



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos de temple a
1010°C y revenido a 370°C sobre la tenacidad de impacto del acero
inoxidable martensítico AISI – 420**

Daniel Álvarez
C.I.: 17.679.286

David Arias Velázquez
C.I.: 15.979.886

Tutora

Prof. Laura Sáenz

Valencia, Noviembre de 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos de temple a
1010°C y revenido a 370°C sobre la tenacidad de impacto del acero
inoxidable martensítico AISI – 420**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**Daniel Álvarez
C.I.: 17.679.286**

**David Arias Velázquez
C.I.: 15.979.886**

Tutora

Prof. Laura Sáenz

Valencia, Noviembre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado **“Evaluación del efecto de los tratamientos térmicos de temple a 1010°C y revenido a 370°C sobre la tenacidad de impacto del acero inoxidable martensítico AISI-420”**, realizado por los bachilleres: David Andrés Arias Velázquez, C.I.: 15.979.886 y Daniel Vicente Álvarez, C.I.: 17.679.286, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Ing. Laura Sáenz

Tutora

Ing. Donato Romanello

Jurado

Ing. Sandra Cabello

Jurado

Valencia, Noviembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas por permitirnos tener una vida saludable, a la Universidad de Carabobo, en específico a la Facultad de Ingeniería por abrirnos las puertas y formar parte de esta casa de estudio, para prepararnos académicamente y ofrecer calidad de profesionales que generen soluciones eficientes y efectivas para el desarrollo del país.

A la Profesora Laura Sáenz por ayudarnos como guía y brindarnos sus conocimientos de manera desinteresada para fortalecer el siguiente trabajo de grado.

A la Técnico del Laboratorio de Materiales Yosmari Pérez, por ayudarnos y asesorarnos con el uso de los equipos para realizar los ensayos, es una persona muy eficiente, muchas gracias.

Yo David Arias Velázquez quiero agradecer el apoyo y la colaboración en todo momento desde el comienzo de mi carrera a mis padres, mi tío José Ramón por aconsejarme y ayudarme, a mi novia Patricia por su paciencia y toda su ayuda, en fin a todos mis familiares les doy las gracias.

Yo Daniel Álvarez quiero agradecer a mis padres por toda su ayuda y apoyo incondicional que en todo momento recibí de ellos.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera nos ayudaron para realizar y culminar el siguiente trabajo de grado, les damos las gracias.

David Arias Velázquez y Daniel Álvarez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Limitaciones.....	5
1.5 Delimitaciones.....	5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.2 ¿Qué es el acero?.....	7
2.3 Clasificación del acero.....	8
Aceros al carbono.....	8
Aceros aleados.....	8
2.4 Aceros inoxidable.....	9
2.5 Clasificación de los aceros inoxidable.....	10
2.5.1 Serie 400 Aceros Inoxidable Martensíticos.....	10
2.5.2 Serie 400 Aceros Inoxidable Ferríticos.....	11
2.5.3 Serie 300 Los Aceros Inoxidable Austeníticos.....	11
2.6 Algunos usos de los aceros inoxidable martensíticos AISI 420.....	12
2.7 Tratamientos térmicos.....	12
2.7.1 Clasificación de los tratamientos térmicos.....	13

2.7.2 Tratamiento térmico de Temple.....	13
2.7.3 Tratamiento térmico de Revenido.....	14
2.8 Tenacidad de fractura.....	16
2.9 Mecanismos de fractura.....	17
2.10 Efecto del Molibdeno en las propiedades mecánicas.....	18
2.11 Ensayo de tracción.....	19
2.12 Ensayo de resistencia al impacto.....	22
2.13 Ensayo de dureza.....	24
2.14 Metalografía.....	24
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO.....	27
3.1 Nivel de la investigación.....	27
3.2 Caracterización del material.....	27
3.3 Descripción de la metodología a seguir.....	29
3.3.1 Condición original.....	29
3.3.2 Tratamientos térmicos.....	30
3.3.3 Ensayos a realizar.....	32
✓ Ensayo de tracción.....	33
✓ Ensayo de resistencia al impacto.....	35
✓ Ensayo de dureza.....	37
✓ Metalografía.....	38
✓ Análisis por microscopía electrónica de barrido.....	39
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
4.1 Composición química del material.....	41
4.2 Ensayos de tracción.....	42
4.2.1 Condición original.....	42
4.2.2 Temple.....	43
4.2.3 Temple y revenido a 9 minutos.....	44
4.2.4 Temple y revenido a 12 minutos.....	45
4.2.5 Temple y revenido a 15 minutos.....	46

4.2.6 Propiedades obtenidas de los ensayos de tracción	47
4.3 Ensayo de impacto Charpy	50
4.4 Ensayo de dureza	52
4.5 Microscopía óptica.....	55
4.5.1 Condición original.....	55
4.5.2 Temple.....	56
4.5.3 Temple y revenido.....	57
4.6 Microscopía electrónica de barrido (M.E.B.).....	61
✓ Condición original.....	61
✓ Condición de temple	62
✓ Condición de temple y revenido a 9 minutos.....	63
✓ Condición de temple y revenido a 12 minutos.....	64
✓ Condición de temple y revenido a 15 minutos.....	65
CAPITULO V CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3.1 Composición química del acero según SUMINDU.....	27
Tabla 3.2 Composición química del acero según norma ASTM A-959-96.....	28
Tabla 3.3 Composición química del acero según la certificación de la U.C.V.....	28
Tabla 3.4 Numero de ensayos para cada condición a estudiar.....	32
Tabla 4.1. Comparación de la composición química del material.	41
Tabla 4.2. Propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos de tracción.	47
Tabla 4.3 Valores promedio de las propiedades mecánicas para cada condición.....	47
Tabla 4.4. Valores de la energía absorbida por impacto y de factor de intensidad de esfuerzo	50
Tabla 4.5. Valores de dureza para cada condición de estudio	52
Tabla 4.6. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición original.....	61
Tabla 4.7. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple.....	62
Tabla 4.8. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 9 minutos.	63
Tabla 4.9. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 12 minutos	64
Tabla 4.10. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 15 minutos	65

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 3.1 Curva esfuerzo vs. Deformación ingenieril	20
Figura 3.3. Péndulo de Charpy.....	23
Figura 3.1 Diagrama Cr-Fe.....	30
Figura 3.2 Condiciones de estudio de los tratamientos térmicos de temple y revenido.	31
Figura 3.3 Horno utilizado para realizar los tratamientos térmicos.....	32
Figura 3.4 Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción según la norma ASTM A-370.....	33
Figura 3.5 Maquina de ensayo de tracción.....	34
Figura 3.6 Dimensiones de las probetas del ensayo de impacto Charpy según norma ASTM E-23.....	35
Figura 3.7 Maquina de ensayo de impacto Charpy.....	36
Figura 3.8 Durometro para ensayos de dureza.....	37
Figura 3.9 Equipos para la preparación metalografica.....	38
Figura 3.10 Microscopio electrónico de barrido.....	40
Figura 4.1. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición original.....	42
Figura 4.2. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple	43
Figura 4.3. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 9 minutos	44
Figura 4.4. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 12 minutos	45
Figura 4.5. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 15 minutos	46
Figura 4.6. Variación de los esfuerzos de fluencia por cada condición.....	48
Figura 4.7. Variación de los esfuerzos últimos por cada condición.....	48
Figura 4.8. Variación de los porcentajes de elongación por cada condición.....	49

Figura 4.9. Variación de la energía absorbida por impacto y del factor de intensidad de esfuerzo para cada condición.	51
Figura 4.10. Variación de los valores promedio de dureza por cada condición	53
Figura 4.11. Microscopía de la condición original, (a) vista con aumento de 200X, con aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.....	55
Figura 4.12. Microscopía de la condición de temple a 1010°C, (a) vista con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.	56
Figura 4.13. Microscopía de la condición de temple y revenido a 9 minutos, (a) con un aumento de 400X y (b) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.....	57
Figura 4.14. Microscopía de la condición de temple y revenido a 12 minutos, (a) con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.	58
Figura 4.15. Microscopía de la condición de temple y revenido a 15 minutos, (a) con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.	59
Figura 4.16. Comparación macro y micro de las superficies de fractura para las probetas de charpy.....	66
Figura 4.17. Comparación macro-micro de las superficies de fractura para las probetas de tracción.....	67

RESUMEN

Los aceros inoxidable martensíticos (serie 400 según la norma AISI) son aleaciones de hierro-cromo con un contenido de cromo de 11 hasta 18%, se caracterizan por tener alta resistencia mecánica, dureza y moderada resistencia a la corrosión.

En el presente trabajo de grado se estudió el comportamiento mecánico del acero inoxidable martensítico AISI 420, orientado especialmente en la tenacidad de impacto. Inicialmente el material original se entrega en condición de recocido según el proveedor, bajo esta condición se prepara metalográficamente para determinar la microestructura que presenta. Una vez conocida su microestructura se sometió al material a los tratamientos térmicos de temple y revenido, el temple se realizó a la temperatura de 1010°C, para luego efectuar los revenidos a 370°C en tres tiempos de permanencia en el horno de 9, 12 y 15 minutos. En cada condición de estudio se caracterizaron las propiedades mecánicas del material, para luego evaluar el comportamiento de la tenacidad de impacto, además de conocer e identificar el mecanismo de fractura y la microscopía presente en cada una de las condiciones. Al realizar el tratamiento térmico de temple la resistencia mecánica disminuyó en un 76,5% con respecto a la condición original (690 MPa), lo que indica que es un comportamiento anormal y fuera de cualquier enfoque metalúrgico. Se determinó que el temple generó alta fragilidad del material medido por el ensayo de impacto charpy, por lo tanto no tiene capacidad de absorber energía por impacto y que con el tratamiento térmico de revenido a 12 minutos se obtuvo el mayor alivio de tensiones respecto al temple pero de igual manera no tiene capacidad de absorber impacto.. Las superficies de fractura de las probetas de la condición original revelaron un mecanismo de fractura dúctil mientras que las probetas tratadas térmicamente presentaron un mecanismo de fractura frágil.

INTRODUCCIÓN.

Actualmente existen muchos materiales metálicos que son utilizados para satisfacer las necesidades del hombre, a medida que pasa el tiempo es mayor la demanda de estos materiales y en específico del acero debido a que es un material muy versátil y que posee múltiples usos. Dentro del mundo del acero existe un tipo cuya historia es relativamente corta (a principios del siglo XX) y que está en desarrollo continuo, este es el acero inoxidable. Existen varios tipos, los austeníticos, ferríticos, martensíticos y los dúplex. Entre las aplicaciones de estos aceros se pueden mencionar la fabricación de instrumentos quirúrgicos, fabricación de cuchillería, discos de freno, fabricación de moldes.

Los aceros inoxidables martensíticos (serie 400 según la norma AISI) son aleaciones de hierro-cromo con un contenido de cromo de 11 hasta 18%, se caracterizan por tener alta resistencia mecánica, dureza y moderada resistencia a la corrosión. En la actualidad no se cuenta con abundante información acerca de este tipo de acero inoxidable, es por esto que se desea conocer más a profundidad sus propiedades mecánicas.

En este trabajo de grado se estudió el comportamiento mecánico del acero inoxidable martensítico AISI 420, enfocándonos especialmente en la tenacidad de impacto. Para ello se desglosa la investigación en 5 capítulos:

En el Capítulo I se presenta el estudio de la situación problemática, de la cual se establece el objetivo general y los objetivos específicos, así como también las limitaciones y delimitaciones que tendrá la investigación.

En el Capitulo II se describe el marco teórico y se hace referencia a los antecedentes. Lo cual permite establecer cuales son los parámetros que servirán de guía para la realización de la investigación.

En el capitulo III se describe la metodología a seguir para realizar y cumplir con los objetivos trazados. En este estudio se sometió al material a los tratamientos térmicos de temple y revenido, el temple se realizó a tres temperaturas, se determinó la condición con mayor cantidad de martensita, bajo esta condición se efectuaron revenidos a tres tiempos de permanencia en el horno. En cada condición de estudio se caracterizaron las propiedades mecánicas del material para luego evaluar el comportamiento de la tenacidad de impacto.

En el Capitulo IV se muestran los resultados y se hace el análisis del mismo. En donde se indica el comportamiento mecánico que tuvo el material bajo las distintas condiciones: en su forma originalmente y una vez realizado cada tratamiento térmico.

Para el Capitulo V se realizan las conclusiones de toda la investigación y se muestran las recomendaciones. Todo con la intención de buscar otras aplicaciones que aun no han sido consideradas y para utilizar la información obtenida en estudios posteriores.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Actualmente el acero es uno de los materiales metálicos más utilizados en el planeta debido a su versatilidad y usos, entre los aceros se encuentran los aceros inoxidable que son aleaciones **ferro-cromo** con un mínimo de 11% de **chromo**. El agregado de otros elementos a la aleación permite formar una amplia gama de aleaciones. El **chromo** es el elemento presente en todos los aceros inoxidable por su efecto sobre la resistencia a la corrosión y el **níquel** por la memoria en las propiedades mecánicas. Entre los aceros inoxidable se encuentran los aceros inoxidable martensíticos que tienen la característica común de ser magnéticos y endurecibles por tratamiento térmico, uno de los aceros inoxidable martensíticos más utilizados es el **AISI 420**. Las aplicaciones más comunes de este acero inoxidable están en la industria petrolera, fabricación de instrumentos quirúrgicos, fabricación de cuchillería, discos de freno, fabricación de moldes, entre otras. Debido a la diversidad de aplicaciones y también a la dificultad para conseguir información o datos acerca de este acero inoxidable, se desea conocer el comportamiento mecánico del material, en especial su comportamiento al impacto, una vez sometido a los tratamientos térmicos de temple y revenido. Conocer más a profundidad las propiedades y el comportamiento mecánico del material sometido a los tratamientos propuestos, permitirá utilizarlo en otras aplicaciones o campos que no sean los convencionales para el acero inoxidable martensítico AISI 420.

1.2 Objetivos.

1.2.1 General.

Evaluar el efecto que tienen los tratamientos térmicos de temple a 1010°C y revenido a 370°C sobre la tenacidad de impacto del acero inoxidable martensítico AISI 420.

1.2.2 Específicos.

- Efectuar el tratamientos térmico de temple a las temperatura de 1010°C en el acero inoxidable martensítico AISI 420.
- Efectuar el tratamiento térmico de revenido a la temperatura de 370°C, por los tiempos de 9, 12 y 15 minutos en el acero inoxidable martensítico AISI 420.
- Caracterizar el acero inoxidable martensítico AISI 420 en cuanto a sus propiedades mecánicas, resistencia mecánica, esfuerzo de fluencia, ductilidad, tenacidad de impacto, en condiciones originales y tratado térmicamente.
- Caracterizar la microestructura del acero inoxidable martensítico AISI 420 en condiciones originales y tratado térmicamente.
- Evaluar la superficie de fractura del acero inoxidable martensítico AISI 420 en condiciones originales y tratado térmicamente.

1.3 Justificación.

La intención de está investigación es conocer con mayor profundidad el comportamiento de las propiedades mecánicas del acero inoxidable martensítico AISI – 420 una vez que es sometido a tratamientos térmicos de temple y revenido,

para que pueda ser utilizado en aplicaciones poco convencionales, también para crear conocimientos que puedan ser utilizados en próximas investigaciones a realizar.

1.4 Limitaciones.

- Disponibilidad del acero inoxidable AISI-420 en el mercado nacional, ya que el material es importado.
- Disponibilidad de los recursos financieros para realizar la fabricación de las probetas para todos los ensayos.

1.5 Delimitaciones.

- Se trabajará solo con el acero inoxidable martensítico AISI 420
- Se realizarán 3 ensayos de tracción, 5 de impacto y 10 indentaciones por cada condición de estudio.
- Se realizará el tratamiento térmico de temple a la temperatura de 1010°C.
- Se realizará el tratamiento térmico de revenido a la temperatura de 370 °C por tiempos de permanencia en el horno de 9, 12 y 15 minutos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

- **De Leca Dos Santos, Juan y León Brito (2006), Néstor realizaron el trabajo de grado titulada “Estudio del comportamiento mecánico del acero inoxidable ASTM – 410 al ser sometido a un tratamiento térmico de envejecimiento”.** En este trabajo se evaluaron las propiedades mecánicas del acero inoxidable martensítico ASTM – 410 tales como la resistencia al impacto, resistencia mecánica y dureza, sometido a un tratamiento térmico de envejecimiento. Este tratamiento térmico se dividió en dos fases, en la primera, se solubilizó el material a una temperatura de 982°C durante un periodo de 1 hora, en la segunda fase, se sometió a el material a un tratamiento térmico de envejecimiento a una temperatura de 500°C durante periodos de 1, 3 y 5 horas.

Para realizar dichos estudios se realizaron probetas planas para el ensayo de tracción y con entalle en V para el ensayo de Charpy. Estas probetas fueron realizadas bajo las normas ASTM-370 y la norma E-23.

Se determinó cómo varían las propiedades mecánicas del material en función de las condiciones que fueron sometidas, comprobando que con un tiempo mayor de permanencia en el horno, el material tiende a aumentar sus propiedades mecánicas.

- **Jesús Chávez y Rubén González (2006) realizaron la investigación titulada “Evaluación de la tenacidad de impacto de un acero inoxidable duplex SAF 2205 al someterlo a un tratamiento térmico de normalizado”.** En este trabajo se estudió la influencia de este tratamiento térmico sobre el material, con la finalidad de obtener la tenacidad de impacto antes y después del tratamiento térmico para luego comparar dichas condiciones. Para la realización de los ensayos se siguieron las normas ASTM A-370 para tracción y E-23 para los ensayos de impacto. El

tratamiento térmico de normalizado se realizó a las temperaturas 900, 950 y 1000°C. Se determinó que a la temperatura de 1000°C el material tiende a recuperar sus propiedades mecánicas y el material absorbió la mayor cantidad de energía por impacto.

