)	0,55
Manganeso (Mn)	1,56
Fósforo (P)	0,043
Azufre (S)	0,053

3.9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Como se puede observar el Carbono, como principal compuesto del acero sobrepasa los valores máximos establecidos por la norma INEN. Obteniendo 0,43% cuando el valor máximo es de 0,33%. Este aspecto debe ser manejado con mucho cuidado debido a que porcentajes mayores de este elemento producen un material más frágil y con mayor dureza.
- Los resultados indican que el Azufre se presenta en cantidades $< 0,15\%$, cuando lo establecido en la norma INEN es de 0,053%. El azufre se considera como un elemento perjudicial en las aleaciones de acero, una impureza. Los aceros altos en azufre son difíciles de soldar pueden causar porosidad en las soldaduras. A pesar de que el azufre mejora la maquinabilidad no es muy recomendable.
- El análisis de composición química es de gran importancia puesto que los porcentajes obtenidos de los distintos elementos que intervienen en la formación del acero son de gran influencia en el comportamiento y propiedades de este material.
- Los elementos porcentajes del resto de elementos, Silicio, Manganeso y Azufre cumplen con las cuantías indicadas en la norma INEN.

CÁPITULO 4

CONCLUSIONES

4.1 CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.

Una vez realizados los ensayos para que el control de calidad sea estricto de la varilla GERZAU AZA, comercializada en el Ecuador, por la Empresa UNIFER S.A. se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ❖ El presente proyecto permite comprobar, mediante el uso de técnicas ya establecidas en la bibliografía correspondiente, que se pueden realizar ensayos sobre el acero de construcción, para mejorar las propiedades mecánicas de los mismos y así entregar al consumidor un producto de calidad, eficiencia y confiabilidad.
- ❖ Los resultados que se refieren a las características de los aceros y las conclusiones que aquí se presentan, tienen como objetivo aportar en algo al mejoramiento de la calidad de construcción, mediante la exigencia y cumplimiento de las normas, tanto ecuatorianas como internacionales con el propósito de obtener un acero de refuerzo eficiente para el hormigón armado.
- ❖ Se trató de realizar los ensayos siguiendo las especificaciones técnicas indicadas en las distintas normas; pero cabe recalcar que debido a la falta de equipos en los laboratorios que facilitaron su ayuda, se tuvo que acoplar éstos, a los recursos disponibles.

- ❖ De acuerdo al análisis de resultados obtenidos en el capítulo anterior, se debe recomendar a la Empresa Gerdau AZA que los valores de resistencia a la fluencia y a la rotura, pese a que está dentro del rango de valores permitidos, se debería revisar ya que se encuentran en los límites inferiores de aceptación.
- ❖ Con respecto a la composición química del acero, también es importante que la Empresa Gerdau AZA fabricante de las barras corrugadas, respete los porcentajes de cada elemento que conforman el acero y las normas establecidas INEN, ya que de esta composición depende todas las propiedades del acero de refuerzo para hormigón armado. Esto tiene gran influencia sobre todo en la soldabilidad de las varillas, en la dureza, la fragilidad y la ductilidad del material.
- ❖ Siendo el ensayo a tracción uno de los más relevantes e influyentes en el cálculo estructural se puede decir que las varillas están dentro de los límites permitidos para los esfuerzos de rotura y de mejor manera para los esfuerzos de fluencia.
- ❖ La soldadura para aceros de alta resistencia se debe realizar con electrodos tipo E9018, pero debido a que este requiere un equipo especial, se procedió a soldar con electrodos de uso común en la construcción, es por esto que los resultados no garantizan su total efectividad.
- ❖ Para que el proceso de soldadura sea eficiente es necesario que la penetración del electrodo sea completa, además debe existir continuidad del cordón para que no se presenten porosidades.

- ❖ En el ensayo de composición química los elementos que sobrepasaron los límites máximos para barras de acero corrugado son el Carbono y el Azufre, el primero con 0,43% cuando lo establecido es de 0,33%. El exceso de este elemento eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad.
Así mismo el Azufre se presentó en cantidades $< 0,15\%$, cuando lo establecido es de 0,053%. Los aceros altos en azufre son difíciles de soldar pueden causar porosidad en las soldaduras.
Estas características presentes en las propiedades del acero debido al exceso de estos elementos son comprobadas en los otros ensayos realizados como tracción, impacto, soldadura.

- ❖ Los ensayos de mayor relevancia en el campo de Ingeniería Civil corresponden al de tracción y doblado, los otros ensayos fueron realizados con el fin de caracterizar el acero del cual están fabricadas las barras de Gerdau AZA para el uso y trabajabilidad en las diferentes construcciones.

- ❖ A través del ensayo metalográfico se pudo observar que la matriz de la que está formada el acero Gerdau AZA es ferrítico – perlítico para todos los diámetros y para su verificación se realizó una inspección visual del porcentaje de carbono obteniéndose aproximadamente 0.4%.

- ❖ Según la estimación obtenida en la inspección visual realizada en el ensayo de metalografía, se obtuvo un porcentaje equivalente de carbono del 0,4% corroborando con el resultado obtenido en el ensayo de la composición química donde se obtuvo el mismo porcentaje.

- ❖ Para barras de acero corrugado el ensayo a fatiga a ser ejecutado es el de ciclo corto; puesto que este asemeja el efecto causado durante un sismo, debido a la carencia de equipo capaz de realizar este, se procedió a realizar el especificado en la norma ASTM E466 y E468, estipulado para el acero, donde se analizó el acero como material y no así el comportamiento de ésta como barra.

- ❖ Para finalizar recomendamos que el control de calidad de las varillas sean realizadas a todas las empresas que fabrican este producto en el Ecuador, para que la competencia sea equitativa, y el consumidor se acerque a realizar la compra con la tranquilidad de adquirir un buen producto sea cual sea la marca.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda que en el proceso de fabricación se realice un control de los porcentajes de los elementos que conforman el acero, ya que en este estudio se presentaron irregularidades al no estar como especifica la norma INEN 102.

Las varillas no deben ser utilizadas en el campo de la construcción en temperaturas extremas; debido a que sufre esfuerzos por cambios bruscos de temperatura, debilitando el material.

Si las barras de acero van a ser soldadas, se recomienda utilizar el electrodo E9018, para obtener resultados satisfactorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NORMAS ASTM(American Association State Highway and Officials Standard), 2001
2. NORMAS INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización),1983
3. AWS,(Structural Welding Code – Reinforcing Steel), 2005
4. WESTERMAN, Geoff, Metalotécnica Fundamental, Editorial Reverteré, España, Barcelona, 1986.
5. 2. DUDLEY, Darley, Handbook of practical gear design, CRC Press, Boca Ratón, Florida, EEUU, 2000.
6. MOSER, A. P., Buried Pipe Design, 3era. Edición, Mc Graw Hill, EEUU, 2008.
7. AVNER, Sydney, Introducción a la metalurgia física, 2da. Edición, Mc Graw Hill, EEUU, 1981.
8. SHIGLEY, Josep, Standard Handbook of machine design, EEUU, 1986.
9. ASKELAND, Donald, Ciencia e Ingeniería de los materiales, 5ta. Edición, Thompson, 2006.
10. MORRAL, F.R., Metalurgia general, Tomo II, Editorial Reverteré, Barcelona, España, 2004.
11. ASM Metals Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004
12. ASM Metals Handbook Vol. 4, Heat Treatment, ASM, 2004.
13. VIÁFARA, Cristian, Transformación bainítica en aleaciones Fe-C, Universidad EAFIT, Volumen 1, Medellín, Colombia, 1996.
14. ANOWAK, J.F., Development of a Ductile Iron for Commercial Austempering, Trans. Of American Foundrymens Society, 1983.
15. SMITH, W. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Mc Graw Hill. Tercera Edición. España. 1998.
16. CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES, Donald R. Askeland, Tercera edición, México, 1998.
17. MECHANICAL ENGINEERING HANDBOOK, Ed. Frank Kreith, 1999.
18. INTRODUCCION A LA METALURGIA FÍSICA, Sydney H. Avner, Segunda edición, USA 1988

GLOSARIO

Acero:

Aleación a base de hierro que contienen carbono y otros elementos.