- **José Cabrera y Miguel Flores (2005) realizaron la investigación titulada “Evaluación de la tenacidad de impacto del acero inoxidable austenítico AISI 304 y AISI 316 sometido a tratamiento térmico de envejecimiento”.** En esta investigación el tratamiento térmico de envejecimiento se realizó en tres etapas: solubilización de los aceros a 1100°C por 1½ hora, luego se templó en agua a 30°C y por último se envejecieron los materiales con intervalos de tiempo de 6, 24 y 72 horas. Se realizaron ensayos de tracción, impacto, microdureza Vickers, metalografía y microscopía electrónica de barrido para caracterizar las propiedades mecánicas del material así como también su microestructura. Se determinó que el tratamiento térmico causó una disminución en las propiedades mecánicas de resistencia, en cambio la ductilidad se incrementó así como también la energía absorbida por impacto en ambos aceros.

2.2 ¿Qué es el acero?

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.

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.

2.3 Clasificación del acero

Los diferentes tipos de acero se clasifican de acuerdo a los elementos de aleación que producen distintos efectos en el Acero :

Aceros al carbono

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas.

Aceros aleados

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros de aleación se pueden subclasificar en:

- **Estructurales:** Son aquellos aceros que se emplean para diversas partes de máquinas, tales como engranajes, ejes y palancas. Además se utilizan en las estructuras de edificios, construcción de chasis de automóviles, puentes, barcos y semejantes. El contenido de la aleación varía desde 0,25% a un 6%.

- **Para herramientas:** Aceros de alta calidad que se emplean en herramientas para cortar y modelar metales y no-metales. Por lo tanto, son materiales

empleados para cortar y construir herramientas tales como taladros, escariadores, fresas, terrajas y machos de roscar.

- **Especiales:** Los aceros de aleación especial son los aceros inoxidables y aquellos con un contenido de cromo generalmente superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión, se emplean en turbinas de vapor, engranajes, ejes y rodamientos.

2.4 Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11% de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

El extenso rango de propiedades y características secundarias, presentes en los aceros inoxidables hacen de ellos un grupo de aceros muy versátiles.

La selección de los aceros inoxidables puede realizarse de acuerdo con sus características:

- ✓ Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.
- ✓ Propiedades mecánicas del acero.
- ✓ Características de los procesos de transformación a que será sometido.

- ✓ Costo total (reposición y mantenimiento).
- ✓ Disponibilidad del acero.

Los aceros inoxidable tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado de espejo, satinado, coloreado, texturizado, etc.

2.5 Clasificación de los aceros inoxidable.

Los aceros inoxidable no son indestructibles, sin embargo, con una selección cuidadosa, sometidos a procesos de transformación adecuados y realizando una limpieza periódica, algún integrante de la familia de los aceros inoxidable resistirá las condiciones corrosivas y de servicio más severas.

2.5.1 Serie 400 Aceros Inoxidable Martensíticos

Son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de cromo de 12 a 18%.

Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431. Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada. Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

2.5.2 Serie 400 Aceros Inoxidables Ferríticos.

También se consideran simplemente al cromo, su contenido varía de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo $<0.2\%$. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434. Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico. Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

2.5.3 Serie 300 Los Aceros Inoxidables Austeníticos.

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por

tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a altas temperaturas.

Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.

2.6 Algunos usos de los aceros inoxidables martensíticos AISI 420.

Se utilizan en la fabricación de moldes en la industria del vidrio y de materiales plásticos pequeños y medianos. Se utilizan ampliamente en Cuchillería. Pistones de bombas sumergidas en agua dulce. Variedad de piezas mecánicas. Piezas para hornos. Instrumentos de medicina, instrumentos quirúrgicos. Resortes. Artículos para deportes.

2.7 Tratamientos térmicos.

En general, un tratamiento térmico consiste en calentar el acero hasta una cierta temperatura; mantenerlo a esa temperatura durante un tiempo determinado y luego enfriarlo, a la velocidad conveniente. El objeto de los tratamientos térmicos es cambiar las propiedades mecánicas de los metales, principalmente de los aceros.

2.7.1 Clasificación de los tratamientos térmicos.

Los tratamientos térmicos pueden dividirse en dos grandes grupos:

- ✓ Tratamientos sin cambio de composición, es decir, aquellos en cuyo tratamiento no varían los componentes.
- ✓ Tratamientos con cambio de composición, los que añaden nuevos elementos a sus propios componentes o cambian la proporción de los existentes. De aquí que se llamen con más propiedad tratamientos termoquímicos.

Los tratamientos térmicos sin cambio de composición son el temple, revenido, normalizado, recocido. Son de interés en este trabajo el temple y el revenido.

2.7.2 Tratamiento térmico de Temple.

Se llama así a la operación que consiste en calentar el acero a una temperatura superior a A_{c1} (si es hipereutectoide), un mantenimiento a esta temperatura y un posterior enfriamiento con una velocidad que asegure la transformación martensítica en el material.

Después del temple cambia significativamente la microestructura, las propiedades mecánicas (resistencia, dureza, tenacidad), las propiedades químicas (homogeneidad, resistencia a la corrosión), y las propiedades físicas (permeabilidad magnética, fuerza coercitiva) del acero.

Objetivos del temple

Los objetivos fundamentales del temple son obtener alta dureza y alta resistencia mecánica.

Estas propiedades dependen, a su vez, de la composición química del acero y de la estructura inicial (tamaño de grano, forma y distribución de los carburos, etc.), así como también de la velocidad de calentamiento, del tiempo de mantenimiento y de la velocidad de enfriamiento.

2.7.3 Tratamiento térmico de Revenido.

Se llama así al tratamiento que consiste en calentar el acero templado hasta una temperatura inferior a A_{c1} , mantenerlo a esa temperatura y enfriarlo al aire tranquilo (siempre que el material no presente tendencias a la fragilidad del revenido). Luego del temple el acero presenta un estado tensional debido a las transformaciones martensíticas, que es indeseable. La estructura del acero templado es metaestable y tiende a variar con el tiempo, lo que provoca, en ocasiones, la aparición de grietas como resultado de las transformaciones. Es por esto que el revenido es una operación obligada para los aceros templados, y debe ejecutarse justo después del temple. El objetivo general del revenido es obtener una microestructura y propiedades óptimas para el funcionamiento de la pieza. Como consecuencia del revenido, ocurre además, una disminución de las tensiones en el material, una estabilización de la estructura, sus medidas y propiedades.

Influencia del revenido en las propiedades mecánicas

Las transformaciones estructurales que se llevan a cabo en los aceros durante el revenido están acompañadas de una variación en sus propiedades mecánicas. A medida que aumenta la temperatura de revenido, la dureza disminuye, solo en los

aceros con alto contenido de carbono se observa un ligero aumento de la dureza a 100°C, lo que se explica por la transformación de la austenita retenida en martensita.

Igualmente, durante el revenido, varían la resistencia mecánica y la plasticidad de los aceros. A medida que la temperatura de revenido aumenta, disminuye la resistencia del acero y aumenta la plasticidad y la resistencia al impacto. Sin embargo, en los aceros al carbono en el intervalo entre 200 y 400°C ocurre una disminución en la resistencia al impacto llamada fragilidad de primer género la cual es irreversible, y en los aceros aleados especialmente con cromo, manganeso y níquel aparece también una disminución de la resistencia al impacto en intervalos entre 400 y 600°C, seguidos de un enfriamiento al aire, lo que se conoce como fragilidad de segundo género (reversible).

Fragilidad de primer género (irreversible)

Esta fragilidad consiste en una disminución de las propiedades de resistencia al impacto, se observa en los aceros al carbono y aleados en el intervalo de temperatura de 200 a 400°C independientemente de la composición química del acero. Este fenómeno no puede ser evitado por ningún medio de los conocidos hasta ahora y por ello debe evitarse el revenido en este rango de temperatura. Diferentes teorías han intentado explicar este fenómeno; de los cuales algunos lo atribuyen al fenómeno de endurecimiento por dispersión, al desprenderse los primeros carburos durante el revenido.

Fragilidad de segundo género (reversible)

Esta disminución de la resistencia al impacto de los aceros aleados con cromo, manganeso, níquel y otros, en el intervalo de temperatura de 400 a 600°C; se dice que es reversible debido a que solo se presenta cuando se enfría el acero lentamente (al

aire). Este fenómeno puede ser corregido al enfriar más rápidamente el acero (enfriamiento en agua o aceite). Las causas de este fenómeno se basan en la precipitación de fases dispersas de carburos presentes en los bordes de grano y en una redistribución de los elementos de aleación, así como enriquecimiento de algunas micro zonas de fósforo durante la precipitación de esas fases.

2.8 Tenacidad de fractura.

En la década de 1950 Irwin desarrolló la aproximación de la intensidad de esfuerzo. De la teoría elástica lineal Irwin mostró que los esfuerzos en las cercanías de una grieta toman la siguiente forma:

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \text{ (Ec. 2.1)}$$

Donde r , θ son coordenadas cilíndricas de un punto respecto a la punta de la grieta. K es una constante cuyos valores son del campo de esfuerzos elásticos. Esta se llama factor de intensidad de esfuerzo. Un análisis dimensional muestra que K es proporcional al esfuerzo y a la raíz cuadrada de una longitud característica la cual es la longitud de la grieta, K viene definida por la siguiente ecuación:

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} * f\left(\frac{a}{W}\right) \text{ (Ec. 2.2)}$$

Donde a es la mitad de la longitud de la grieta y $f(a/W)$ un parámetro adimensional que depende de la geometría de la grieta y de la pieza. Se le coloca un subíndice 1 a la K para indicar el modo I de ensayo (sobre una placa de metal que

contiene una grieta interna o en el borde), en el cual una tensión uniaxial causa la apertura de la grieta.

El valor crítico para el factor de intensidad de esfuerzo de tensión (K_I) que causa la fractura de la placa se denomina resistencia a la fractura K_{Ic} del material. En términos de la tensión de fractura σ_f y de la longitud de la grieta “a” para una grieta en el borde (o mitad de la longitud de una grieta interna) (Ec. 2.3):

$$K_{Ic} = \sigma_f \sqrt{\pi a} * f\left(\frac{a}{W}\right) \text{ (Ec. 2.3)}$$

2.9 Mecanismos de fractura.

- **Fractura dúctil.**

Esta fractura ocurre bajo 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 copa. La presencia de hoyuelos o dimples son característica de este mecanismo de fractura.

- **Fractura frágil.**

La fractura frágil tiene lugar sin una apreciable deformación 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, ósea 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. Este tipo de fractura normalmente se produce después de un proceso que debilita o fragiliza las regiones de los bordes de grano. La presencia de clivajes es una característica de este tipo de mecanismo de fractura. El clivaje es una fractura sin desplazamiento relativo de las caras que sigue planos de mayor densidad atómica en cristales.

- **Fractura transgranular.**

En este tipo de fractura las grietas se propagan cortando los granos.

- **Fractura intergranular.**

En este tipo de fractura las grietas se propagan a lo largo de la frontera del grano.

2.10 Efecto del Molibdeno en las propiedades mecánicas.

El efecto característico del molibdeno es el descenso de la zona crítica por enfriamiento, por lo que tiende a suprimir la formación de ferrita aun a moderadas velocidades de enfriamiento y disminuye el efecto del ablandamiento del revenido. A temperaturas de revenido superiores a 400°C, el molibdeno incrementa la dureza del

acero. El molibdeno aún influye más que el cromo en la templabilidad, resistencia al revenido y al desgaste.

2.11 Ensayo de tracción.

El ensayo de tracción es uno de los ensayos más utilizados para determinar la relación existente entre los esfuerzos y las deformaciones en un material que es deformado debido a una carga uniaxial.

Curva Esfuerzo – Deformación Ingenieril.

Del ensayo de tracción se obtiene la curva carga – alargamiento, a partir de la cual se genera la curva esfuerzo – deformación ingenieril (Fig. 3.1), esta se define a partir de la sección transversal original del espécimen de prueba y de su longitud inicial como lo indican las ecuaciones 3.1.

$$S = \frac{F}{A_0} \quad \text{y} \quad e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (\text{Ecs 3.1})$$

Donde S es el esfuerzo ingenieril, F es la carga aplicada en el ensayo, A_0 es el área de la sección transversal inicial de la muestra, e es la deformación ingenieril, L es la longitud entre marcas calibradas instantánea y L_0 es la longitud inicial entre marcas calibradas de la muestra.

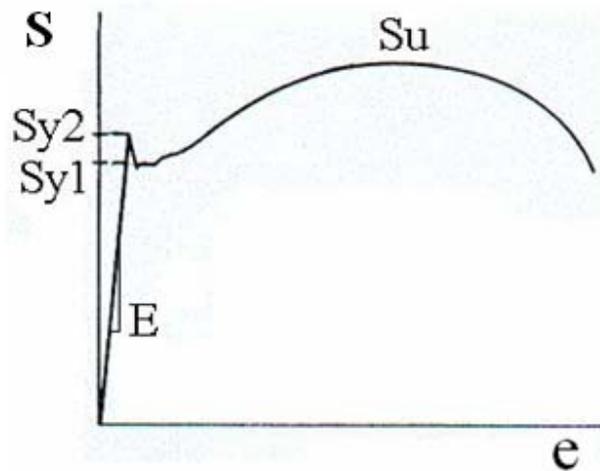


Figura 3.1 Curva esfuerzo vs. Deformación ingenieril

Existen dos zonas de diferente comportamiento en una curva esfuerzo – deformación:

1. Zona elástica: El esfuerzo es lineal con la deformación, y el material recobra su longitud inicial si se libera de carga. El comportamiento se rige por la Ley de Hooke.

$$S = E * e \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material, el cual es una constante de proporcionalidad cuyo valor es diferente para cada material y es la pendiente de dicho comportamiento lineal.

2. Zona plástica: En esta zona no existe proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones, debido a que el material se deforma permanentemente, experimentándose un endurecimiento por deformación. La transición elasto – plástica está marcada por el punto de fluencia. El esfuerzo para el cual ocurre

la deformación permanente del material se conoce como resistencia a la fluencia (S_y), y es un valor característico del material.

El esfuerzo de fluencia puede identificarse en la curva por el cambio en la pendiente, al final de la región lineal, pero existen materiales en los que no se pueden detectar fácilmente; entonces se define como el “esfuerzo que produce una desviación del 0.2% con respecto a la línea recta”. Según la norma ASTM, se conoce como método Offset para determinar el esfuerzo de fluencia en materiales dúctiles.

Posteriormente el material continúa deformándose con el incremento de la carga; este alargamiento del material va acompañado de una reducción uniforme del área, debido a que el volumen permanece constante. La máxima carga alcanzada durante el ensayo, dividida por el área inicial del espécimen de prueba, recibe el nombre de resistencia a la tracción o resistencia última del material (S_u).

La ductilidad es la capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, y se puede expresar en función del incremento en la longitud o de la reducción en el área.

$$\%Alarg. = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100\% \quad \text{y} \quad \%R.A. = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100\% \quad (\text{Ecs. 3.3})$$

La energía absorbida por el material antes de su rotura se conoce como tenacidad, mientras que la energía absorbida por el material durante la deformación elástica se denomina resiliencia del material.

Es importante señalar que luego del punto máximo de carga, la variación de la longitud deja de ser uniforme, debido a que comienza la formación de cuello en la muestra de ensayo; esto hace que el resto de la muestra mantenga la longitud y sólo exista alargamiento de la zona de cuello, además de ser esta última una zona de inestabilidad plástica. Por esta razón se recomienda a partir del punto máximo, estimar la deformación en función de la sección transversal.

2.12 Ensayo de resistencia al impacto.

La resistencia al impacto se mide por medio de ensayos en los cuales la muestra es golpeada bruscamente por algún instrumento en movimiento (por ejemplo, un péndulo o caída libre de un dardo). De los ensayos más empleados en la determinación de la resistencia al impacto, se tiene aquel en donde el golpe es realizado por un péndulo o martillo, que posee en uno de sus extremos una masa calibrada. La energía requerida para producir la ruptura se determina por el recorrido del péndulo después de romper la pieza. El ensayo se realiza en barras rectangulares en las cuales se ha practicado un entallamiento.

Existen dos métodos para medir la resistencia al impacto empleando martillos calibrados, conocido bajo los nombres de Izod y Charpy. En el método Izod, la muestra se sostiene verticalmente como una viga cantilever y se rompe con una oscilación del péndulo que se deja caer desde una altura fija, golpeando la línea central de la entalladura, unas veces en la misma cara donde ésta se encuentra y otras en la cara contraria. En el método Charpy, la muestra se coloca como una viga horizontal simple y se golpea en el lado opuesto de la entalladura, con la línea de impacto en la mitad de la distancia entre los dos apoyos. Las propiedades de impacto reportadas bajo estos ensayos son comunes en las hojas de especificaciones técnicas de los materiales, e incluso, a diversas condiciones de ensayo.

Se considera que los ensayos de resistencia al impacto son una buena medida de la resistencia del material a choques cuando en los mismos existen muescas o incisiones. Este tipo de ensayo aporta también información sobre la ductilidad, el tipo de fractura y el mecanismo de fractura que presenta el material. Para un artículo metálico y en general de cualquier material, la resistencia al impacto no depende sólo de las propiedades características del material sino también del diseño del objeto, el tipo y las condiciones de elaboración de la pieza o probeta, la naturaleza y condiciones del ensayo, la velocidad del impacto, la historia térmica, entre otros factores.

La energía absorbida E_a por la probeta, para producir su fractura, se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto.

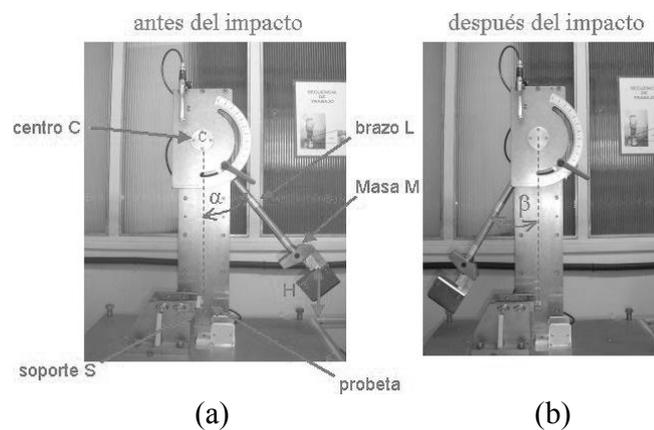


Figura 3.3. Péndulo de Charpy a) antes del impacto y b) después del impacto.

Una vez conocido el ángulo inicial de aplicación de la carga (α) y el ángulo final (β) al que se eleva el péndulo después de la rotura completa de la probeta, se puede calcular la energía E_a mediante la expresión:

$$E_a = M \cdot g \cdot L \cdot [\cos(\beta) - \cos(\alpha)] \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde g representa la aceleración de la gravedad.

2.13 Ensayo de dureza.

La dureza de materiales, la cual esta definida como la resistencia a la deformación local, es una propiedad compleja relacionada con las propiedades mecánicas del material, tales como el modulo elástico, resistencia tensil y comportamiento viscoelástico, entre otras. Esta relación con las propiedades mecánicas del material no es directa, pero existe una tendencia: materiales con módulos altos, poseen los mayores niveles de dureza.

La dureza de un material se mide, generalmente, por su resistencia mecánica al ser penetrado por una aguja o esfera. El instrumento de penetración (indentor) es presionado bajo el material por condiciones específicas, siendo la profundidad de la penetración inversamente proporcional a la dureza. El valor obtenido depende del método usado. Los resultados de la dureza están influenciados además por factores tales como: la forma y condiciones de la superficie de la muestra, el espesor de la misma, la homogeneidad del material, entre otros.

2.14 Metalografía.

El objetivo de la preparación de muestras metalográficas es revelar la estructura verdadera de la muestra, ya sea metálica, cerámica, carburos sinterizados o cualquier otro material sólido. La forma de hacerlo es a través de un método sistemático de preparación de la probeta. En otras palabras, encontrar resultados comparables gracias a un procedimiento rutinario, realizado bajo las mismas

condiciones. Por tanto, se debe garantizar la reproducibilidad del resultado. Para ello es necesario mantener cuatro principios:

1) Preparación sistemática: La preparación de muestras sigue ciertas reglas las cuales son válidas para muchos de los materiales. Diferentes materiales pero con unas propiedades de dureza y ductilidad similares requieren los mismos consumibles durante la preparación, por tanto se pueden utilizar las reglas de la metalografía de acuerdo a sus propiedades y no por el grupo de materiales a los cuales pertenecen.

2) Reproducibilidad: Una vez que un método de preparación de muestras ha sido establecido y ajustado, debe producir los mismos resultados para el mismo material cada vez que se ejecutado. Esto requiere que los consumibles sean de excelente calidad y uniformes. También es necesario controlar los parámetros como:

- La dirección y la velocidad rotacional.
- Fuerzas aplicadas en las muestras.
- Cantidad y tipo de abrasivos y lubricantes utilizados.
- Tiempo en la preparación.

3) Estructura: El interés principal del ensayo metalográfico es evaluar la superficie de la muestra, por lo tanto se requiere de una imagen precisa a analizar, por tanto se requiere que ninguno de los siguientes aspectos se presenten en la superficie: deformaciones, rayas, inclusión de elementos extraños, manchas, extremos agudos, bordes redondeados ni daños térmicos.

En algunos casos, debido a que el método de preparación es mecánico, será imposible evitar que alguno de esos aspectos ocurran, sin embargo el objetivo es que sean minimizables en su máxima expresión, de manera tal que su efecto sobre la

estructura no sea divisible en el microscopio, de manera tal que se pueda observar la estructura real de la pieza.

4) Criterio de Aceptación: En muchos casos, observar la estructura verdadera de la pieza requiere de mucho tiempo y consumibles para la preparación, así que en oportunidades se pueden establecer límites de aceptación inferiores o controlando el nivel de defectos.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de la investigación.

Según los objetivos y la finalidad de este trabajo, se considera de tipo exploratorio debido a que se posee poca información acerca del tema, los resultados a obtener brindarán una visión más amplia del comportamiento del material estudiado y a su vez se puede considerar de tipo descriptivo ya que se va a caracterizar el material para conocer las propiedades del acero al ser sometido a la tenacidad de impacto.

3.2 Caracterización del material.

El material en estudio es un acero inoxidable martensítico AISI-420 el cual fue suministrado por la empresa SUMINDU, S.A., el cual viene certificado con un análisis químico que se encuentra en la siguiente tabla (certificación de composición química presente en anexos):

Tabla 3.1 Composición química del acero según SUMINDU.

Nombre comercial	C (%)	Si (%)	Cr (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)
AISI-420	0.202	0.35	13.25	0.51	0.023	0.026	0.03

Fuente: SUMINDU

La norma ASTM A-959-96 establece intervalos de valores que deben tener las aleaciones. Para este caso en particular la composición química debe estar dentro de estos intervalos como se muestra en la siguiente tabla (se anexa una copia de la norma ASTM A-959-96):

Tabla 3.2 Composición química del acero según norma ASTM A-959-96.

Designación UNS ^B	Nombre	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)
S42000	420	0,15 min	1	0,04	0,03	12-14	0
S42010	420	0,15- 0,3	1	0,04	0,03	13,5-15	0,35- 0,85

Fuente: ASTM A-959-96

Se realizó un análisis químico en la Universidad Central de Venezuela el cual arrojó los valores que muestra la siguiente tabla (certificación de la U.C.V. presente en anexos):

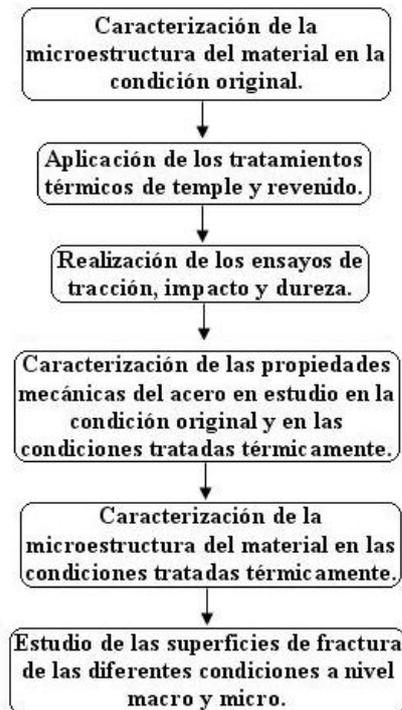
Tabla 3.3 Composición química del acero según la certificación de la U.C.V.

C (%)	S (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	P (%)	Mo (%)
0,26	0,029	0,51	0,04	12,75	0,37	0,023	0,09
±0,01	±0,01	±0,00	±0,02	±0,17	±0,01	±0,001	±0,01

Fuente: Universidad Central de Venezuela

3.3 Descripción de la metodología a seguir.

En el siguiente diagrama se muestra la metodología a seguir para la realización de la siguiente investigación:



3.3.1 Condición original.

Inicialmente el material se entrega por el proveedor en presentación de barra redonda de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro en condición de recocido y presenta una microestructura de granos de perlita distribuida en una matriz ferrítica como se mostrará en la sección de microscopía óptica.

3.3.2 Tratamientos térmicos.

Primero se realizó el tratamiento térmico de temple al acero inoxidable martensítico AISI 420. El tratamiento se efectuó a la temperatura de 1010°C, esta temperatura se asignó en función al diagrama de fase Cr-Fe (figura 3.1) y en el intervalo recomendado en la hoja de especificaciones del material. El medio de enfriamiento a emplear es agua a temperatura ambiente (27°C).

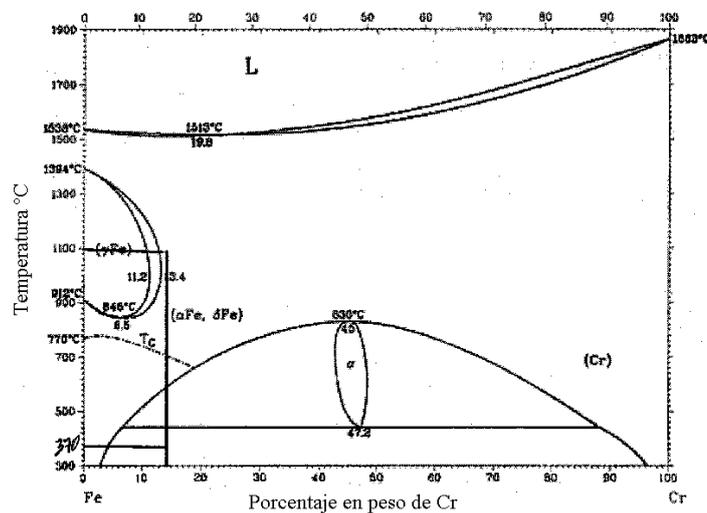


Figura 3.1 Diagrama Cr-Fe.

Luego de aplicar el temple al material se procederá a realizar el tratamiento térmico de revenido. Este tratamiento se efectuó a la temperatura de 370°C, esta temperatura se asignó en función al diagrama de fase Cr-Fe (figura 3.1) y en el intervalo recomendado en la hoja de especificaciones del material. El METAL HANDBOOK Volumen 4 (TRATAMIENTOS TÉRMICOS, página 2074), indica que el tiempo de permanencia en el horno es de 1 minuto por cada milímetro de espesor de material para garantizar uniformidad de la temperatura, la barra de acero adquirida tiene un diámetro de 12.7mm (1/2 pulgada), lo que quiere decir que

permanecerá en el horno por 12 minutos. También se realizará el tratamiento térmico de revenido a otros dos tiempos, de 15 minutos y otro de 9 minutos para evaluar su comportamiento. En el gráfico siguiente se muestra las condiciones de los tratamientos térmicos a realizar.

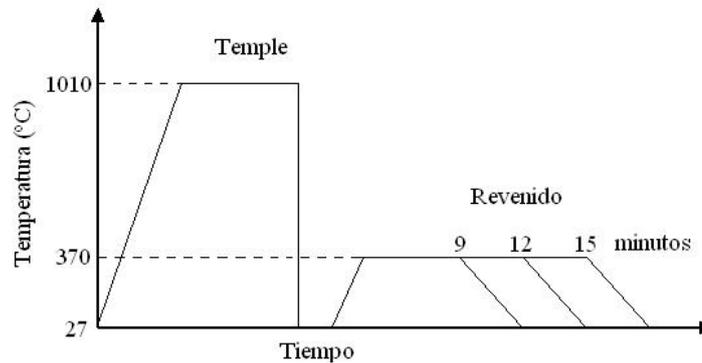


Figura 3.2 Condiciones de estudio de los tratamientos térmicos de temple y revenido.

Todos los tratamientos térmicos se realizaron en el horno que se encuentra en el laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo el cual posee las siguientes características y se muestra en la siguiente figura:

Horno F48000.

Voltaje: 220-240, Amperaje: 7,5

Potencia: 1800 W, Frecuencia: 60 Hz

Máxima temperatura: 1093°C (continuo) y 1200°C (intermitente).



Figura 3.3 Horno utilizado para realizar los tratamientos térmicos.

3.3.3 Ensayos a realizar.

En este trabajo se realizarán ensayos de tracción, impacto, dureza, metalografía y análisis por microscopía electrónica de barrido para condición de estudio. En la tabla siguiente se detallan el número de ensayos que se efectuaron para cada una de las condiciones:

Tabla 3.4 Numero de ensayos para cada condición a estudiar.

Ensayo	CONDICIÓN				
	Original	Temple	Revenido a los tiempos de:		
			9 minutos.	12 minutos.	15 minutos.
Tracción	3	3	3	3	3
Impacto	5	5	5	5	5
Dureza	10 Identaciones	10 Identaciones	10 Identaciones	10 Identaciones	10 Identaciones

✓ **Ensayo de tracción.**

Para realizar el ensayo de tracción las dimensiones de las probetas se basan según la norma ASTM A-370, las cuales tienen las siguientes dimensiones para probetas de tamaño pequeño proporcional al Standard (sub-size) (Fig. 3.2):

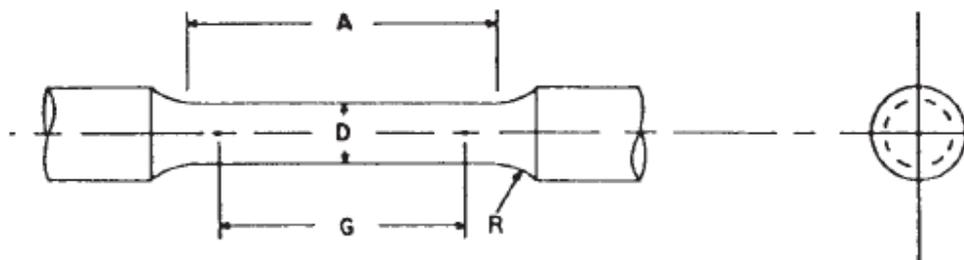


Figura 3.4 Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción según la norma ASTM A-370.

- ✓ Longitud calibrada (G): 35 ± 0.1 mm
- ✓ Diámetro de la sección reducida (D): 8.75 ± 0.18 mm
- ✓ Radio de filete (R) : 6 mm
- ✓ Longitud de la sección reducida (A): 45 mm.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, en la maquina de ensayos de tensión.

La cual posee las siguientes características y se muestra en la siguiente figura:

Marca Cesare Galdabini SpA modelo 2195C



Figura 3.5 Maquina de ensayo de tracción.

Procedimiento para realizar el ensayo de tracción.

1. Encender la maquina de ensayo.
2. Marcar sobre la probeta la longitud calibrada, según la norma ASTM E8.
3. Medir las dimensiones de la sección transversal de las probetas.
4. Fijar la velocidad del ensayo, según los criterios propuestos en la norma ASTM E8.
5. Colocar la probeta dentro de las mordazas de manera que quede completamente vertical.
6. Comenzar la aplicación de la carga.
7. Luego de generar la rotura de la probeta detener el ensayo.
8. Proceder a sacar la muestra del equipo.
9. Unir ambas partes de la probeta, medir la longitud entre las marcas calibradas y medir la sección transversal de rotura.

✓ **Ensayo de resistencia al impacto.**

Las probetas a utilizar en este ensayo tienen las siguientes dimensiones según la norma ASTM E-23, las cuales son para probetas de tamaño pequeño proporcional al Standard (sub-size) (Fig. 3.3):

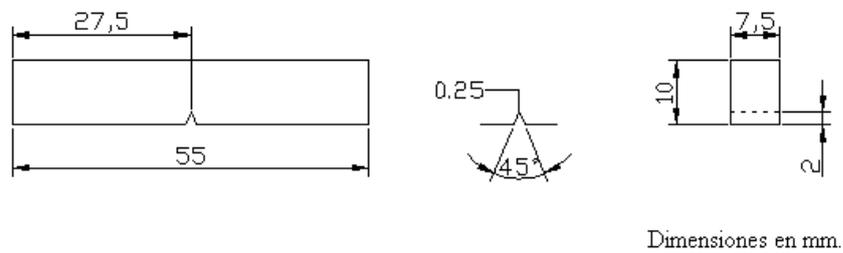


Figura 3.6 Dimensiones de las probetas del ensayo de impacto Charpy según norma ASTM E-23.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de la escuela de civil en la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, en la maquina de ensayos de impacto charpy como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.7 Maquina de ensayo de impacto Charpy.

Procedimiento para realizar el ensayo de impacto Charpy.

1. Mida las probetas en sus dimensiones de ancho, espesor y profundidad de la entalla.
2. Monte el péndulo Charpy y determine la energía del péndulo.
3. Determine las pérdidas de energía generadas por fricción con el aire del péndulo, realizando 10 medidas sin muestra en el impactómetro. Durante el montaje del péndulo, asegúrese del correcto ajuste del mismo.
4. Determine la energía de impacto Charpy de las muestras.

✓ **Ensayo de dureza.**

Se realizaron ensayos de Dureza Rockwell C debido a que es un acero de alta resistencia, el ensayo se realizó en el durómetro, utilizando un penetrador con forma de cono y una carga de 150kg. Se efectuaron 10 indentaciones para cada condición de estudio.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, en el durómetro digital. La cual posee las siguientes características y se muestra en la siguiente figura: MACROMET 51000T



Figura 3.8 Durometro para ensayos de dureza.

✓ **Metalografía.**

Las muestras fueron preparadas según la norma ASTM E 3-01 para la preparación de probetas metalográficas, estas después de preparadas fueron atacadas con un reactivo llamado Kalling's No.1 el cual consta de 1,5 g CuCl_2 , 33 ml HCl, 33 ml etanol y 33 ml H_2O , este reactivo está especialmente formulado para aceros inoxidable martensíticos. El cual fue tomado de la tabla N° 8 del METAL HANDBOOK Volumen 9 (Metalografía y Microestructura, en la pagina 1597, del tema metalografía y microestructura de aceros inoxidables). Se realizo por medio del banco de pulido, la campana y el microscopio óptico como se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.9 Equipos para la preparación metalografica.

✓ **Análisis por microscopía electrónica de barrido.**

Según Smith (1998), el microscopio electrónico de barrido (SEM) es un instrumento que genera un haz de electrones que es focalizado sobre un punto exacto de la superficie de una muestra patrón. Básicamente, un cañón de electrones produce un haz de electrones en una columna de vacío que es focalizado y dirigido sobre un pequeño punto del blanco. Los electrones con pequeño ángulo de dispersión interaccionan con los resaltes de la superficie y generan una dispersión de electrones secundarios que producen una señal electrónica que a su vez da una imagen con una profundidad de campo superior en unas 300 veces a las del microscopio electrónica (del orden de 10 μm a 10000 diámetros de aumento). El SEM es particularmente útil en el análisis de materiales para examinar superficies fracturadas de metales. Las fractografías se utilizan para determinar cuando una superficie fracturada es intergranular, transgranular o mezcla de ambas.