Acero de herramientas:

Acero con altas temperaturas de revenido con carbón 1 / 2% a 1-1/2%, significativo (75%) el contenido de la aleación y por lo general contienen carburo de estabilizadores como el cromo, manganeso, molibdeno, vanadio y el tungsteno.

Acero inoxidable:

El acero de alta aleación, diseñadas para la resistencia a la corrosión y / o la oxidación, que contienen altos porcentajes de cromo (> 4%).

Aleación:

Mezcla que tiene propiedades metálicas y se compone de dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es un metal.

Aleación de acero:

Acero que contiene uno o más elementos de aleación. Acero. El acero es clasificado como de aleación cuando el contenido máximo de elementos de aleación exceda uno o más de los siguientes: 1,65% de manganeso, silicio 0.60%, 0.60% de cobre.

Austenita:

Estado sólido de alta temperatura del acero con apariencia centrada en la estructura cristalina cúbica.

Colada:

Permite pasar directamente del acero líquido a un semiproducto transformable posteriormente por laminación.

Corte:

Una máquina para el corte de productos siderúrgicos.

Cristal:

Sólidos físicamente uniforme compuesto de átomos unidos entre sí en un patrón definido o una estructura geométrica.

Ductilidad:

Capacidad de sufrir cambios de forma permanente sin romperse.

Dureza:

Resistencia a la penetración.

Deformación elástica:

Distorsión temporal de un material bajo la acción de los esfuerzos aplicados.

Deformación plástica:

Distorsión permanente de un material bajo la acción de los esfuerzos aplicados.

Dureza:

Capacidad de absorber la energía del impacto.

Dureza Rockwell:

Una prueba de dureza con el objetivo de obtener las medidas de dureza por determinar, bajo carga, la profundidad de penetración de un penetrador, como una bola de acero.

Electrodo:

Barra de carbono (grafito) que lleva la electricidad para fundir la partes de acero.

Elementos de aleación:

Los elementos químicos añadidos para la mejora de las propiedades de los productos acabados. Los elementos químicos son añadidos para la mejora de las propiedades de los productos acabados. Algunos elementos de aleación son níquel, cromo, manganeso, molibdeno y silicio.

Endotérmica:

Un cambio químico en el que no hay absorción de calor.

Escorias:

Una corteza formada en la parte superior de acero fundido que principalmente actúa como un aislante.

Exotérmica:

Un cambio químico en el que hay liberación de calor.

Fatiga:

Falla de metal debido a repetidas cíclicas constantes.

Forja:

La formación de metal caliente en la forma deseada por medio de golpes o presión...

Grado:

Clasificación de acero basado en el contenido de carbono o las propiedades mecánicas.

Grano:

Disposición ordenada de átomos o en forma de estructura cristalina.

Hierro:

Metal puro que sirve de base para el acero, hierro fundido y acero inoxidable.

Inclusión:

Partículas de impurezas no metálicas que se presentan en el acero durante la solidificación, por lo general los óxidos, sulfuros y silicatos.

Laminado en frío:

Laminado o estirado productos semiacabados de acero para proporcionar mayores propiedades físicas o mejor superficies que pueden ser producidos por trabajo en caliente.

Lingote:

De acero, anteriormente en un estado fundido, se transfirieron a un molde de lingote se solidifique.

Martensita:

Nombre que recibe la fase cristalina BCT, en aleaciones ferrosas. Dicha fase se genera a partir de una transformación de fases sin difusión, a una velocidad que es muy cercana a la velocidad del sonido en el material.

Microestructura:

Estructura microscópica de acero. Bajo el microscopio, algunos elementos del metal solidificado son visibles (estructura cristalina).

Módulo de Elasticidad:

Una medición de la tensión-deformación por unidad, una indicación de la resistencia del acero a la deformación dentro de su límite elástico.

Oxidación:

Proceso en el cual el carbono se combina con el oxígeno para formar óxidos.

Recocido:

Un proceso que incluye el calentamiento y enfriamiento, por lo general se aplica a inducir ablandamiento del acero. Un proceso que incluye el calentamiento y enfriamiento. El término también se refiere a los tratamientos destinados a alterar las propiedades mecánicas o físicas, producir una microestructura definida y eliminar gases o vacíos.

Resistencia:

Capacidad de resistir a las fuerzas aplicadas.

Revenido:

Proceso de recalentamiento de acero endurecido o apagar-normalizada a una temperatura por debajo del rango de transformación, a continuación, de refrigeración, en todo caso deseado.

Resistencia a la tracción:

Medición de la carga máxima por unidad de superficie original que un acero tiene antes de la fractura.

Temple:

El proceso de enfriamiento rápido de los de acero a partir de una temperatura por encima de la temperatura crítica.

ANEXOS

ANEXO A : RECOPIACIÓN DE INFORMES



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PROBETA No.	CARGA FLUENCIA kg.	CARGA MAXIMA kg.	ESFUERZO FLUENCIA Kg/cm2	ESFUERZO MAXIMO Kg/cm2	ELONG. %
1	41690.00	60070.00	5183.73	7469.09	21.62
2	41530.00	59850.00	5163.83	7441.74	24.32
3	41610.00	59960.00	5173.78	7455.41	24.32
4	26010.00	36470.00	5298.71	7429.61	21.26
5	25890.00	36850.00	5274.27	7507.02	27.98
6	25950.00	36660.00	5286.49	7468.31	27.98
7	19680.00	28360.00	5177.14	7460.55	22.54
8	12440.00	20970.00	3272.54	5516.49	20.00
9	16060.00	24665.00	4224.84	6488.52	20.00
10	14680.00	21820.00	4672.79	6945.52	24.00
11	15320.00	21960.00	4876.51	6990.09	27.58
12	15000.00	21890.00	4774.65	6967.80	20.92
13	11700.00	17400.00	5819.10	8654.05	22.58
14	3580.00	9410.00	1780.55	4680.15	20.48
15	7640.00	13405.00	3799.82	6667.10	20.48
16	9742.00	13717.00	4845.27	6822.28	22.58
17	9721.00	13749.00	4834.83	6838.19	20.48
18	9731.50	13733.00	4840.05	6830.23	20.48
19	7927.00	10770.00	5149.47	6996.32	18.42
20	7924.00	10807.00	5147.53	7020.36	16.20
21	7925.50	10788.50	5148.50	7008.34	16.20
22	5397.00	7959.00	4772.00	7037.30	23.00
23	5492.00	7779.00	4855.99	6878.15	22.00
24	5444.50	7869.00	4813.99	6957.72	22.00
25	3801.00	5663.00	4839.58	7210.36	20.00
26	3830.00	5657.00	4876.51	7202.72	27.00
27	3815.50	5660.00	4858.05	7206.54	27.00
28	2261.00	3516.00	4498.12	6994.86	15.00
29	2260.00	3456.00	4496.13	6875.49	16.00
30	2260.00	3456.00	4496.13	6875.49	16.00

OBSERVACION:

ING. CESAR MONROY B.
JEFE DE LABORATORIO

Laboratorio calificado por el INEN y miembro
del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCION DE ACERO