Utilizando la microscopia electrónica de barrido nos permitió detectar el tipo de fractura del acero en estudio y detectar la presencia de algunos defectos: tales como microporos, segregaciones y precipitados.

El equipo utilizado para realizar este ensayo se encuentra en el CIMBUC, el cual pertenece a FACYT. Cuyas características técnicas son:

Marca JEOL de fabricación Japonesa. Modelo JSM-5300

Resolución: 4,5nm (SEI; 30 KV, WD=8mm)

Magnificación: x15 (WD=48mm) para 200.000 (25 steps)

Indicaciones digitales en LCD y posee corrector de magnificación automatico (MAC).

Modo de imagen: Imagen de electrón secundaria (SEI).

En la siguiente figura se observa el equipo de microscopía electrónica de barrido:



Figura 3.10 Microscopio electrónico de barrido.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Composición química del material.

A continuación se muestra la tabla comparativa de la composición química del material, se compara la recomendada en la norma ASTM A959-96, la suministrada por el proveedor del material y la proveniente de la certificación de la U.C.V.

Tabla 4.1. Comparación de la composición química del material.

Origen del estudio	C (%)	S (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	P (%)
Norma ASTM	0,15 a 0,3	0,03	1	-	13,5 a 15	0,35 a 0,85	-	0,04
Proveedor SUMINDU	0,202	0,026	0,51	0,35	13,25	-	-	0,023
Certificación U.C.V.	0,26 ± 0,01	0,029 ±0,001	0,51 ±0,00	0,04 ±0,02	12,75 ± 0,17	0,37 ± 0,01	0,09 ±0,01	0,023 ±0,001

4.2 Ensayos de tracción.

Medición de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo

Se realizaron tres ensayos por cada condición, con probetas tipo sub-size según la norma ASTM A-370.

4.2.1 Condición original

Se realizaron tres ensayos para esta condición y todos fallaron dentro de la zona calibrada. Se muestra a continuación las graficas esfuerzo Vs. Deformación para esta condición.

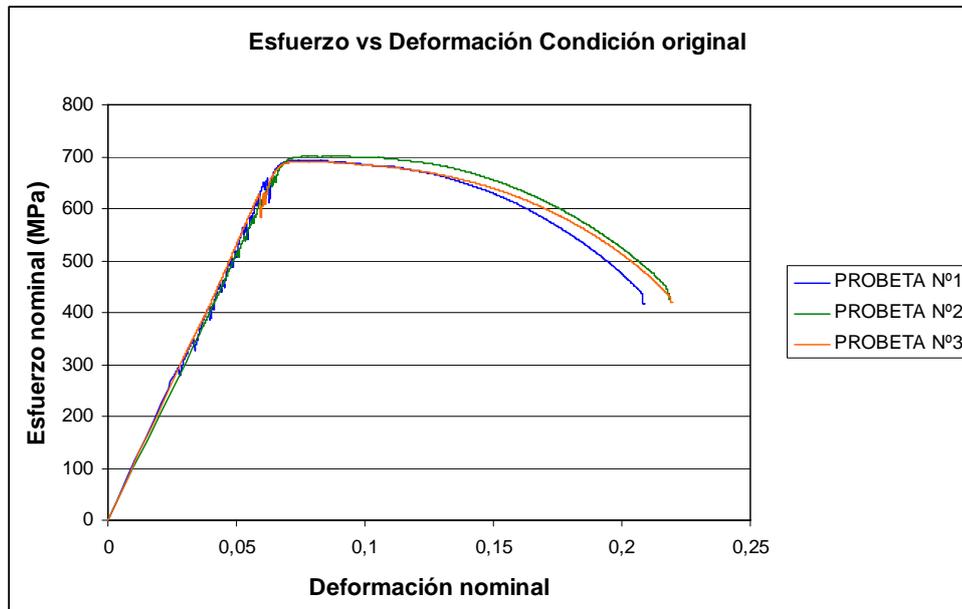


Figura 4.1. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición original

4.2.2 Temple

Se realizaron tres ensayos para esta condición y todos partieron en la zona calibrada. Se muestra a continuación las graficas esfuerzo Vs. Deformación para esta condición.

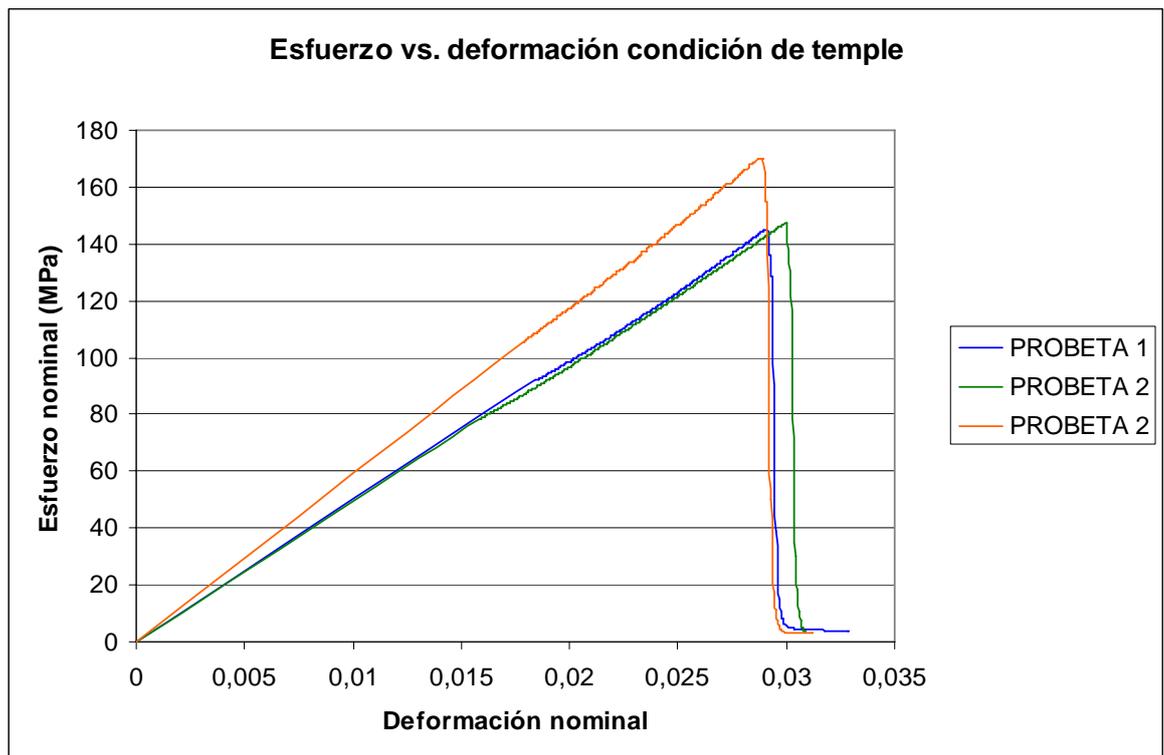


Figura 4.2. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple

4.2.3 Temple y revenido a 9 minutos

Se realizaron tres ensayos para esta condición de los cuales 2 partieron en la zona calibrada, por lo cual solo se consideraron estos para la validación del ensayo. Se muestra a continuación las graficas esfuerzo Vs. Deformación para esta condición.

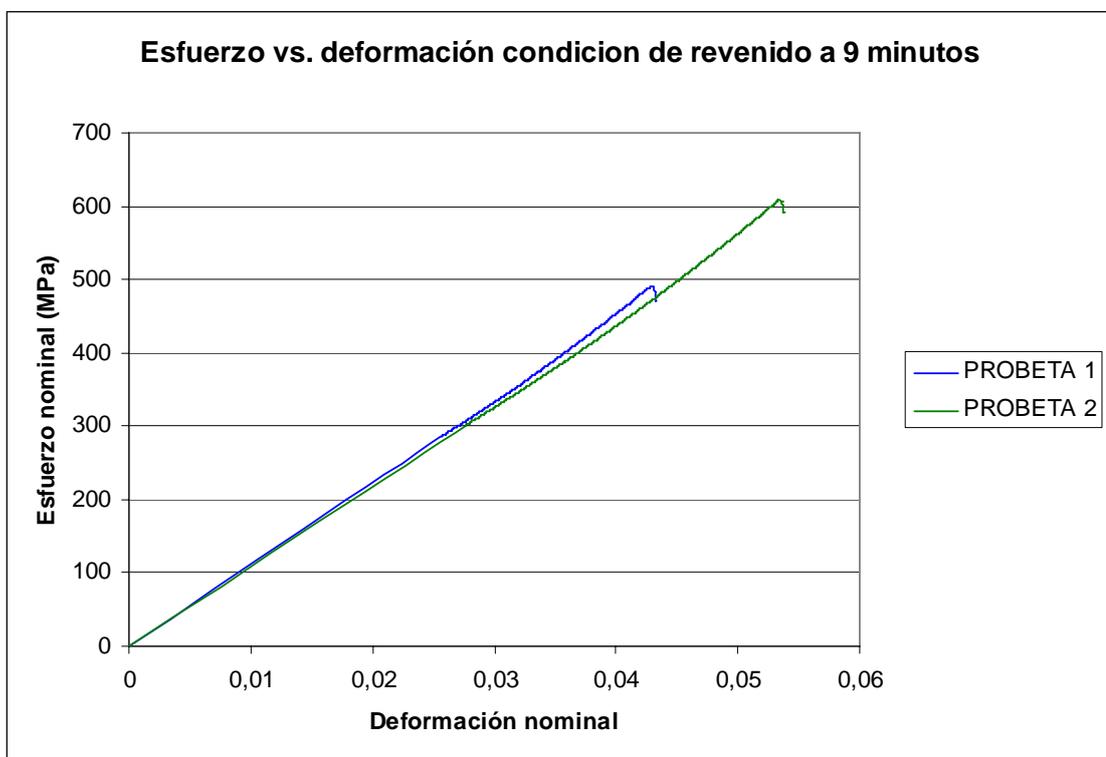


Figura 4.3. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 9 minutos

4.2.4 Temple y revenido a 12 minutos

Se realizaron tres ensayos para esta condición de los cuales 2 partieron en la zona calibrada, por lo cual solo se consideraron estos para la validación del ensayo. Se muestra a continuación las graficas esfuerzo Vs. Deformación para esta condición.

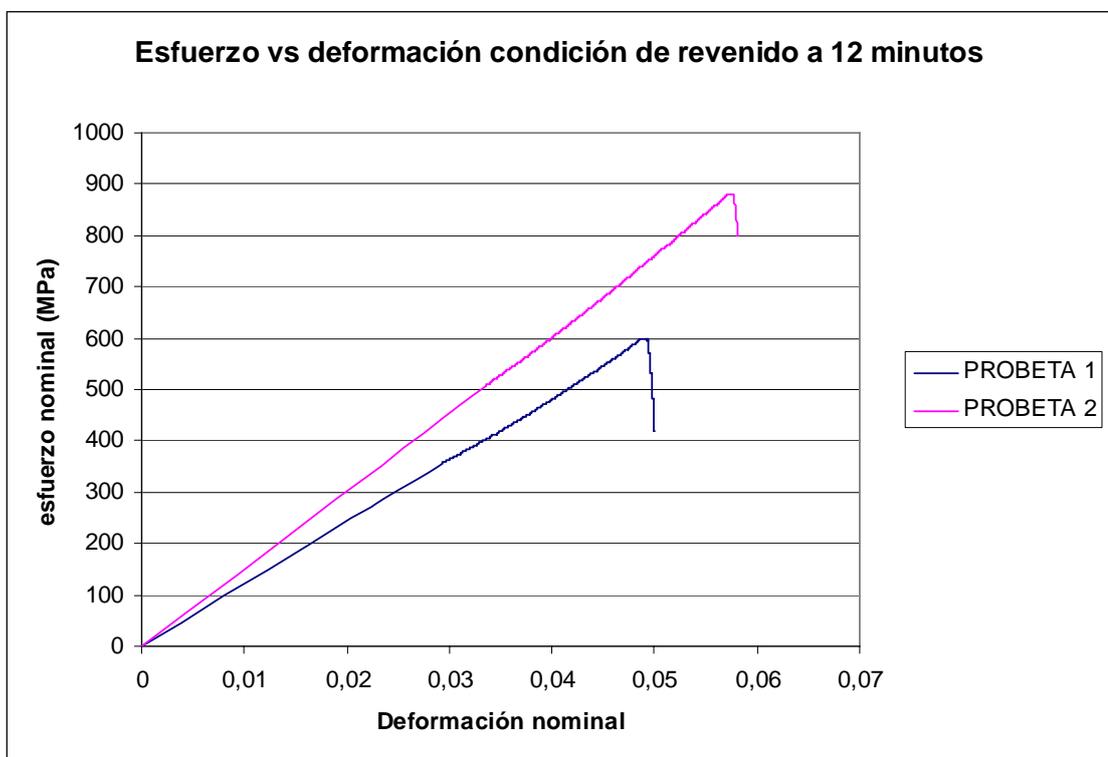


Figura 4.4. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 12 minutos

4.2.5 Temple y revenido a 15 minutos

Se realizaron tres ensayos para esta condición y todos partieron en la zona calibrada. Se muestra a continuación las graficas esfuerzo Vs. Deformación para esta condición.

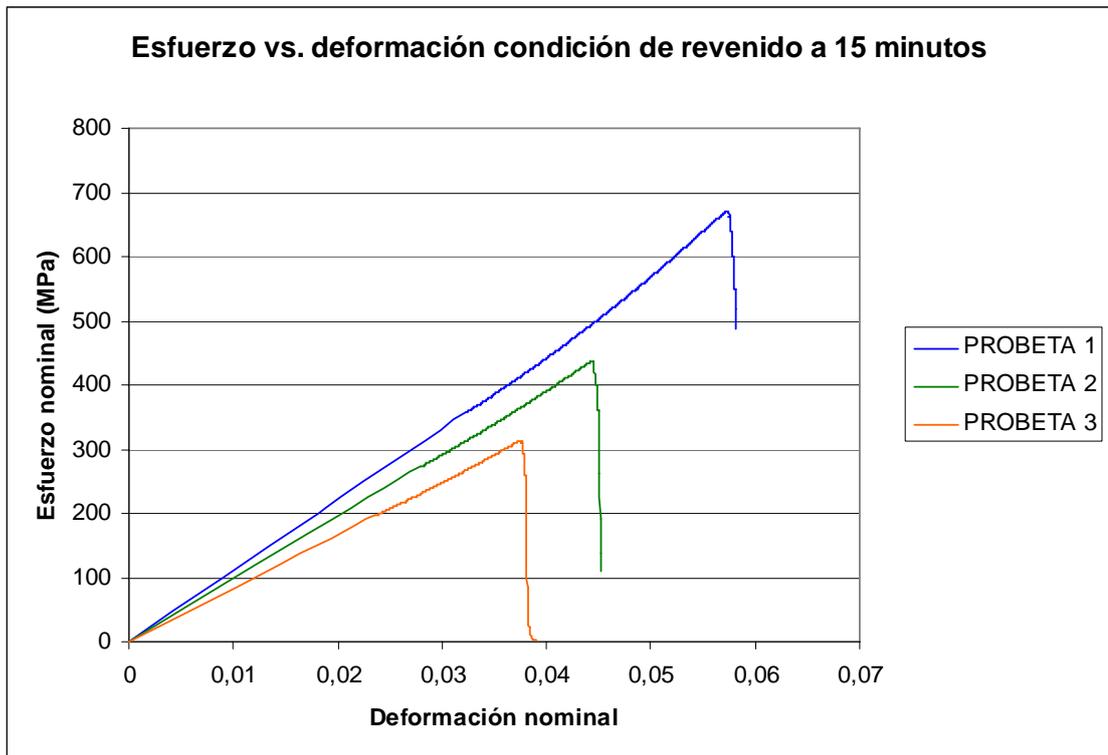


Figura 4.5. Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación de la condición de temple y revenido a 15 minutos

4.2.6 Propiedades obtenidas de los ensayos de tracción

En la siguiente tabla se encuentran los valores de esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y porcentaje de alargamiento para la condición original, temple a 1010°C y los revenidos a 370°C a 9 minutos, 12 minutos y 15 minutos.

Tabla 4.2. Propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos de tracción.

Condición	Condición original			Temple a 1010°C			Temple y revenido a 9 minutos		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Probeta	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sy (MPa)	684,46	696,25	689,41	145,18	169,90	170,14	490,47	607,68	-
Su (Mpa)	693,59	701,53	691,39	145,18	169,90	170,14	490,47	607,68	-
%Alargamiento	18,85	16,61	20,22	1,6	1,2	1,3	1,133	1,762	-

Condición	Temple y revenido a 12 minutos			Temple y revenido a 15 minutos		
	1	2	3	1	2	3
Probeta	1	2	3	1	2	3
Sy (MPa)	600,18	880,81	-	668,73	436,00	312,89
Su (Mpa)	600,18	880,81	-	668,73	436,00	312,89
%Alargamiento	2,14	2,671	-	1,97	1,42	1,27

Valores promedio de las propiedades mecánicas para cada condición de estudio

Tabla 4.3 Valores promedio de las propiedades mecánicas para cada condición

Condición	Condición Original	Temple a 1010°C	T y R 9 minutos	T y R 12 minutos	T y R 15 minutos
Sy (MPa)	690,04	161,74	549,07	740,49	472,54
Su (Mpa)	695,50	161,74	549,07	740,49	472,54
%Alargamiento	18,56	1,36	1,44	2,40	1,55

Graficas comparativas de cada propiedad en función de las condiciones de estudio.

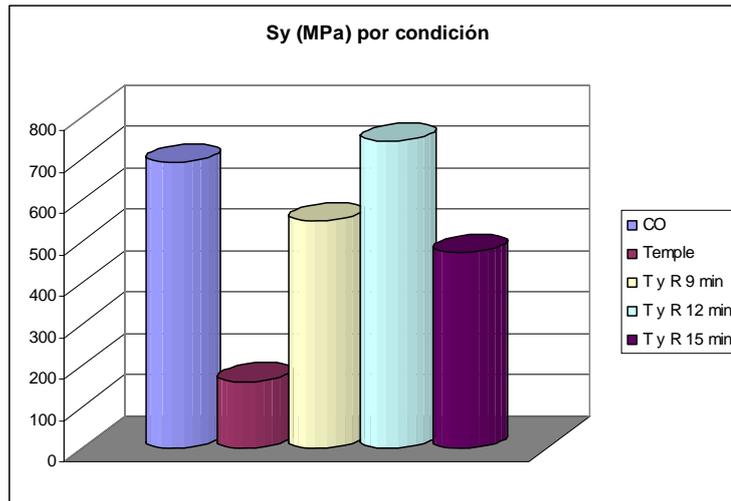


Figura 4.6. Variación de los esfuerzos de fluencia por cada condición.

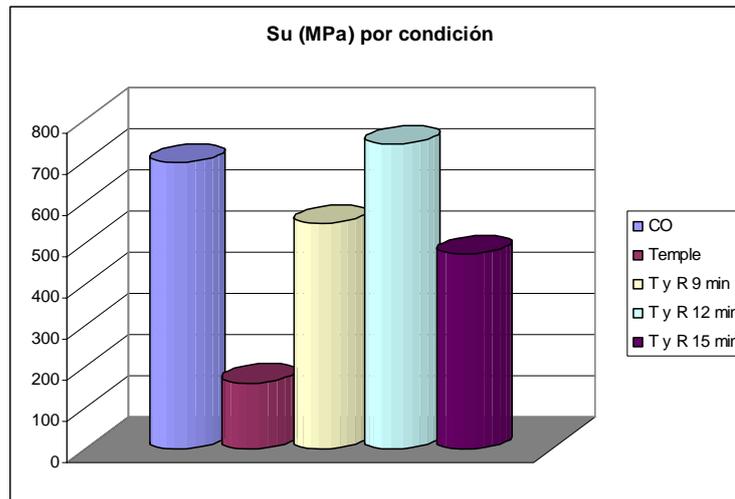


Figura 4.7. Variación de los esfuerzos últimos por cada condición.

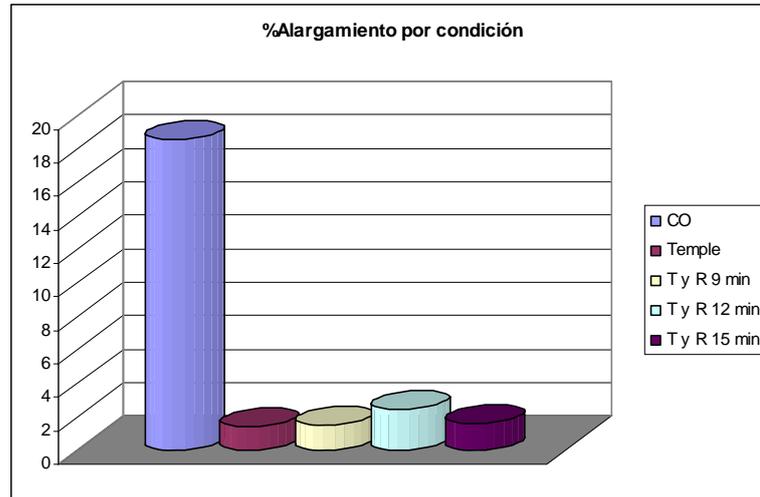


Figura 4.8. Variación de los porcentajes de elongación por cada condición.

De acuerdo a lo observado en la figura 4.13 el esfuerzo de fluencia en condición original es de 690.04 MPa, este disminuye en un 76.5% (161,74 MPa) al ser templado y posteriormente aumenta su resistencia en las condiciones de temple y revenido a 9 y 12 minutos, alcanzando su máximo con el revenido a 12 minutos con un valor de 740.49 MPa, superando en un 7.3% a la condición original y luego cae un 36% (472.54 MPa) para el revenido de 15 minutos. Un comportamiento idéntico ocurre para el esfuerzo último, salvo que en la condición original el valor de esfuerzo es un poco más alto ya que presenta una zona plástica en su curva esfuerzo vs. deformación.

En el caso del porcentaje de alargamiento, se aprecia como este cae drásticamente de un valor de 18.5% a 1.36% con el temple, luego al ser revenido se recupera muy ligeramente llegando a un máximo de 2.4% con el revenido de 12 minutos para luego disminuir a un valor de 1.55% con el revenido de 15 minutos.

Al realizar los tratamientos térmicos se muestra un comportamiento anormal al que debería tener el material, al realizar el temple, el material debe aumentar la resistencia mecánica y disminuirla al aplicar el tratamiento térmico de revenido, se observa que existe una disminución de la resistencia al realizar el temple y hay un aumento en el revenido, además se alcanza el máximo valor de resistencia en el revenido de 12 minutos, llegando a ser un poco mayor que la condición original.

4.3 Ensayo de impacto Charpy

Para este ensayo se utilizaron probetas de tipo sub-size según la norma ASTM E-23 y se realizaron 5 ensayos por cada condición.

El equipo utilizado para el ensayo registró valores expresados en Kpm y por medio de un factor de conversión se transformó a la unidad del sistema internacional J (N*m), la cual representa la energía absorbida por impacto (CVN). En la siguiente tabla (tabla 4.4) se observan los resultados obtenidos de los ensayos.

Tabla 4.4. Valores de la energía absorbida por impacto y de factor de intensidad de esfuerzo

	Condición Original (Kpm)	Temple (Kpm)	T. y R. 9minutos (Kpm)	T. y R. 12minutos (Kpm)	T. y R. 15minutos (Kpm)
1	2,1	0	0,1	0,1	0,1
2	0,6	0	0,1	0,3	0
3	1,2	0	0,1	0,1	0,15
4	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1
5	0,4	0	0,1	0,1	0,1
Promedio (Kpm)	1,02	0,02	0,1	0,14	0,09
Promedio (J)	10	0,19	0,98	1,37	0,88
KIc (MPa*m ^{1/2})	54,69	12,82	43,52	58,69	37,45

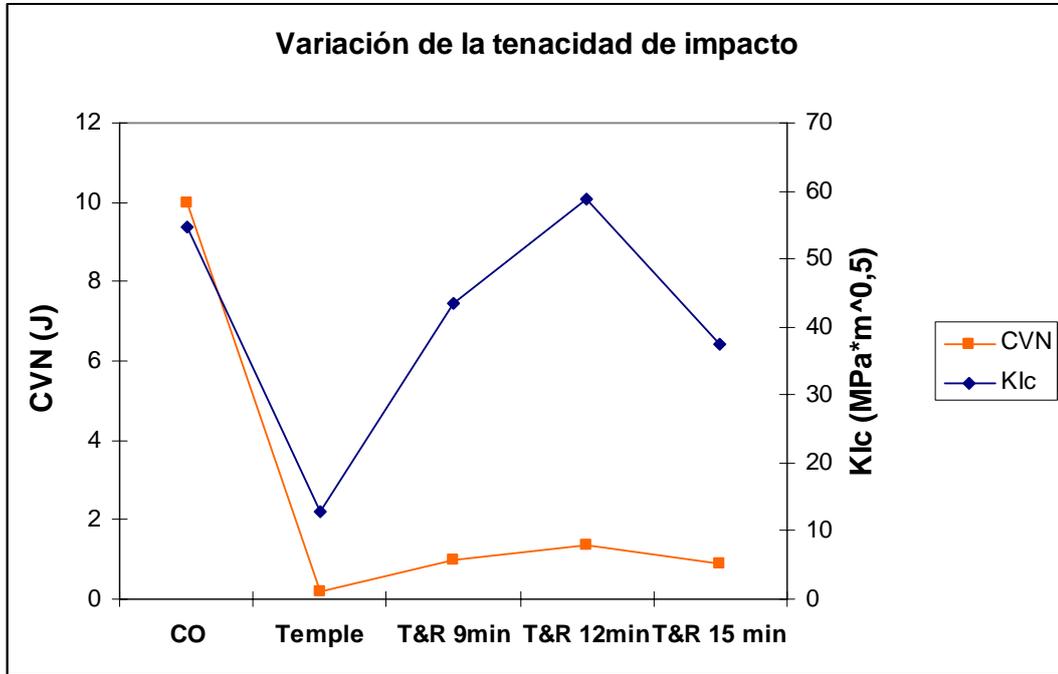


Figura 4.9. Variación de la energía absorbida por impacto y del factor de intensidad de esfuerzo para cada condición.

En función a los resultados obtenidos, el comportamiento del material al ser sometido a impacto muestra que en condición original es capaz de absorber cierta cantidad de energía (10 J), pero al ser tratado térmicamente por el temple esta capacidad se hace casi nula, se recupera muy poco al realizar el revenido hasta alcanzar un valor máximo de 1.37 J en la condición de temple y revenido a 12 minutos y baja de nuevo en la condición de temple y revenido a 15 minutos con un valor de 0.88 J.

De manera similar se comporta el factor de intensidad de esfuerzo aunque presenta mayor recuperación con el revenido. Partiendo de 54.69 MPa*m^{1/2} en la condición original, baja a 12.82MPa*m^{1/2} en el temple, se recupera hasta un máximo de 58.69 MPa*m^{1/2} en la condición de temple y revenido a 12 minutos, para luego caer a 37.45 MPa*m^{1/2} con el revenido a 15 minutos. Esto sucede ya que al aumentar el tiempo de

revenido el material se hace más tenaz, debido a una mejor distribución de los carburos en la microestructura.

4.4 Ensayo de dureza

Para este ensayo se hicieron 10 indentaciones para cada condición usando la escala Rockwell C (HRC), a continuación se aprecian los valores obtenidos de los ensayos.

Tabla 4.5. Valores de dureza para cada condición de estudio

Identación	CO	Temple	T y R 9min	T y R 12min	T y R 15 min
1	17,8	52,4	45,5	43	44,4
2	17,2	52,3	45,9	43,4	44,7
3	17,6	52,6	46,6	42,9	44,6
4	17,7	52,8	45,5	43	43,1
5	18	48,7	45,8	42,9	44
6	17,7	50,5	44,9	41,4	44,9
7	17,2	51,8	44,9	43,6	44,2
8	17,4	52,1	45,1	43,1	45,7
9	18	52,6	46,7	43,2	45
10	18,2	52,7	46,3	42,3	44,1
Promedio	17,68	51,85	45,72	42,88	44,47

En el siguiente grafico se muestra la variación de los valores promedio de dureza para cada una de las condiciones.

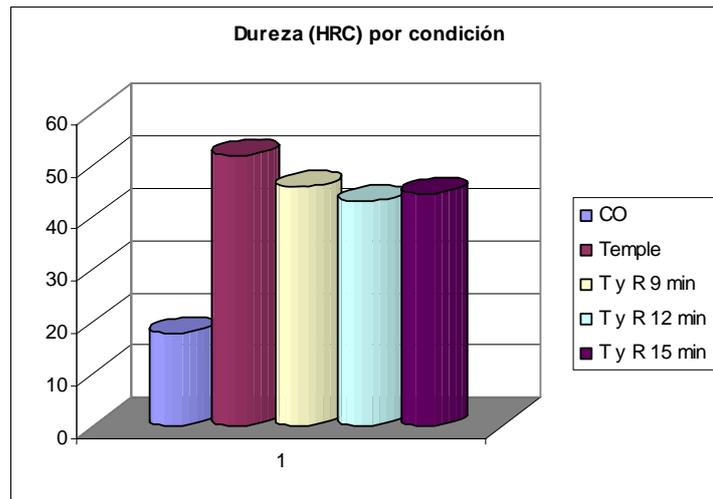


Figura 4.10. Variación de los valores promedio de dureza por cada condición

La condición original presenta la menor dureza con un valor de 17,68 HRC, al ser templado aumenta en un 193% (51,85 HRC) y disminuye hasta el valor de 42,88 HRC en la condición de temple y revenido a 12 minutos para luego aumentar nuevamente a 44,47 HRC en el revenido a 15 minutos.

Relacionando estos resultados con los obtenidos de energía absorbida por impacto, en la condición original tiene la menor dureza y absorbe la mayor cantidad de energía mientras que en las condiciones de temple y temple y revenido tienen una gran dureza pero casi no absorben energía por impacto.

Con respecto al porcentaje de alargamiento se muestra que la condición original tiene un alto porcentaje de alargamiento y una baja dureza, en cambio en las condiciones de temple y temple y revenido tiene un comportamiento inverso, es decir, una mayor dureza con un bajo porcentaje de alargamiento.

Puede apreciarse cómo la resistencia del material (S_y , S_u) se recuperó con respecto al temple en las condiciones de revenido, superando ligeramente la condición original, pero aun así en las mismas condiciones, la dureza disminuyó sólo un 17,2%.

Se evidencia además que la resistencia del material (S_y , S_u) en la condición original y la de temple y revenido a 12 minutos presentan un valor similar pero sus microestructuras son muy diferentes como puede apreciarse en las figuras 4.1 y 4.6 y esto se verifica con los valores de dureza los cuales son muy diferentes.

4.5 Microscopía óptica.

Se realizó la microscopía óptica con la intención de visualizar la microestructura del material y para observar los cambios ocurridos con los tratamientos térmicos.

4.5.1 Condición original.

En la figura 4.1 se muestra el material en condición original, en donde se muestra granos de perlita, dentro de una matriz de ferrita.

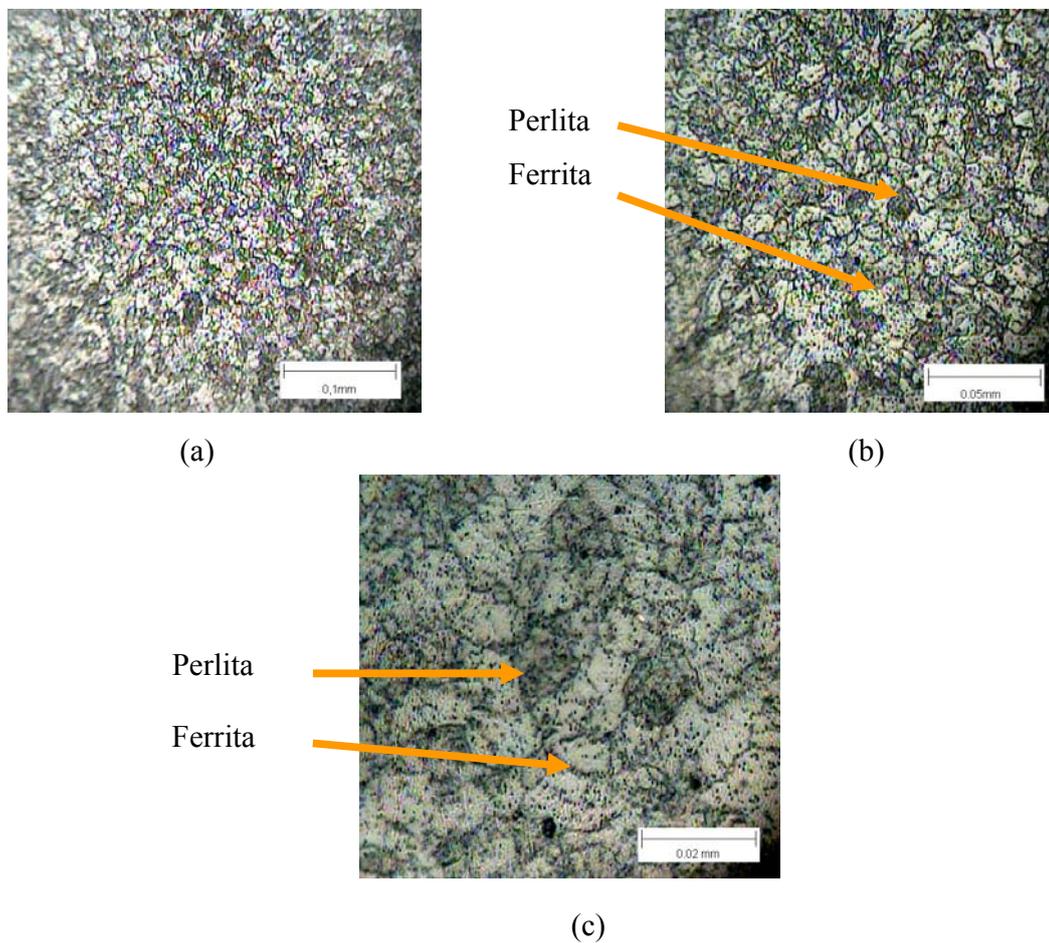


Figura 4.11. Microscopía de la condición original, (a) vista con aumento de 200X, con aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.

4.5.2 Temple a 1010°C.

En la figura 4.2 se muestra el material en condición de temple a una temperatura de 1010°C, en donde se muestra la martensita dentro de una matriz de ferrita.