INFORME

01 de 1

FECHA: 17 DE ENERO DE 2011
SOLICITADO: TESIS DE GRADO
PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD
NORMA: INEN 109 - ASTM A 615
FECHA ENSAYO: 17 DE ENERO DE 2011
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
MUESTRA: VARILLA CORRUGADA DE ACERO

TEMPERATURA AMBIENTE: 17 grados C

PROBETA No.	IDENTIFICACION	DIAMETRO NOMINAL mm	AREA SECCION cm2	LONGITUD CALIBR. mm	LONGITUD FINAL mm
1	UNIFER	32.00	8.04	50.00	60.81
2	UNIFER	32.00	8.04	50.00	62.16
3	UNIFER	32.00	8.04	50.00	62.16
4	UNIFER	25.00	4.91	50.00	60.63
5	UNIFER	25.00	4.91	50.00	63.99
6	UNIFER	25.00	4.91	50.00	63.99
7	UNIFER	22.00	3.80	50.00	61.27
8	UNIFER	22.00	3.80	50.00	60.00
9	UNIFER	22.00	3.80	50.00	60.00
10	UNIFER	20.00	3.14	50.00	62.00
11	UNIFER	20.00	3.14	50.00	63.79
12	UNIFER	20.00	3.14	50.00	60.46
13	UNIFER	18.00	2.54	50.00	60.94
14	UNIFER	18.00	2.54	50.00	60.46
15	UNIFER	18.00	2.54	50.00	60.46
16	UNIFER	16.00	2.01	50.00	61.29
17	UNIFER	16.00	2.01	50.00	60.24
18	UNIFER	16.00	2.01	50.00	60.24
19	UNIFER	14.00	1.54	50.00	59.21
20	UNIFER	14.00	1.54	50.00	58.10
21	UNIFER	14.00	1.54	50.00	58.10
22	UNIFER	12.00	1.13	50.00	61.50
23	UNIFER	12.00	1.13	50.00	61.00
24	UNIFER	12.00	1.13	50.00	61.00
25	UNIFER	10.00	0.79	50.00	60.00
26	UNIFER	10.00	0.79	50.00	63.50
27	UNIFER	10.00	0.79	50.00	63.50
28	UNIFER	8.00	0.50	50.00	57.50
29	UNIFER	8.00	0.50	50.00	58.00
30	UNIFER	8.00	0.50	50.00	58.00

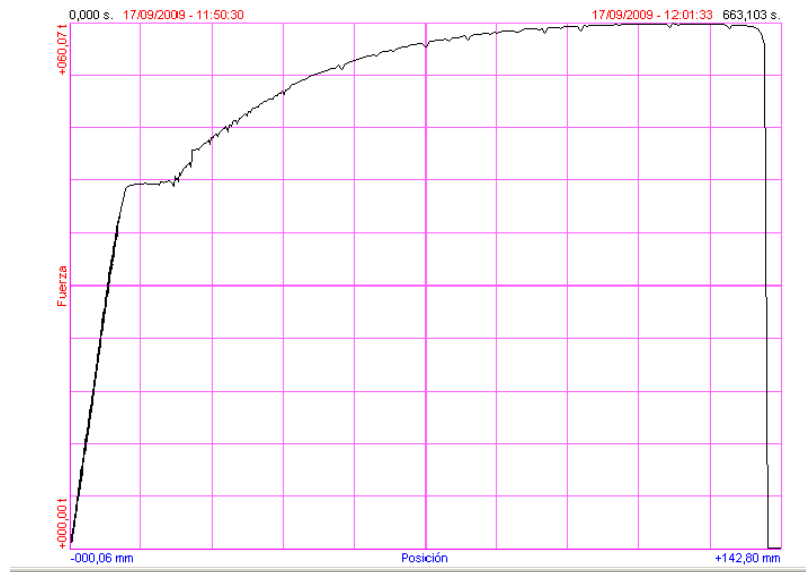
4

ENSAYO DE TRACCIÓN GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 32.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 32.2
Representación: X-Y de un canal contra otro

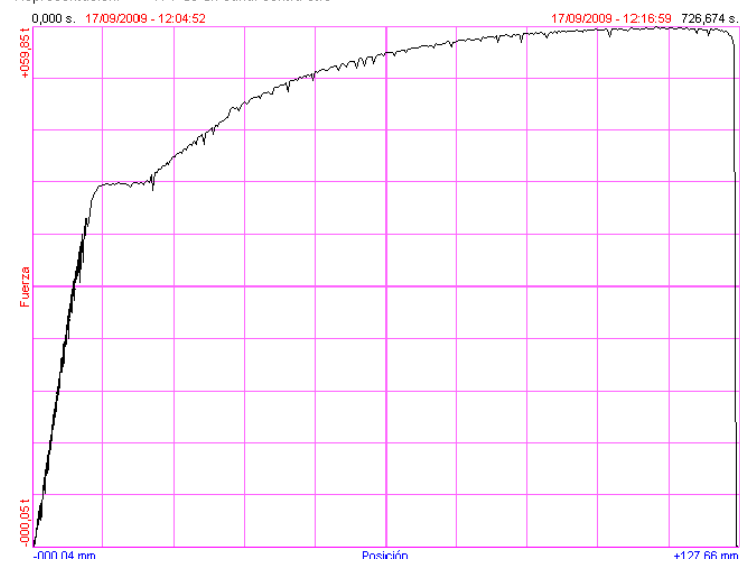
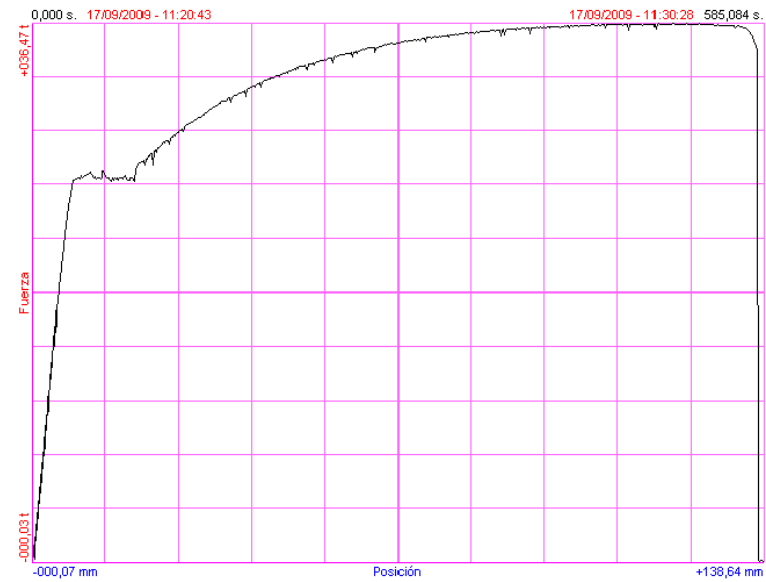


GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 25.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 25.2
Representación: X-Y de un canal contra otro