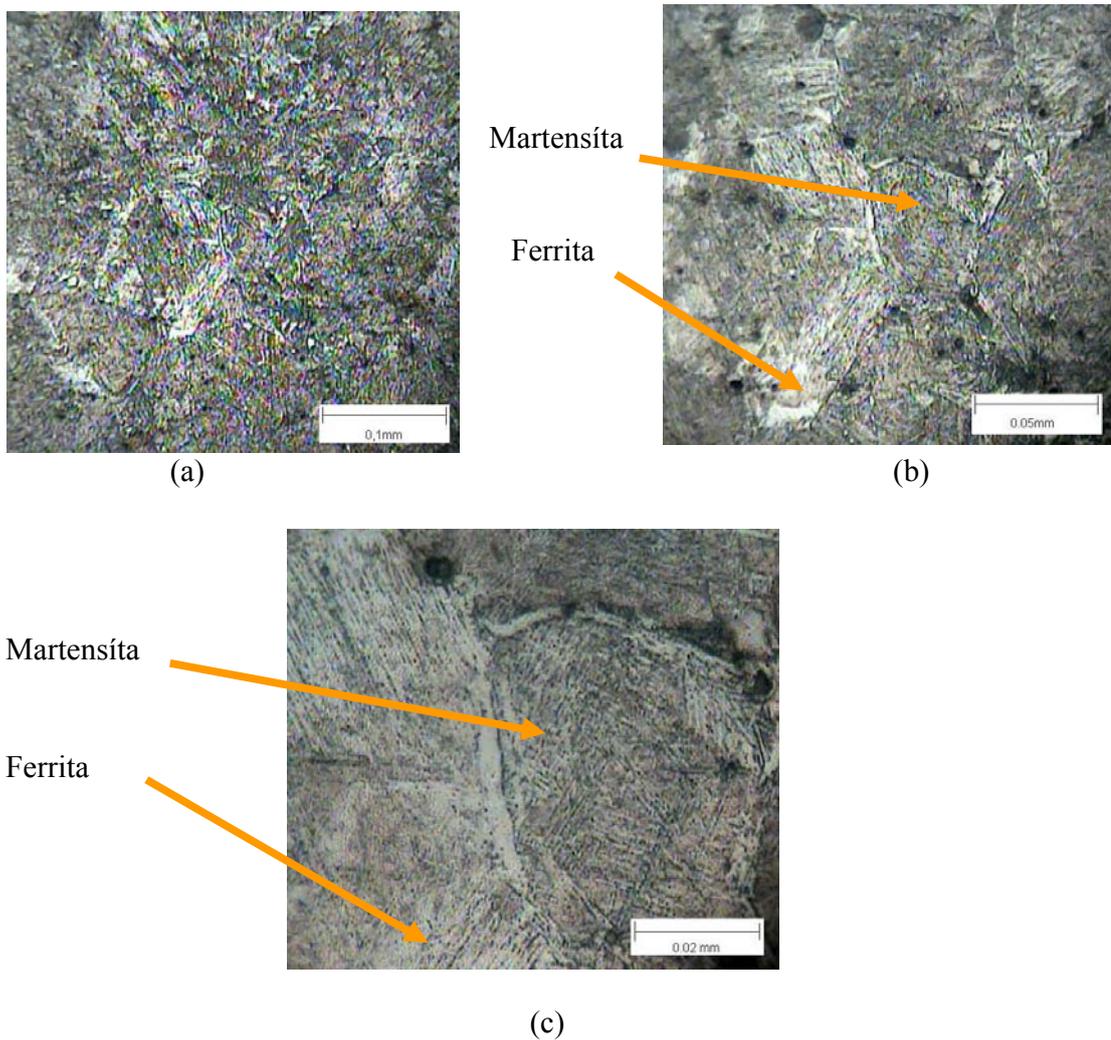


Figura 4.12. Microscopía de la condición de temple a 1010°C, (a) vista con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.

4.5.3 Temple y revenido.

Se realizaron los revenidos a la temperatura de 370°C por tres tiempos de permanencia en el horno de 9, 12 y 15 minutos.

En la figura 4.5 se muestra el material en condición de temple y revenido a 9 minutos, en donde se muestran partículas de cementita dentro de una matriz de ferrita.

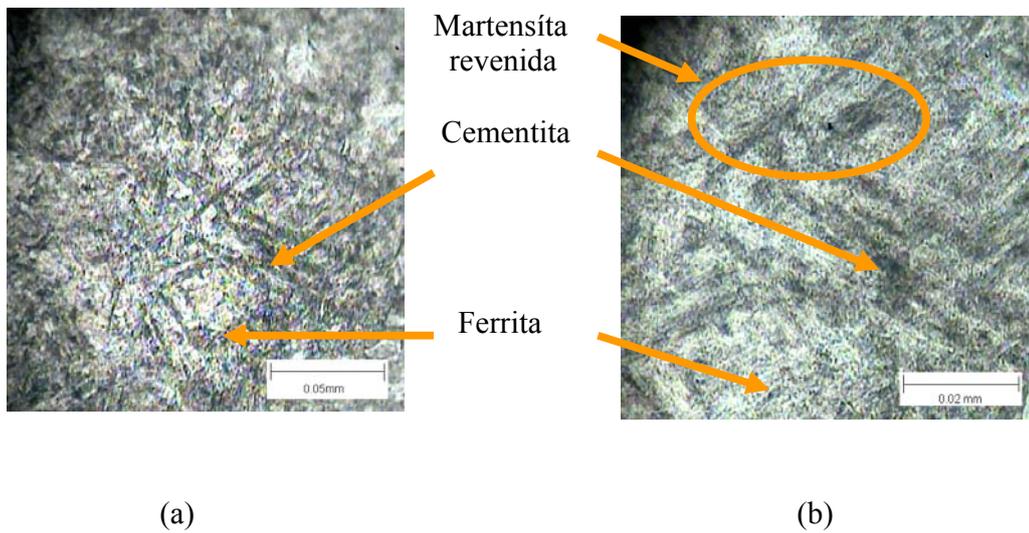


Figura 4.13. Microscopía de la condición de temple y revenido a 9 minutos, (a) con un aumento de 400X y (b) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.

En la figura 4.6 se muestra el material en condición de temple y revenido a 12 minutos, en donde se muestran partículas de cementita dentro de una matriz de ferrita.

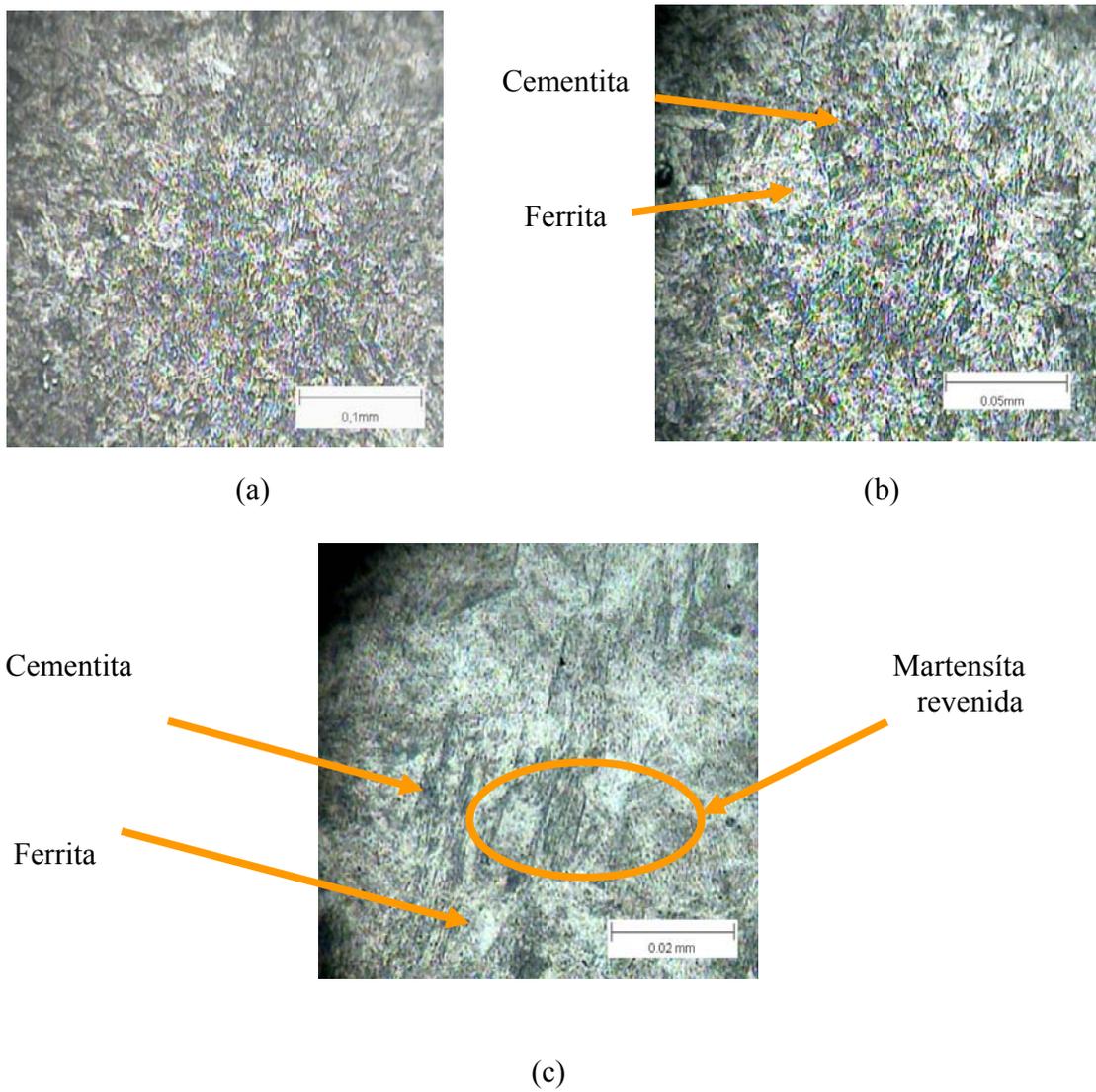


Figura 4.14. Microscopía de la condición de temple y revenido a 12 minutos, (a) con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.

En la figura 4.7 se muestra el material en condición de temple y revenido a 15 minutos, en donde se muestran partículas de cementita dentro de una matriz de ferrita.

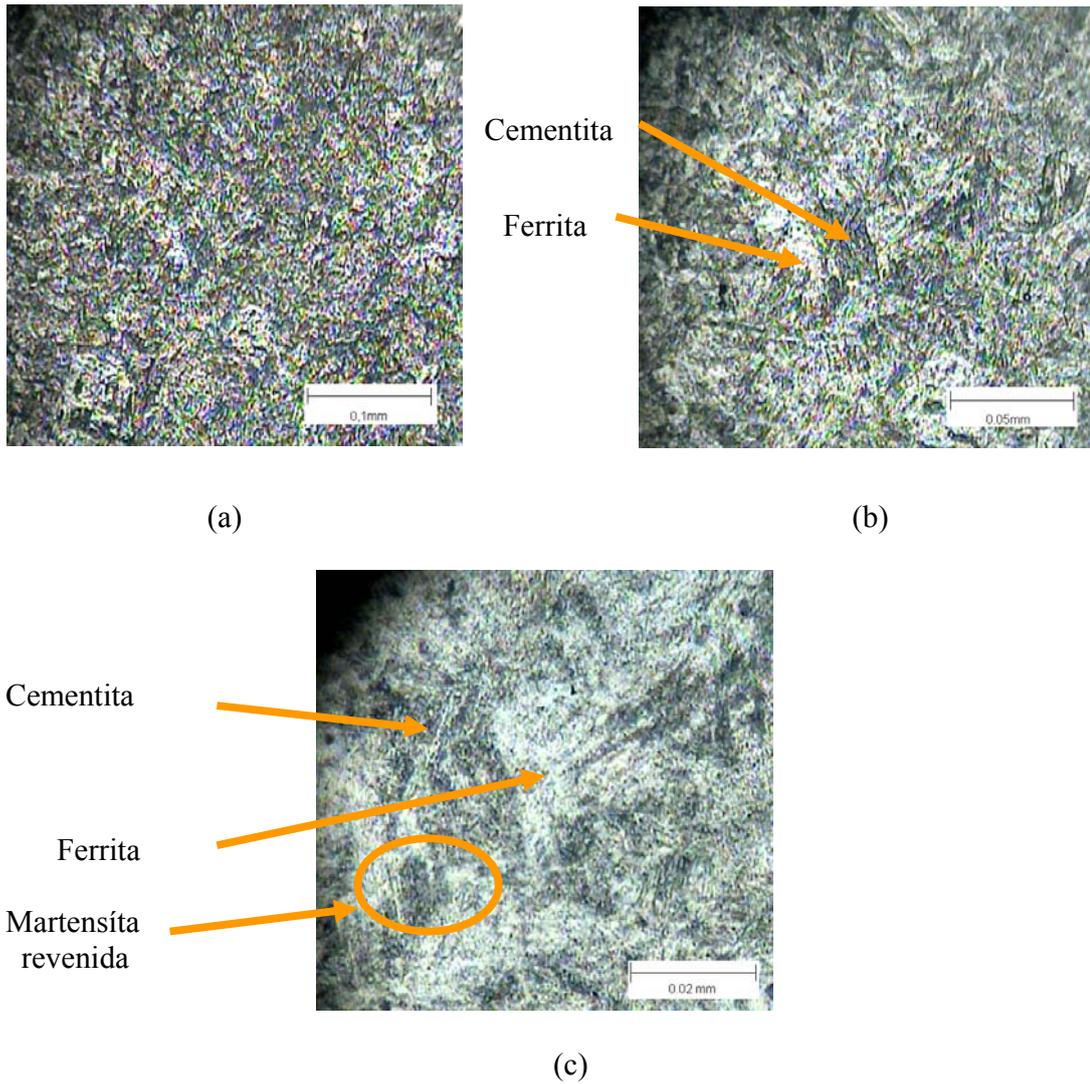


Figura 4.15. Microscopía de la condición de temple y revenido a 15 minutos, (a) con un aumento de 200X, (b) con un aumento de 400X y (c) con un aumento de 1000X. Reactivo de ataque Kalling's N° 1.

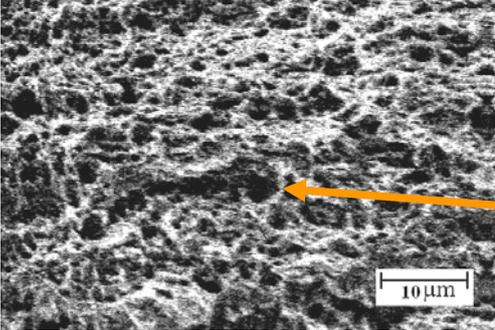
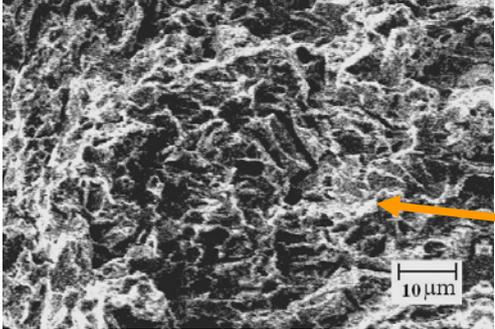
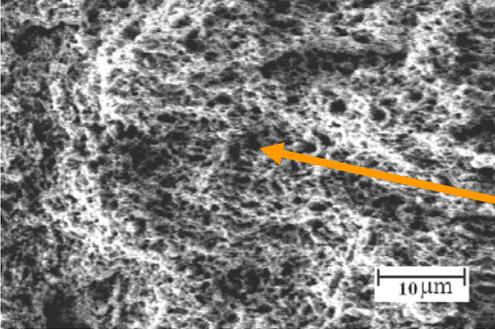
Para la microscopía óptica la condición original presenta una microestructura ferrítica con granos de perlita, la cual se convierte en martensita al aplicarle el tratamiento térmico de temple y posteriormente se alivian tensiones por medio del revenido presentando la microestructura martensita revenida, la cual tiene partículas de cementita en una matriz ferrítica. No se aprecian cambios significativos en la microestructura a medida que aumenta el tiempo de revenido.

4.6 Microscopía electrónica de barrido (M.E.B.)

Resultados de probetas fracturadas utilizando la microscopía electrónica de barrido.