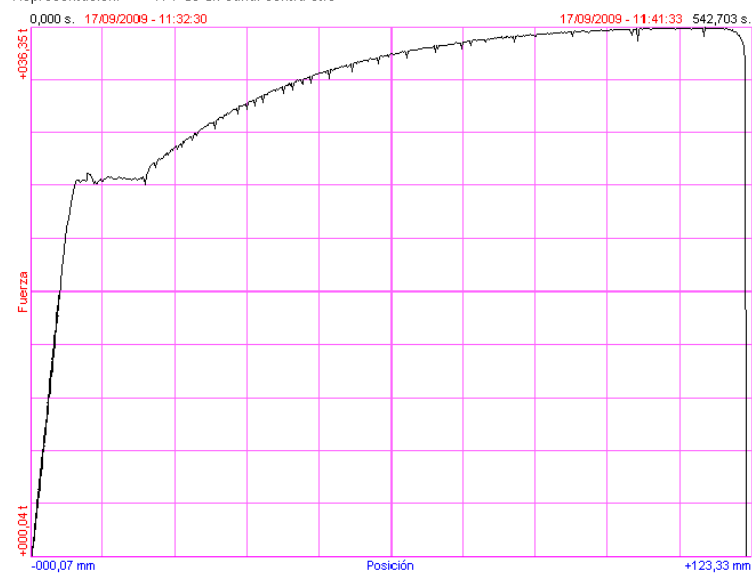


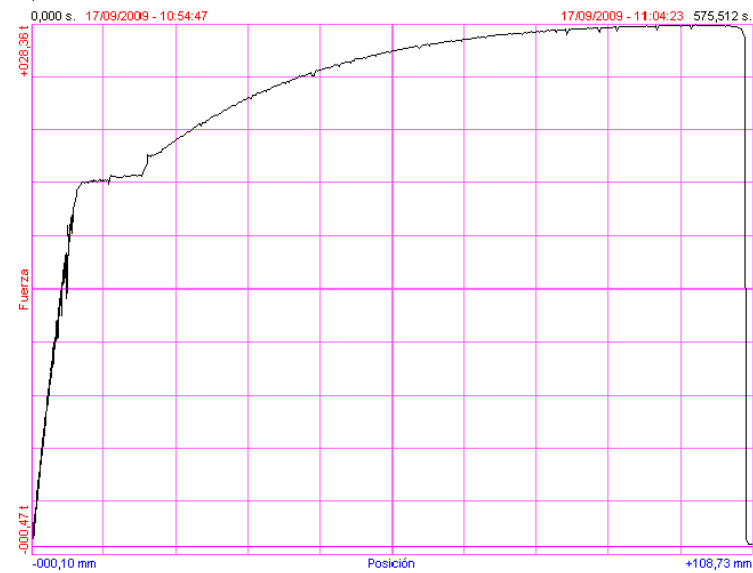
GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 22.1

Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 22.2

Representación: X-Y de un canal contra otro

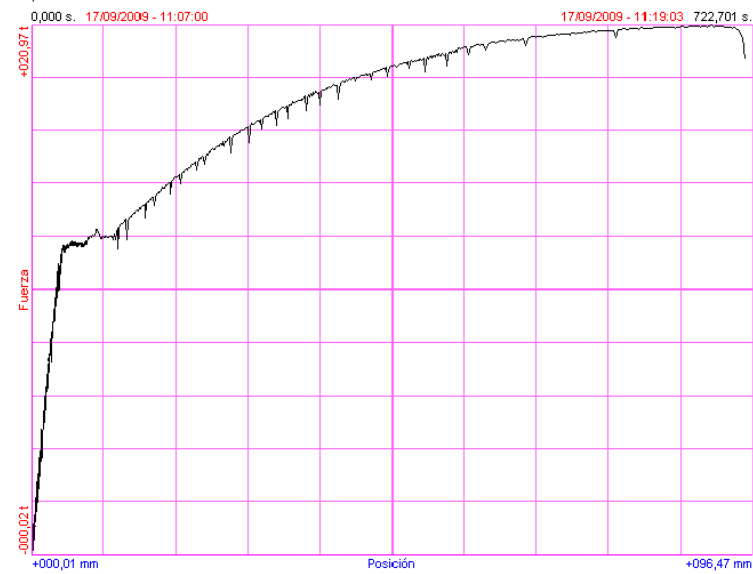
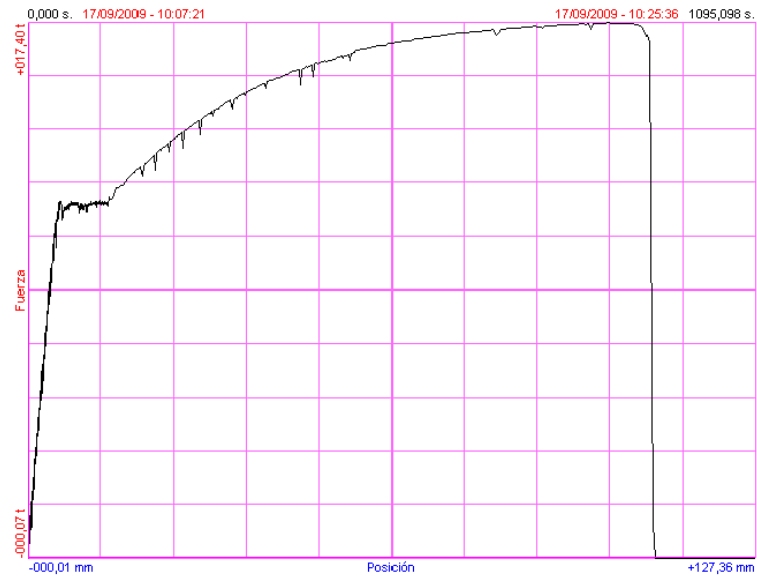


GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 18.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: 18.2
Representación: X-Y de un canal contra otro

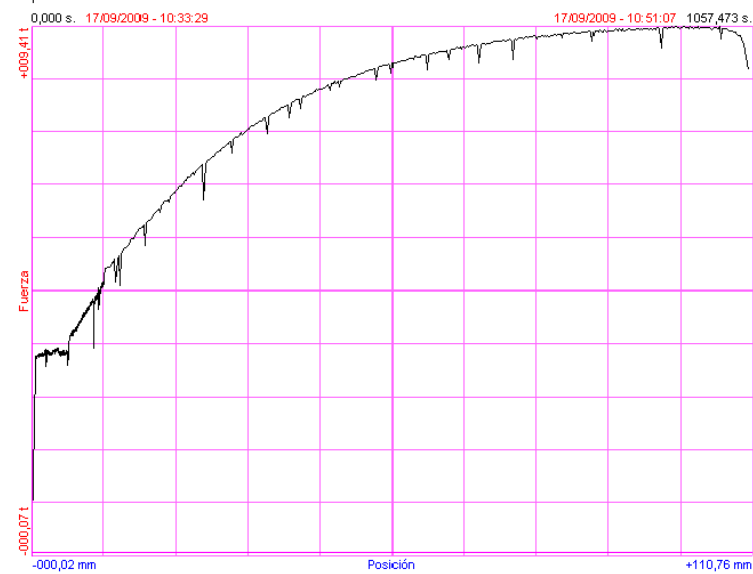
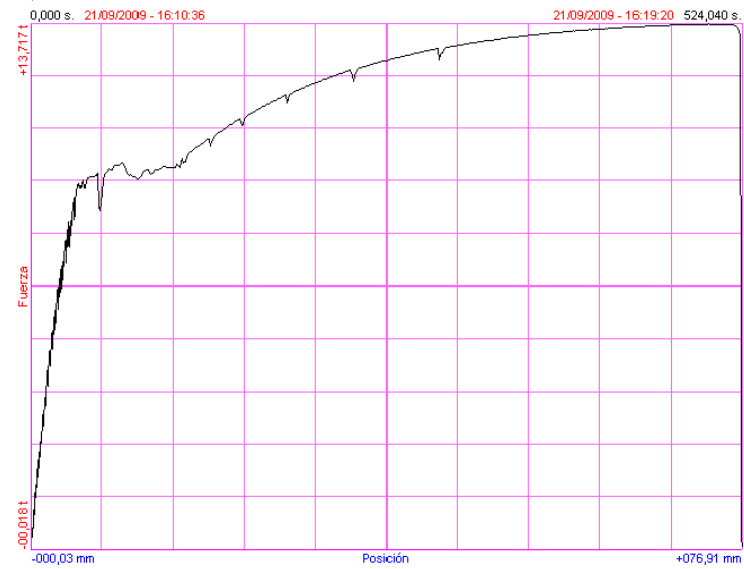


GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 16.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 16.2
Representación: X-Y de un canal contra otro

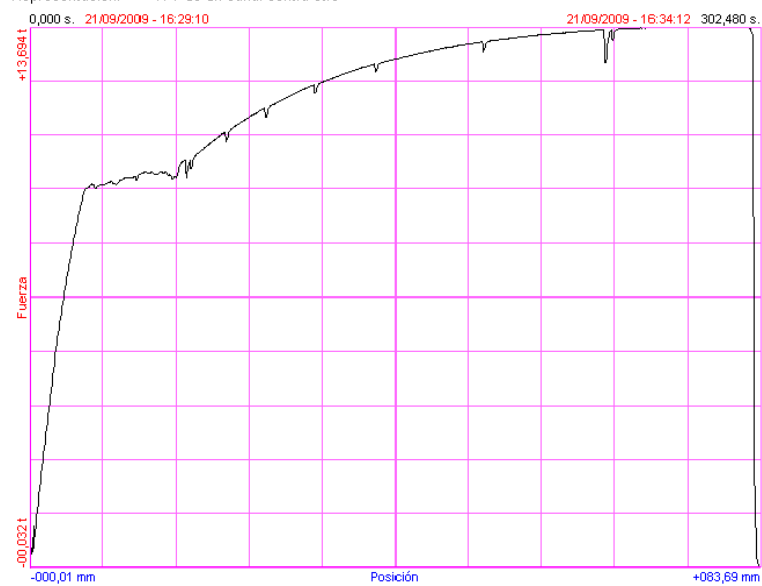


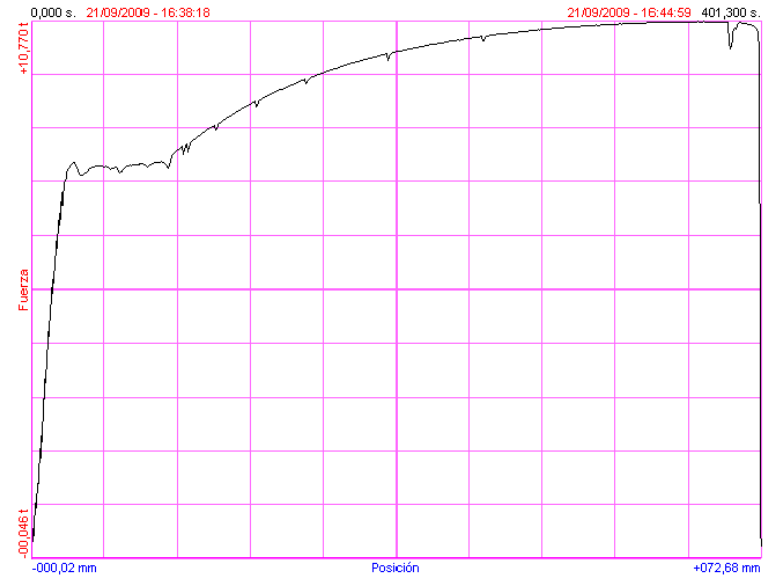
GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 14.1

Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 14.2

Representación: X-Y de un canal contra otro

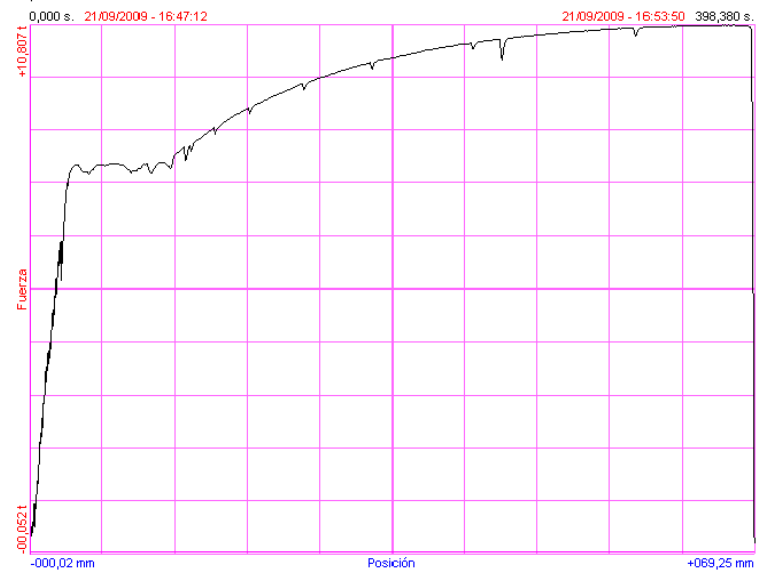


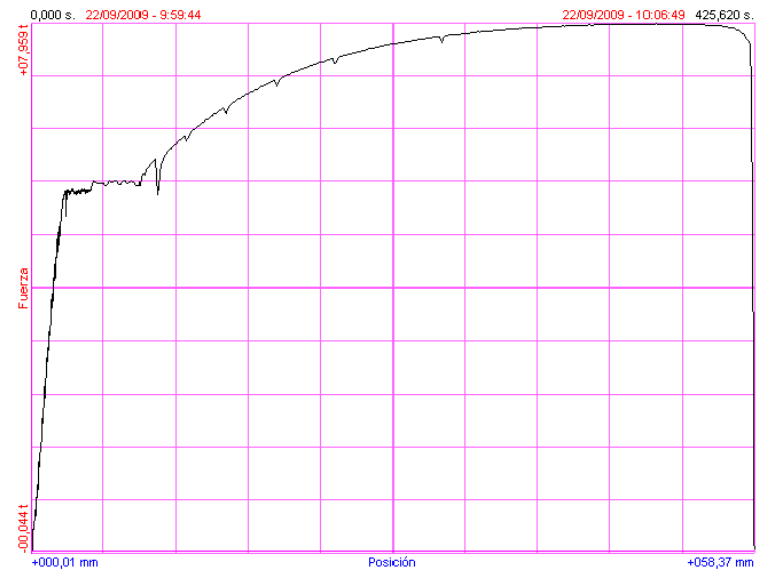
GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 12.1

Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 12.2

Representación: X-Y de un canal contra otro

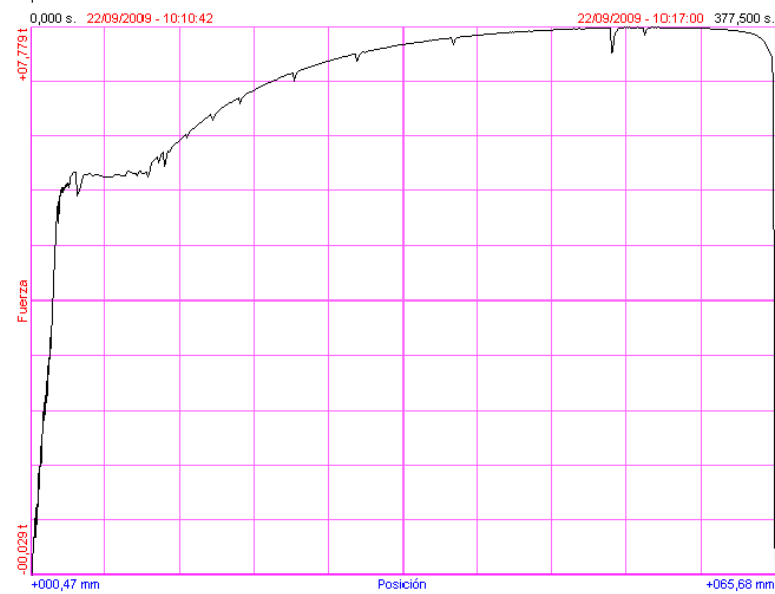
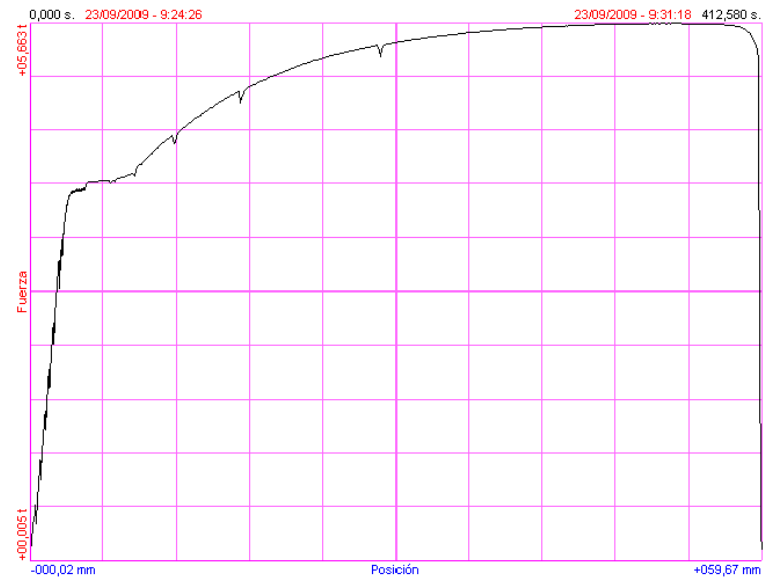


GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 10.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 10.2
Representación: X-Y de un canal contra otro

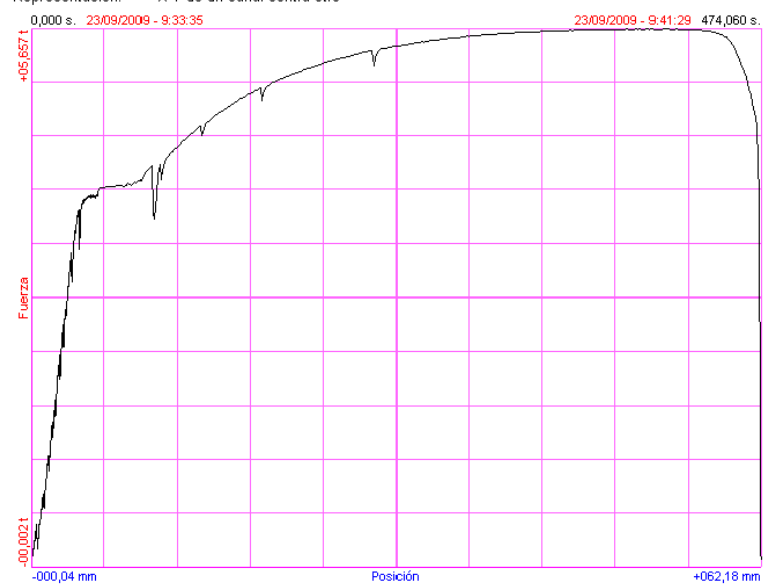
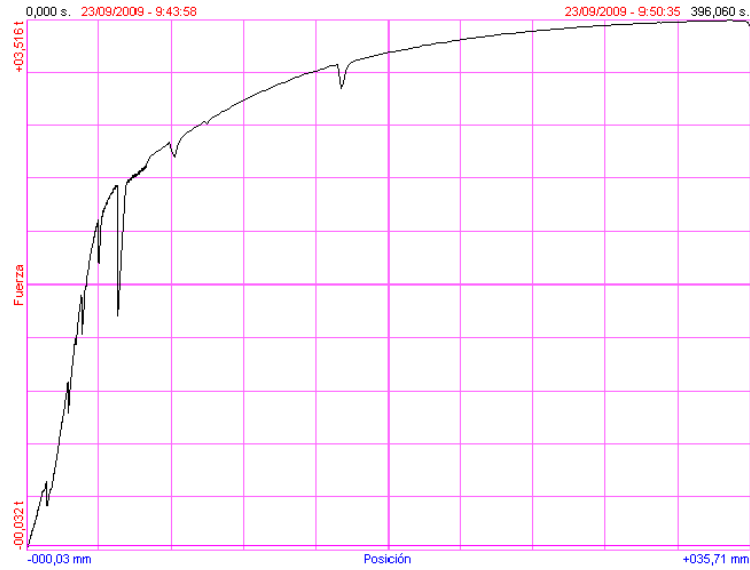


GRÁFICO CARGA DEFORMACIÓN

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

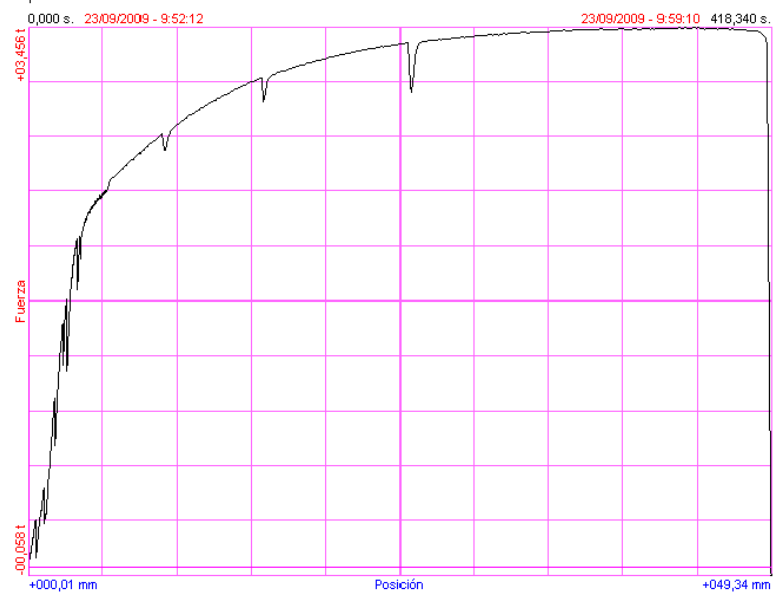
Nombre de archivo: 8.1
Representación: X-Y de un canal contra otro



Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 50,000 t Posición: 180,00 mm

Nombre de archivo: 8.2
Representación: X-Y de un canal contra otro





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

En las tablas #1 y #2 se presentan los resultados de los mapeos de dureza longitudinal y transversal respectivamente, los cuales fueron obtenidos al realizar los ensayos correspondientes en las muestras de varillas corrugadas.

Tabla #1. Mapeo de dureza longitudinal (Escala Rockwell B)

D = 32 mm	D = 25 mm	D = 22 mm	D = 20 mm	D = 16 mm	D = 14 mm	D = 12 mm	D = 10 mm	D = 8 mm
98	97	89	89	86	89	91	92	90
99	98	92	91	89	89	90	90	89
98	93	90	91	89	88	90	91	88
100	98	89	90	89	89	89	92	90
97	95	91	91	89	90	91	92	88
99	96	89	92	92	90	90	90	90
95	92	90	92	91	88	90	92	91
98	96	90	91	89	89	90	91	89

Tabla #2. Mapeo de dureza transversal (Escala Rockwell B)

D = 32 mm	D = 25 mm	D = 22 mm	D = 20 mm	D = 16 mm	D = 14 mm	D = 12 mm	D = 10 mm	D = 8 mm
89	93	90	90	89	90	89	90	90
90	93	91	90	90	91	89	89	90
90	94	90	89	88	89	91	90	90
91	92	93	89	89	90	90	90	91
92	93	93	90	89	90	89	90	91
91	94	91	89	88	90	90	-	-
95	92	91	90	88	91	90	-	-
91	93	91	90	89	90	90	90	90


 Ing. Marcelo Salvador
 Laboratorio de Metalografía





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.18

Quito, 15 de septiembre de 2010

TRABAJO SOLICITADO POR: Juanita Villafuerte
Susana Sánchez

RESULTADOS

MUESTRA Se recibieron veinte (20) muestras de varilla de acero ASTM A42 corrugada marca GERDAU AZA para ensayos de doblado.

VH

1. ENSAYO DE DOBLADO BAJO NORMA NTE INEN 110 Y ASTM A706

Diámetro de varilla mm	Identificación	Observaciones
8	8A	No se observan fisuras
	8B	No se observan fisuras
10	10A	No se observan fisuras
	10B	No se observan fisuras
12	12A	No se observan fisuras
	12B	No se observan fisuras
14	14A	No se observan fisuras
	14B	No se observan fisuras
16	16A	No se observan fisuras
	16B	No se observan fisuras
18	18A	No se observan fisuras
	18B	No se observan fisuras
20	20A	No se observan fisuras
	20B	No se observan fisuras
22	22A	No se observan fisuras
	22B	No se observan fisuras
25	25A	No se observan fisuras
	25B	No se observan fisuras
32	32A	No se observan fisuras
	32B	No se observan fisuras



Victor Hugo Guerrero, Ph.D.

**JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Campus politécnico "J. Rubén Orellana R"

INFORME TÉCNICO

Quito, 29 de noviembre de 2010

TRABAJO SOLICITADO POR: Juanita Villafuerte

Susana Sánchez

Los resultados consignados en el presente informe corresponden a ensayos realizados en un solo tipo de acero de procedencia extranjera (Chilena-A42) entregados en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

1. MUESTRAS:

Se recibió muestras del material en 6 varillas de diferentes diámetros ($\phi 16$, $\phi 18$, $\phi 20$, $\phi 22$, $\phi 25$, $\phi 32$), para la construcción de las probetas, para el ensayo de fatiga de viga rotatoria, según norma ASTM E 466-E 468:

2. ENSAYO DE FATIGA SEGÚN NORMA ASTM E 466-E 468

El material ensayado es acero proveniente de las muestras recibidas. Se procedió a realizar el ensayo de fatiga con diferentes valores de carga para cada tipo de muestra. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla 1:

Probeta N°	Diámetro muestra (mm)	Carga [kg]	Ciclos [N]	Tiempo [min]	Sut (kpsi)	Observación
1	$\phi 16$	10	36086	20.37	68.3	Si falló
2	$\phi 18$	12	9876	5.4	68.3	Si falló
3	$\phi 20$	14	4500	2.29	68.3	Si falló
4	$\phi 22$	15	5800	2.58	68.3	Si falló
5	$\phi 25$	16	2962	1.44	68.3	Si falló
6	$\phi 32$	18	-	-	68.3	Falló por fluencia

Tabla 1: Datos de la prueba de Viga Rotatoria

Anexo: Gráfico Sf-N

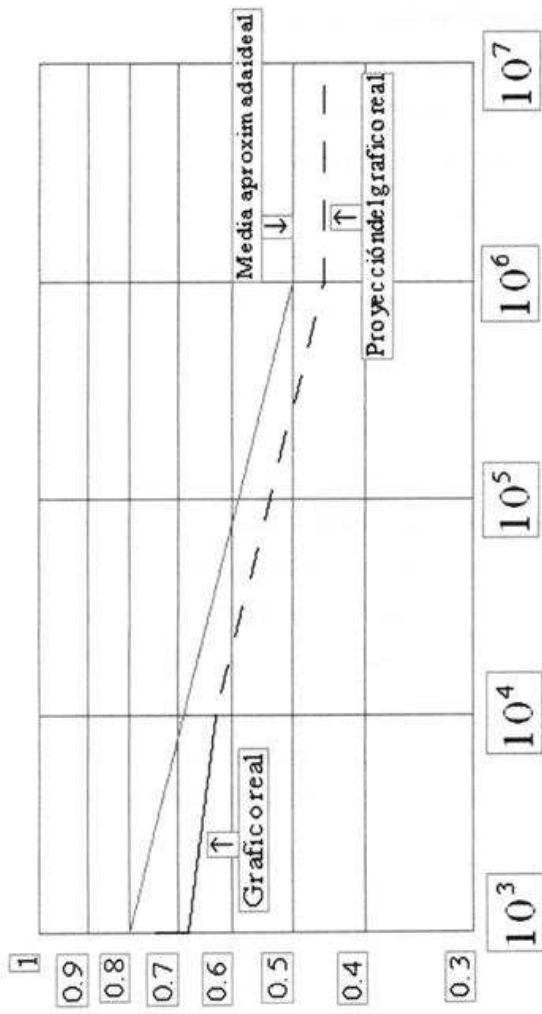


Figura 1: Representación de la gráfica $S_f - N$ normalizadas de vida rotatoria, tipo medio para el acero A42. Solo se indican los puntos más relevantes.



3. CONCLUSIONES

- Para realizar las pruebas de ensayo de fatiga de viga rotatoria, fue entregado por parte de las interesadas el dato de la resistencia a la tensión del material en cuestión, este valor varia de 4800 a 5000 kg/cm^2 , por seguridad se tomo el menor valor de resistencia que sea de 4800 kg/cm^2 para todo el procedimiento.
- Las probetas se ensayaron con cargas de 10, 12, 14, 15, 16 y 18kg, la probeta ensayada con la carga de 14kg (30.8lb) tuvo un defecto de montaje por lo que sus valores no son los reales, y por lo tanto no es tomado en cuenta en el grafico de la Figura 1, la probeta probada con la carga de 18kg (39.6lb) fallo por resistencia estática, por falla de fluencia, por lo que, no fue probada a fatiga y por consiguiente no es considerado dentro del grafico de la resistencia a la fatiga vs numero de ciclos. Las probetas restantes (probadas con cargas de 10, 12, 15 y 16kg), se probó satisfactoriamente a fatiga con viga rotatoria obteniéndose los datos que constan en la Tabla 1.
- De acuerdo al gráfico se puede observar que la línea de falla real se encuentra por debajo de la gráfica de la Media Aproximada Ideal, esto se debe a que se tomó el menor valor de S_{ut} (4800 kg/cm^2).
- Por lo tanto, se puede concluir, de acuerdo a las pruebas y al grafico (S_f vs N) observados que material tiene un comportamiento normal frente al fenómeno de la fatiga como se puede observar gráficamente.



Ing. Tito Velastegui

**JEFE DEL LABORATORIO DE
MÁQUINAS HERRAMIENTAS**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.18

Quito, 15 de septiembre de 2010

TRABAJO SOLICITADO POR: Juanita Villafuerte
Susana Sánchez

RESULTADOS

MUESTRA Se recibieron diez y seis (16) muestras de varilla de acero ASTM A42 corrugada marca GERDAU AZA para ensayos de corte.

VE

1. ENSAYO DE CORTE

Diámetro de varilla mm	Identificación	Corte simple	Corte doble
8	8A	5.250	11.500
	8B	6.000	12.975
10	10A	10.575	19.500
	10B	10.100	20.500
12	12A	12.300	26.000
	12B	13.000	27.200
14	14A	15.600	33.800
	14B	17.800	38.300
16	16A	22.400	46.900
	16B	23.700	45.500
18	18A	30.600	59.500
	18B	31.000	60.000
20	20A	33.900	68.800
	20B	35.000	72.000
22	22A	44.500	-
	22B	45.600	-

Los ensayos de corte doble para las varillas de 20 y 22 mm no pudieron ser efectuados debido a que la carga prevista sobrepasa la capacidad del equipo.



Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.

**JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – SEP.18

Quito, 15 de septiembre de 2010

TRABAJO SOLICITADO POR: Juanita Villafuerte
 Susana Sánchez

RESULTADOS

MUESTRA Se recibieron veinte y cuatro (24) probetas para ensayos de impacto, las cuales fueron extraídas de varillas de acero ASTM A42 corrugadas de varios diámetros marca GERDAU AZA.

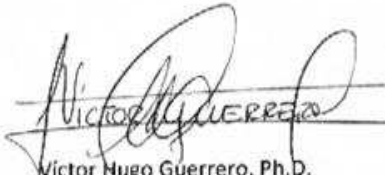
1. ENSAYO DE IMPACTO BAJO NORMA ASTM E23

Temperatura: -30°C		
Diámetro de la varilla de la cual se extrajo la probeta	Energía	
	J	ft-lbf
16	27	20
18	24	18
20	16	12
22	30	22
25	11	8
32	11	8

Temperatura: 17°C		
Diámetro de la varilla de la cual se extrajo la probeta	Energía	
	J	ft-lbf
16	68	50
18	30	22
20	19	14
22	24	18
25	22	16
32	22	16

Temperatura: 80°C		
Diámetro de la varilla de la cual se extrajo la probeta	Energía	
	J	ft-lbf
16	71	52
18	60	44
20	68	50
22	76	56
25	62	46
32	57	42

Temperatura: 240°C		
Diámetro de la varilla de la cual se extrajo la probeta	Energía	
	J	ft-lbf
16	68	50
18	54	40
20	65	48
22	33	24
25	68	50
32	57	42



Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.

**JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Materiales de Construcción

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE TRACCIÓN EN VARILLAS CORRUGADAS DE ACERO

PROYECTO: Control de Calidad **SOLICITA:** Susana Sánchez
LOCALIZACIÓN: **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Tomada por el cliente **CONTRATISTA:**
NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO: INEN 109:2008 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2011.01.31
FECHA DE EMISIÓN: 2011.02.02

RECEPCIÓN N°: 17380
HOJA: 2 de 2

Probeta N°	T3	T4	T5
Origen	Unifer	Unifer	Unifer
Identificación de la probeta	Tresapada
Fecha de ensayo	2011.02.01	2011.02.01	2011.02.01
Longitud (cm)	92,8	81,8	92,4
Masa (g)	3630	2787,7	2782,33
Relación masa longitud (kg/m)	3,804	3,429	3,011
Diámetro nominal (mm)	25,00	22,00	22,00
Diámetro medio promedio (mm)	26,31	23,98	23,95
Área (mm ²)	460,87	380,13	380,13
Carga máxima (kN)	259,89	187,71	244,19
Resistencia a la tracción (MPa)	529,4	493,8	642,4
Localización de la falla	Soldadura	Soldadura	Soldadura
Longitud de Soldadura	83,12

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


 Tigo Mauricie Edilén B.
 Responsable de Ensayos.




 Ing. Guillermo Realpe M. Sc.
 Director LMC.



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre.
 Laboratorio de Materiales de Construcción,
 LMC-PUCP@puce.edu.ec

Tel: 593 2998 529 Fax: 593 2998 624
 Facultad de Ingeniería Civil,
 Quito - Ecuador



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Materiales de Construcción

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE TRACCIÓN EN VARILLAS CORRUGADAS SOLDADAS DE ACERO

PROYECTO: Control de Calidad SOLICITA: Susana Sanchez
 LOCALIZACIÓN: FISCALIZACIÓN:
 MUESTRA: Tomada por el cliente CONTRATISTA:
 NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO: INEN 109:2009 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2011/01/31

FECHA DE EMISIÓN: 2011/02/02

RECEPCIÓN N° 17380
 HOJA: 1 de 2

Probeta N°	T1	T2
Origen	Unifer	Unifer
Identificación de la probeta	Trasapada
Fecha de ensayo	2011/02/01	2011/02/01
Longitud (cm)	96	92,9
Masa (gr)	6640	6670
Relación masa longitud (kg/m)	6,917	6,103
Diámetro nominal (mm)	32,00	32,00
Diámetro medido promedio (mm)	33,90	33,46
Área (mm ²)	804,26	804,25
Carga máxima (KN)	396,14	432,49
Resistencia a la tracción (MPa)	496,3	537,8
Localización de la falla	Soldadura	Soldadura
Longitud de soldadura (mm)	92

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


 Fgo. Mauricio Cortés B.
 Responsable de Ensayos.




 Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
 Director LMC.



Soldados en la construcción, excelencia en la calidad...

Ventanilla y Av. 12 de Octubre,
 Laboratorio de Materiales de Construcción,
 LMC-PUCE@puce.edu.ec

Tel.: 5932991 529 Fax: 5932991 624
 Facultad de Ingeniería Civil,
 Quito - Ecuador



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Materiales de Construcción

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE TRACCIÓN EN VARILLAS SOLDADAS DE ACERO

PROYECTO: Control de Calidad

LOCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el cliente

NORMA DE REFERENCIA: INEN 109:2008

NORMA DE ESPECIFICACIÓN: INEN 2167

RECEPCION N°: 17319

HOJA: 1 de 1

SOLICITA: Susana Sánchez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2011/01/17

FECHA DE EMISIÓN: 2011/01/19

Probeta N°	T1
Origen	Unifer
Identificación de la probeta
Fecha de ensayo	2011/01/18
Longitud (cm)	97,1
Masa (gr)	990
Relación masa-longitud (kg/m)	6,138
Diámetro nominal (mm)	32,00
Área (mm ²)	904,26
Carga máxima (kN)	384,4344
Resistencia a la tracción (MPa)	478
Localización de la falla	Soldadura

La tabla 4.1 de la norma INEN 2167, con relación a los valores de la masa por longitud para la determinación del diámetro nominal, establece:

Nominal	Masa/longitud (kg/m)		
	nominal	máxima	mínima
32	6,315	6,690	5,905

La Norma INEN 2167 para VARILLAS DE ACERO L SAS O CON RESALTES PARA FORJADO establece en la tabla N° 2 de especificaciones mecánicas que:

Resistencia a la tracción, mínima (Mpa)	549
---	-----

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


 Ing. Mauricio Guillén B.
 Responsable de Ensayos.


 Ing. Susana Sánchez
 Responsable de Área
 DEL
 ECUADOR


 Ing. Guillermo Realpe M. Sc.
 Director LMC.



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre
 Laboratorio de Materiales de Construcción
 LMC-PUCE@puce.edu.ec

Tel: 5932991 529 Fax: 5932991 624
 Facultad de Ingeniería Civil
 Quito - Ecuador



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Ing. Monroy
No. Referencia : RM-6233
Fecha : 17-12-2010
Muestras recibidas : 32, 25, 22, 20, 18, mm

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo QTTASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	32 mm (%)	25 mm (%)	22 mm (%)	20 mm (%)	18 mm (%)
Carbono (C)	0.426	0.457	0.437	0.419	0.403
Silicio (Si)	0.162	0.193	0.170	0.130	0.202
Manganeso (Mn)	0.756	1.102	0.725	0.682	0.745
Cromo (Cr)	0.056	0.081	0.083	0.077	0.095
Níquel (Ni)	0.089	<0.005	0.131	0.079	0.096
Fósforo (P)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Azufre (S)	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150	<0.150
Cobre (Cu)	0.260	<0.005	0.276	0.293	0.307
Aluminio (Al)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Molibdeno (Mo)	0.020	<0.001	0.055	0.061	0.030
Titanio (Ti)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Vanadio (V)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Wolframio (W)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Boro (B)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Ernesto de la Torre
Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento