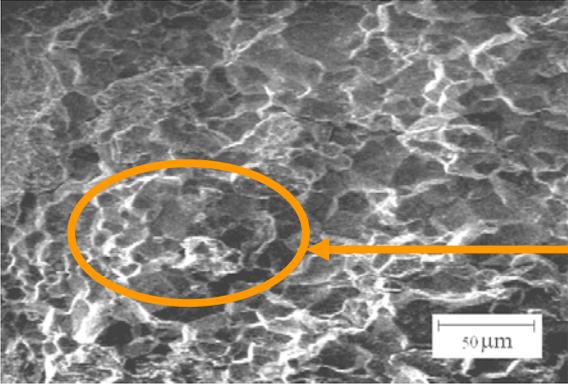
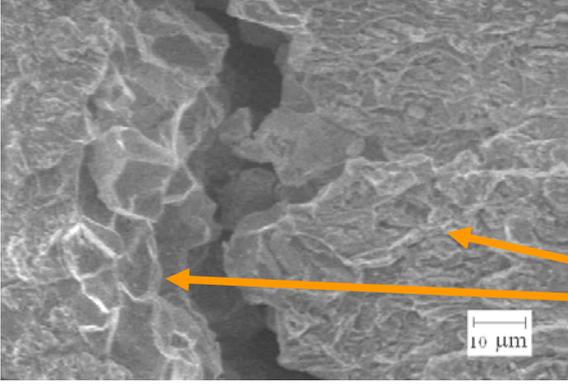
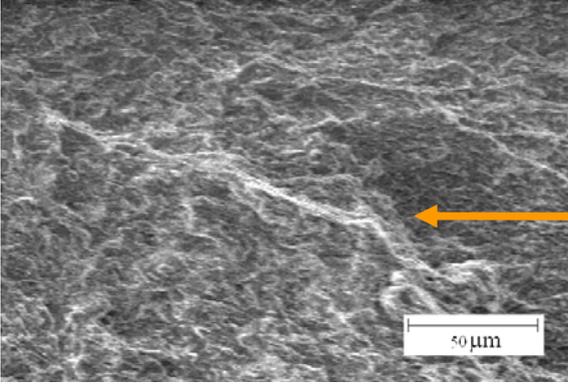
✓ Condición original

Tabla 4.6. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición original

	<p>Probeta de charpy en condición original con un aumento de 1500x: Mecanismo de fractura dúctil con presencia de micro hoyuelos o dimples.</p>
	<p>Probeta de Charpy en condición original con un aumento de 1000X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>
	<p>Probeta de tracción en condición original con un aumento de 1500X: Mecanismo de fractura dúctil con presencia de micro hoyuelos o dimples.</p>

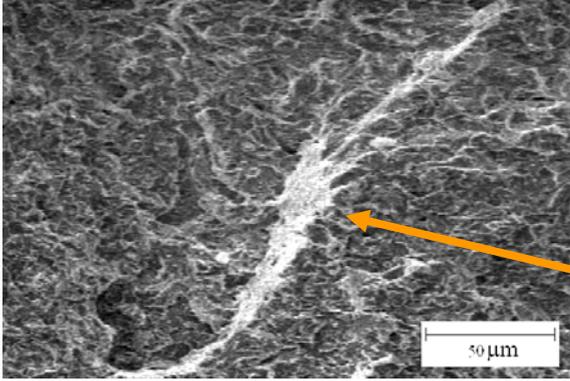
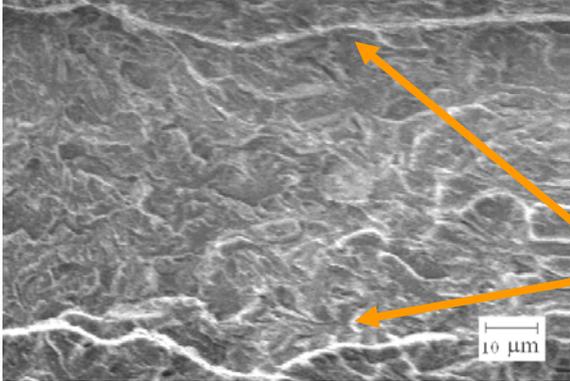
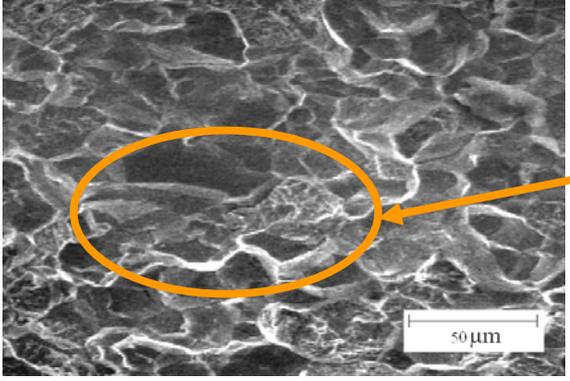
✓ **Condición de temple**

Tabla 4.7. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple

	<p>Probeta de charpy en condición de temple con un aumento de 350x: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular</p>
	<p>Probeta de Charpy en condición de temple con un aumento de 750X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular en la parte Izquierda y clivajes en la parte derecha</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple con un aumento de 500X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>

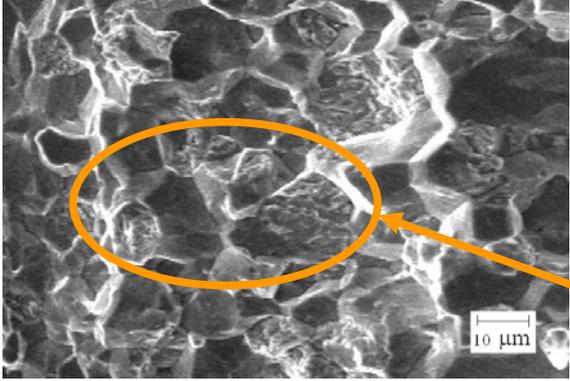
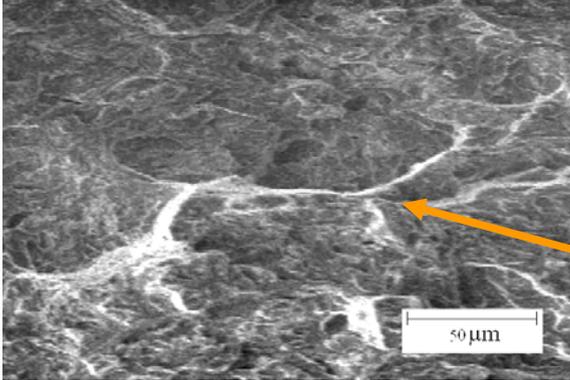
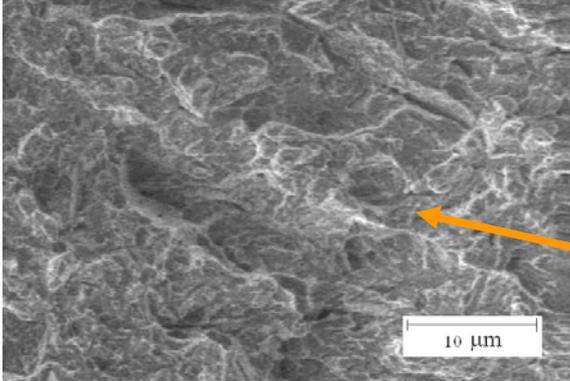
✓ **Condición de temple y revenido a 9 minutos**

Tabla 4.8. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 9 minutos.

	<p>Probeta de charpy en condición de temple y revenido a 9 minutos con un aumento de 500x: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 9 minutos con un aumento de 750X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 9 minutos con un aumento de 500X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular</p>

✓ **Condición de temple y revenido a 12 minutos**

Tabla 4.9. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 12 minutos

	<p>Probeta de charpy en condición de temple y revenido a 12 minutos con un aumento de 750x: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 12 minutos con un aumento de 500X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 12 minutos con un aumento de 2000X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes.</p>

✓ **Condición de temple y revenido a 15 minutos**

Tabla 4.10. M.E.B. de la zona de fractura de las probetas en condición de temple y revenido a 15 minutos

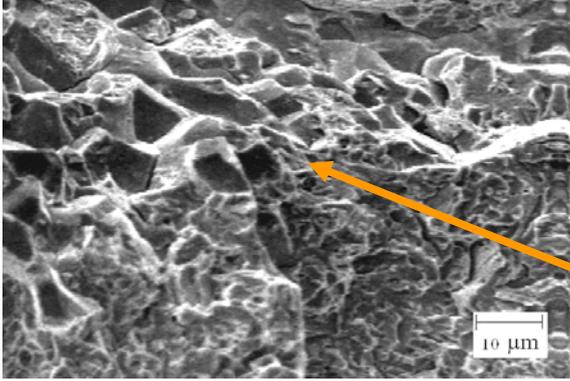
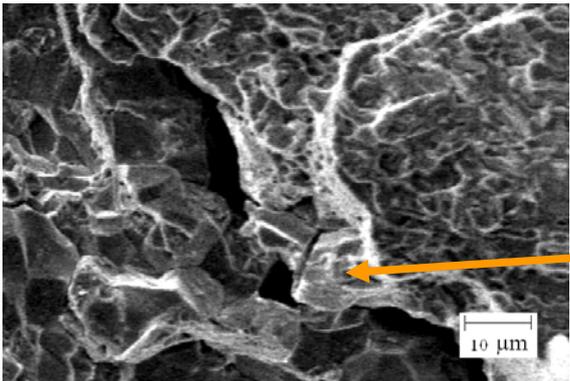
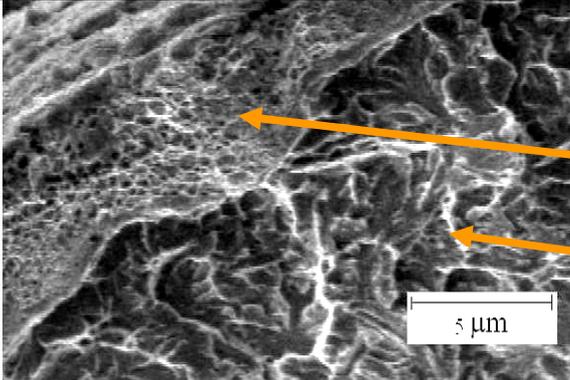
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 15 minutos con un aumento de 1000x: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular</p>
	<p>Probeta de charpy en condición de temple y revenido a 15 minutos con un aumento de 1000X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de superficie de fractura intergranular</p>
	<p>Probeta de tracción en condición de temple y revenido a 15 minutos con un aumento de 3500X: Mecanismo de fractura frágil con presencia de clivajes en parte derecha y presencia de micro hoyuelos en parte izquierda</p>

Figura 4.16. Comparación macro y micro de las superficies de fractura para las probetas de charpy

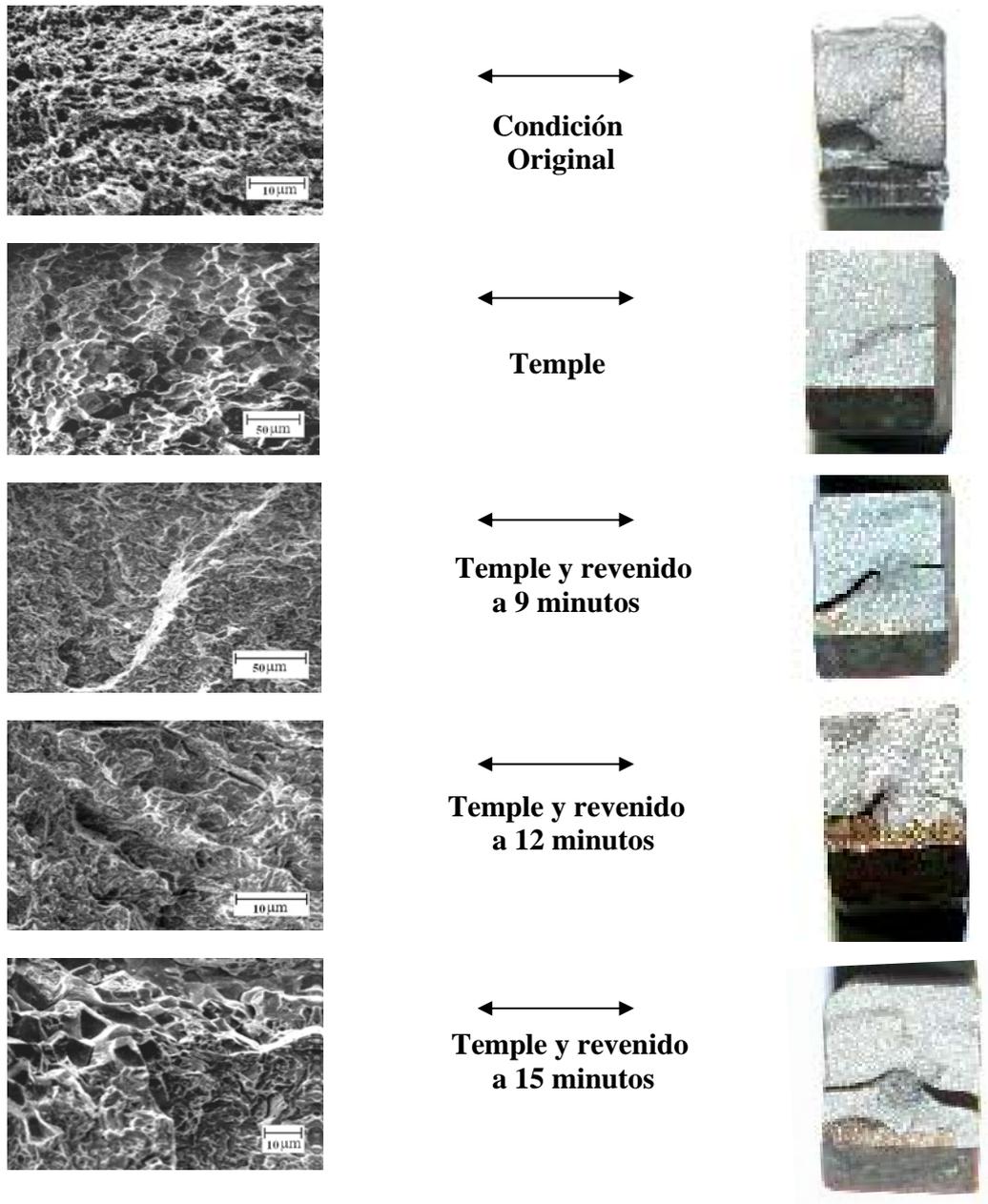
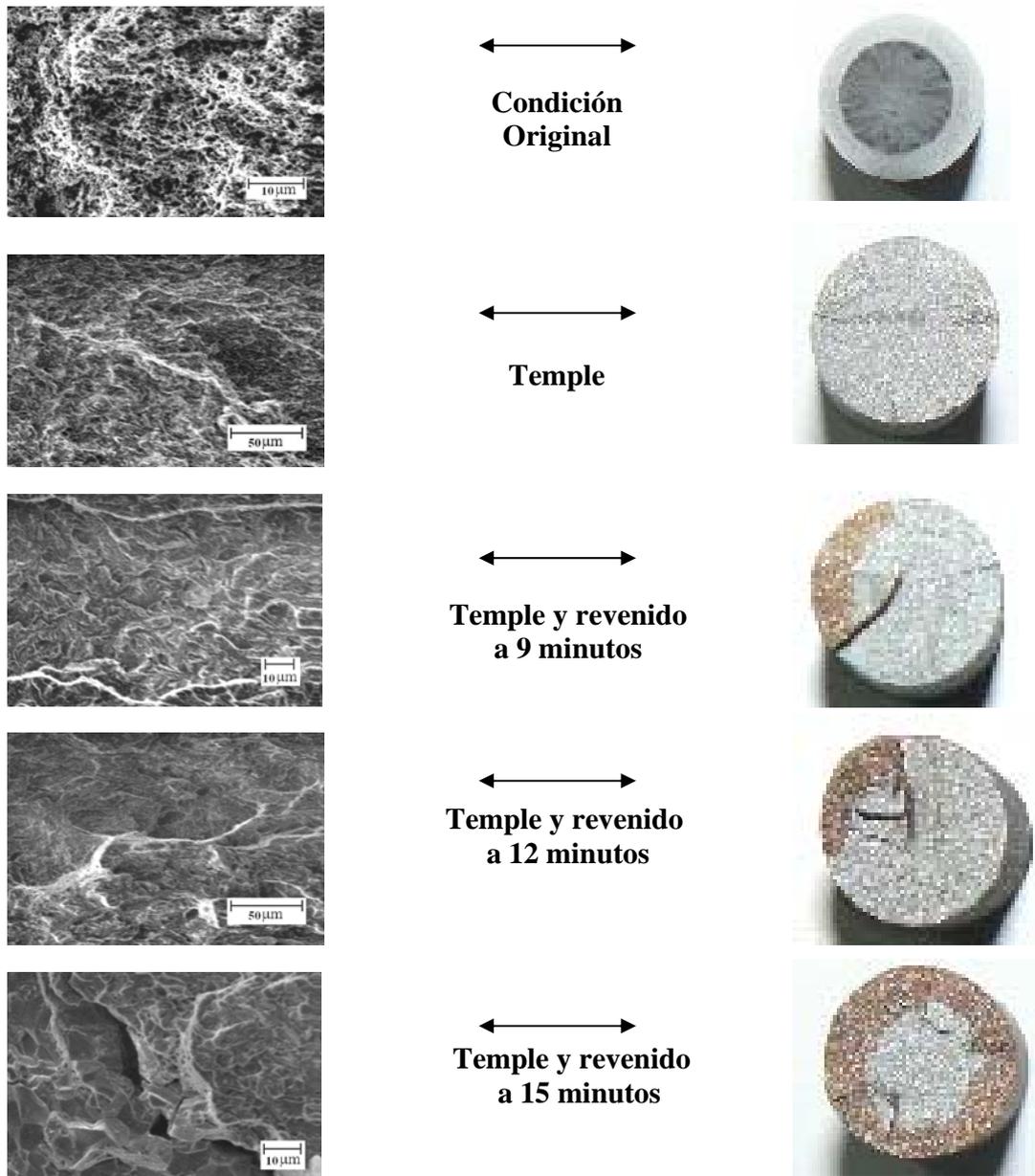


Figura 4.17. Comparación macro-micro de las superficies de fractura para las probetas de tracción



En la condición original se observa fractura dúctil tipo cono y copa de las probetas de tracción, en la cual predominan micro hoyuelos o dimples a nivel microscópico, estas se muestran en las tablas comparativas 4.10 y 4.11, indicando que es una fractura dúctil y de igual manera se puede ver en las probetas de impacto.

En la condición de temple se observa fractura plana con zonas de fractura intergranular y también se observan clivajes, lo cual evidencia un mecanismo de fractura frágil, de igual manera se aprecia para las condiciones de temple y revenido a 9, 12 y 15 minutos, tanto para las probetas de impacto como para las probetas de tracción.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- El material no tiene capacidad de absorber energía por impacto en la condición de temple (0.19J) y muy poca en las condiciones de temple y revenido, siendo la más alta de 1.37J en el revenido a 12 minutos, si se compara con la condición original, la cual es capaz de absorber 10J, esto es indicativo que el material tiene alta fragilidad y muy baja tenacidad de impacto cuando es tratado térmicamente bajo estas condiciones de temple y revenido.
- El comportamiento esperado específicamente de la resistencia mecánica del material sometido a temple es el de incrementarse y en el revenido de disminuir su resistencia mecánica, al realizar los ensayos se obtuvo un comportamiento anormal, la resistencia del material disminuyó en el temple y aumento con el revenido, lo cual es contradictorio y hace de este un comportamiento totalmente fuera de lo común.
- La resistencia disminuye al realizar el temple, esta se recupera al efectuar el revenido a 12 minutos hasta sobrepasar en un 7,3% la condición original. El revenido debe hacerse con un tiempo de permanencia en el horno de 12 minutos a una temperatura de 370°C para generar el mayor alivio de tensiones.
- La ductilidad del material medido por el porcentaje de elongación, disminuye drásticamente al realizar el temple en un 92.6%, lo cual evidencia fragilidad y con la aplicación de los revenidos a diferentes tiempos, produce muy poco incremento de esta propiedad.

- En los ensayos de tracción e impacto, mostraron que el mecanismo de fractura se transformó de dúctil a frágil al realizar los tratamientos térmicos, en donde la fractura dúctil es de tipo cono y copa con presencia de micro hoyuelos, en cambio la fractura frágil se caracterizó por tener una superficie de fractura plana con presencia de clivajes y en algunas zonas fractura intergranular debido al debilitamiento de los límites de grano.
- Para los ensayos realizados el revenido que generó el mayor alivio de tensiones es el de 12 minutos ya que con este se obtuvieron los máximos valores en las propiedades de resistencia, porcentaje de alargamiento y el menor valor de dureza entre las tres condiciones.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones a futuro en las cuales se aumentan los tiempos de revenido para estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas bajo estas condiciones.
- Estudiar el comportamiento del material al cambiar el medio de enfriamiento del tratamiento térmico de temple, como es el caso de aceite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Testing Materials (ASTM). (1996). *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 01.01 y Annual Book of ASTM Standards, Vol. 01.03*. U.S. H.L. Ewalds, R.J.H Wanhill (1984). **Fracture Mechanics**, editorial Edward Arnold.
- Cabrera, Jose y Flores, Miguel. (2005). *Evaluación de la tenacidad de impacto del acero inoxidable austenítico AISI 304 y AISI 316 sometido a tratamiento térmico de envejecimiento*. Tesis de pre-grado. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Chavez, Jesús y González, Ruben. (2006). *Evaluación de la tenacidad de impacto de un acero inoxidable duplex SAF 2205 al someterlo a un tratamiento termico normalizado*. Tesis de pre-grado. Valencia: Universidad de Carabobo.
- De Leca, Juan y León, Nestor. (2006). *Estudio del comportamiento mecánico del acero inoxidable ASTM – 410 al ser sometido a un tratamiento térmico de envejecimiento*. Tesis de pre-grado Valencia: Universidad de Carabobo.
- Metals Handbook. *American Society for Metals*. 8va. Edición. Ohio 1973. Vol 7. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
- Metals Handbook. *American Society for Metals*. 8va. Edición. Ohio 1973. Vol 8. Metallography, Structures and phase Diagrams.
- Morral, F. y Jonson, Carl. *Metalurgia General*, editorial Reverté.
http://books.google.co.ve/books?id=I-hsKRVkzsAC&pg=PA1157&lpg=PA1157&dq=molibdeno%2Befectos%2Bmetalurgica&source=web&ots=jC4Jl_v2Dc&sig=ctzjP4BcqRULNWybnKo7rOeWcow&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA1157,M1
- Callister William. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*, editorial Reverté.
http://books.google.co.ve/books?id=gnfPV1txXiUC&pg=PA197&lpg=PA197&dq=hoyuelo%2Bfractura&source=web&ots=Duuu00PbBq&sig=ttg2nEB2OsDmVQkVa93ssXlec8E&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPA197,M1

- Martensita y martensita revenida.

https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/ME32A/1/material_docente/objeto/131292

- SUMINDU S.A. Especificaciones técnicas del acero inoxidable AISI 420.

<http://www.sumindu.com/Especificaciones%20Tecnicas/26-%20420.pdf>

- Universidad Tecnológica de Pereira. Aceros inoxidables.

http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm

- Infoacero. Aceros y su clasificación.

http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm

- Tratamientos térmicos

<http://www.metalia.es/fichaarticulos.asp?id=68&sub=21>

- Tratamientos térmicos

<http://sifunpro.tripod.com/termos.htm>

ANEXOS

Caracas, 17/10/2008

REPORTE TÉCNICO

Solicitante: Jesús Martínez

Tipo de Material: Acero Inoxidable

Elementos a determinar: Carbono (C), Azufre (S), Manganeso (Mn), Silicio (Si), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Molibdeno (Mo) y Fósforo (P).

Métodos:

- Espectrofotometría de absorción atómica de llama para la determinación de Manganeso (Mn), Silicio (Si), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo).
- Gasometría por radiación infrarroja para la determinación de Carbono (C) y Azufre (S).
- Fotocolorimetría para la determinación de Fósforo (P).

Procedimiento o norma:

- Análisis de aceros y fundiciones, código MT-10. Manual de Métodos analíticos PERKIN ELMER.
- Norma ASTM E663: Flame Atomic Absorption Analysis.
- Norma ASTM E350: "Standard Methods for CHEMICAL ANALYSIS OF CARBON STEEL, LOW-ALLOY STEEL, SILICON ELECTRICAL STEEL, INGOT IRON AND WROUGHT IRON".

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Muestra	%C	%S	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%P
M1	0.26±0.01	0.029±0.001	0.51±0.00	0.04±0.02	12.75±0.17	0.37±0.01	0.09±0.01	0.023±0.001

Jefe del Lab. de Química Instrumental
Prof. Marcial Pérez
C.I.:11.965.983
pmarcialj@gmail.com

TABLE 1 Continued

UNS ^B Designation	Name	Composition, % ^A									
		Carbon	Manganese	Phos- phorous	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Other Elements
S43035	439	0.07	1.00	0.040	0.030	1.00	17.0-19.0	0.50		0.04	Al 0.15, Ti 0.20+ 4x(C+N) -1.10
S43036	430Ti	0.10	1.00	0.040	0.030	1.00	16.0-19.5	0.75			Ti 5xC-0.75
S43400	434	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.0-18.0		0.75-1.25		
S43600	436	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.0-18.0		0.75-1.25		Cb 5xC-0.80
S44200	442	0.20	1.00	0.040	0.040	1.00	18.0-23.0	0.60			
S44300	443	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	18.0-23.0	0.50			Cu 0.90-1.25 (Ti+Cb) 0.20+4x (C+N)-0.80
S44400	444	0.025	1.00	0.040	0.030	1.00	17.5-19.5	1.00	1.75-2.50	0.035	Cu 0.30-0.60, Cb 10x(C+N)- 0.80
S44500		0.020	1.00	0.040	0.012	1.00	19.0-21.0	0.60		0.03	
S44600	446	0.20	1.50	0.040	0.030	1.00	23.0-27.0	0.75		0.25	
S44626	XM-33	0.06	0.75	0.040	0.020	0.75	25.0-27.0	0.50	0.75-1.50	0.040	Cu 0.20, Ti 7x(C+N)- 1.00, and Ti 0.20 min
S44627	XM-27	0.010	0.40	0.020	0.020	0.40	25.0-27.5	0.50	0.75-1.50	0.015	Cu 0.20, Cb 0.05-0.20, Ni+Cu 0.50 Ti+Cb 0.20+4x (C+N)-0.80
S44635	25-4-4	0.025	1.00	0.040	0.030	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	3.5-4.5	0.035	Ti+Cb 0.20+4x (C+N)-0.80
S44660	26-3-3	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	25.0-28.0	1.0-3.5	3.0-4.0	0.040	Ti+Cb 6x(C+N)- 1.00, and Ti-Cb 0.20 min
S44700	29-4	0.010	0.30	0.025	0.020	0.20	28.0-30.0	0.15	3.5-4.2	0.020	Cu 0.15, C+N 0.025
S44735	29-4C	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	28.0-30.0	1.00	3.6-4.2	0.045	Ti+Cb 6x(C+N)- 1.00, and Ti-Cb 0.20 min
S44800	29-4-2	0.010	0.30	0.025	0.020	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	3.5-4.2	0.020	Cu 0.15, C+N 0.025
S46800		0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	18.0-20.0	0.50		0.030	Ti 0.07-0.30, Cb 0.10-0.60, and Ti+Cb 0.20+4x(C+N) -0.80
Martensitic Grades											
S40300	403	0.15	1.00	0.040	0.030	0.50	11.5-13.0				
S41000	410	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.5-13.5				
S41003		0.030	1.50	0.040	0.030	1.00	10.5-12.5	1.50		0.030	
S41008	410S	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.5-13.5				
S41026		0.15	1.00	0.02	0.02	1.00	11.5-13.5	1.00-2.00	0.40-0.60		Cu 0.50
S41040	410Cb	0.18	1.00	0.040	0.030	1.00	11.5-13.0				Cb 0.05-0.30
S41041		0.13-0.18	0.40-0.60	0.030	0.030	0.50	11.5-13.0	0.50	0.20		Al 0.05, Cb 0.15-0.45
S41400	414	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50			
S41500		0.05	0.50-1.00	0.030	0.030	0.60	11.5-14.0	3.5-5.5	0.50-1.00		
S41600	416	0.15	1.25	0.06	0.15 min	1.00	12.0-14.0				
S41610	XM-6	0.15	1.50-2.50	0.06	0.15 min	1.00	12.0-14.0				
S41623	416Se	0.15	1.25	0.06	0.06	1.00	12.0-14.0				Se 0.15 min
S41800	615	0.15-0.20	0.50	0.040	0.030	0.50	12.0-14.0	1.80-2.20	0.50		W 2.5-3.5
S42000	420	0.15 min	1.00	0.040	0.030	1.00	12.0-14.0				
S42010		0.15-0.30	1.00	0.040	0.030	1.00	13.5-15.0	0.35-0.85	0.40-0.85		
S42020	420F	0.30-0.40	1.25	0.06	0.15 min	1.00	12.0-14.0		0.50		
S42023	420FSe	0.20-0.40	1.25	0.06	0.06	1.00	12.0-14.0		0.50		Se 0.15 min
S42200	616	0.20-0.25	0.50-1.00	0.025	0.025	0.50	11.0-12.5	0.50-1.00	0.90-1.25		V 0.20-0.30, W 0.90-1.25, V 0.20-0.30
S42300	619	0.27-0.32	0.95-1.35	0.025	0.025	0.50	11.0-12.0	0.50	2.50-3.00		
S43100	431	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50			
S44002	440A	0.60-0.75	1.00	0.040	0.030	1.00	16.0-18.0		0.75		
S44003	440B	0.75-0.95	1.00	0.040	0.030	1.00	16.0-18.0		0.75		

Larrondo LOIU (Vizcaya) España
 Correo al apartado 1.323/48080 BILBAO
 T. 34-(4)47113 00 Fax. 34-(4)45316 36



Quality Management System Approved

ACEROS INOXIDABLES

OLARRA

5 14 1 1 5

SUMINISTRO DE ACEROS ESPECIALES,
 AVDA. TRIESTE EDIF. CALIFORNIA
 APDO. 70.038 - CARACAS 1071 - VE

WZ Nach:

Certificado Tipo:

Certificate Type: EN 10.204 : 1991

Certificat Type:

Datum - Fecha - Date 11 DE JUNIO 19 98

Prüf-nr. - Certificado - Certificate - Certificat 288.477 Rechnung - Factura - Invoice - Facture

Werkst.-Nr. N.º de fábrica Our order N.º N/Commande N.º 797.542	Bestell.-Nr. Pedido n.º Your order N.º V/Commande N.º 2450	Anforderungen/Exigencias/Requirements/Conditions	Werkstoff Material Material Nuance	Marken: Marca: Type: Type: AISI-420 Entsprechend: Corresponde: According to: ASTM A 278-97 D'accord Avec: Ausgabe - Edición - Edition:
---	--	--	---	---

Prüfgegenstand - Perfil de prueba - Item inspected - Profil essayé: Stabstahl - Barras de acero - Steel bars - Barres d'acier:

Erschmelzungsart:
Forma de fusión:
Melting process:
Procédé d'élaboration:
E-Argon Sauerstoffentkohlung
E-A.O.D.

Kenzeich - Distintivo - Distinctif - Identif.

Umfang der Lieferung Objeto del suministro Scope of delivery Objet de la livraison	Pos. Nr. Pos. N.º Sample N.º Echantillon N.º	Bündel Bultos Bundles Colis	Stäbe Barras Bars Barres	Gewicht Peso Kgs. Weight Poids	Gegenstand - Designación Shape and size - Produit et dimension	Probe Nr. Prueba N.º Sample N.º Echantillon N.º	Schmelze - Colada Heat - Coulée
		2		969	REDONDO 12,70 MM	1	701128

Zeichen des Lieferwerks - Anagrama del suministrador.
Trade mark - Signe du producteur:

Werkssachverständiger - Anagrama del receptor.
Works-inspector stamp - Signe de l'expert

1. Gewalzt Laminado	2. Geglüht Recocido Annealed Recuit	3. Vergütet Bonificado Hard./Temp. Traité	4. Normalglühen Normalizado Normalised Normalisé	5. Abgeschreckt Hipertempe Solution annealed Hypertempe	6. Gebeizt Decapado Pickled Decape	7. Geschalt Tor. basto Rough turned Ecroûte	8. Drehen Torneado Turned Tourné	9. Geschliffen Rectificado Centerless grinded Rectifié	10. Poliert Pulido Polished Poli	11. Gezogen Estrado Cold drawn Etiré	h. 10
	G								X	X	

Wärmebehandlung:
Tratamiento térmico.
Heat treatment.
Traitement thermique:

Grad C/Wasser:
Grados °C/Agua:
Degrees C/Water:
Degres C/Eau:

Ergebnis der Prüfungen - Resultados de los ensayos - Test results - Résultats des ess

Abmessungen des Probekörpers. Medida de las Probetas Dimensions of Specimen. Dimension des Eprouvettes	Temp °C	Probe Nr. Pro. N.º Spec. N.º	0,2 % Rp N/m.m. ² MPA	1 % Rp N/m.m. ² MPA	RM N/m.m. ² MPA	A	Z	Kerbscha - Resiliencia ISO V (J) Impact Test - Résilience	Härte Dureza Hardness Dureté HB
RED. 10 MM.									
	200	1	625	675	725	20	64		207

Schemelzenanalyse - Análisis químico - Chemical analysis - Analyse chimique

Schmelze Colada Heat Coulée	C. %	Si. %	Mn. %	P. %	S. %	Cr. %	Mo. %	Ni. %	Ti. %	Cu. %	N. %
701128	0,202	0,35	0,51	0,023	0,028	13,25					0,0300

Besichtigung und Ausmessung
Comprobación visual y medidas
Visual inspection and dimensional checks
Contrôle visuel et dimensionnel

In Ordnung - Efectue - Satisfactory.

ACEROS INOXIDABLES OLARRA, S.
Abt. Werkstoffprüfung



[Handwritten signature]

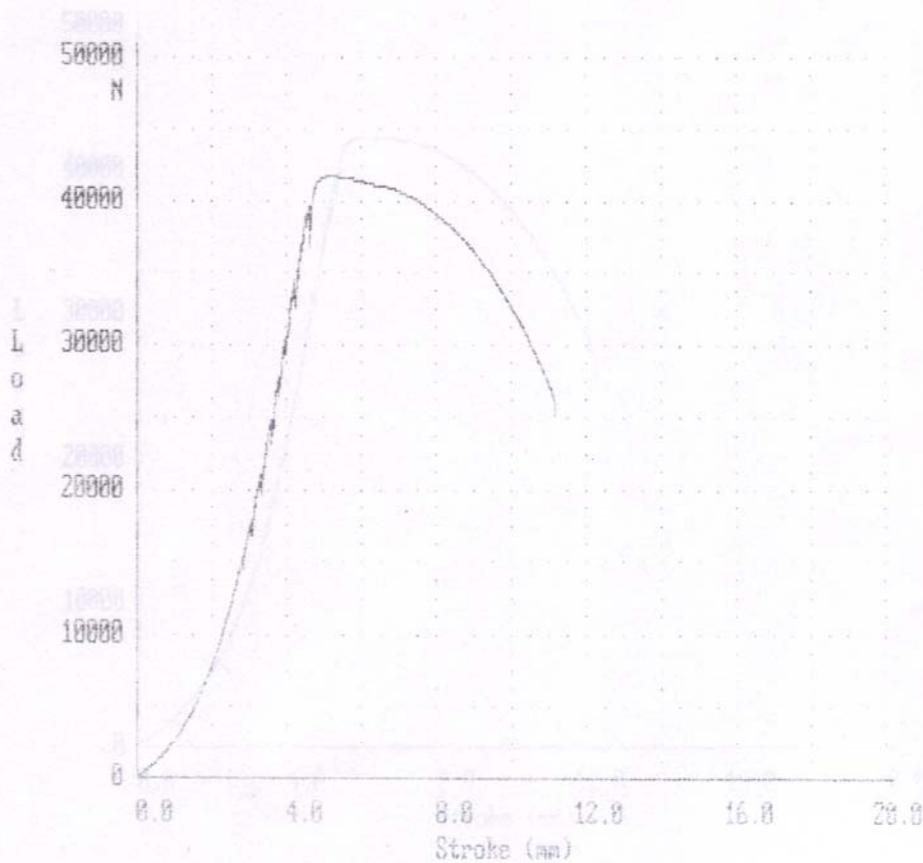
CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing
Manual processing
CTM 20 GALDABINI
CTM 20 GALDABINI

Ensayo de Traccion
Ensayo de Traccion
Codigo muestra : Probeta Nro 1
Codigo muestra : Probeta Nro 1

Acero Inox AISI 420
Acero Inox AISI 420
Condicion Original
Velocidad 2mm/min

Maximum load : 42190.00 N
Maximum load : 41726.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 09:43:25

Operator : Yosmari P.

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES

CENTRO UNIVERSIDAD DE CARABOBO

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

CTM 20 GALDABINI

CTM 50 GALDABINI

Ensayo de Traccion

Codigo muestra : Probeta Nro 2

Codigo muestra : Probeta Nro 3

Acero Inox ATSI 420

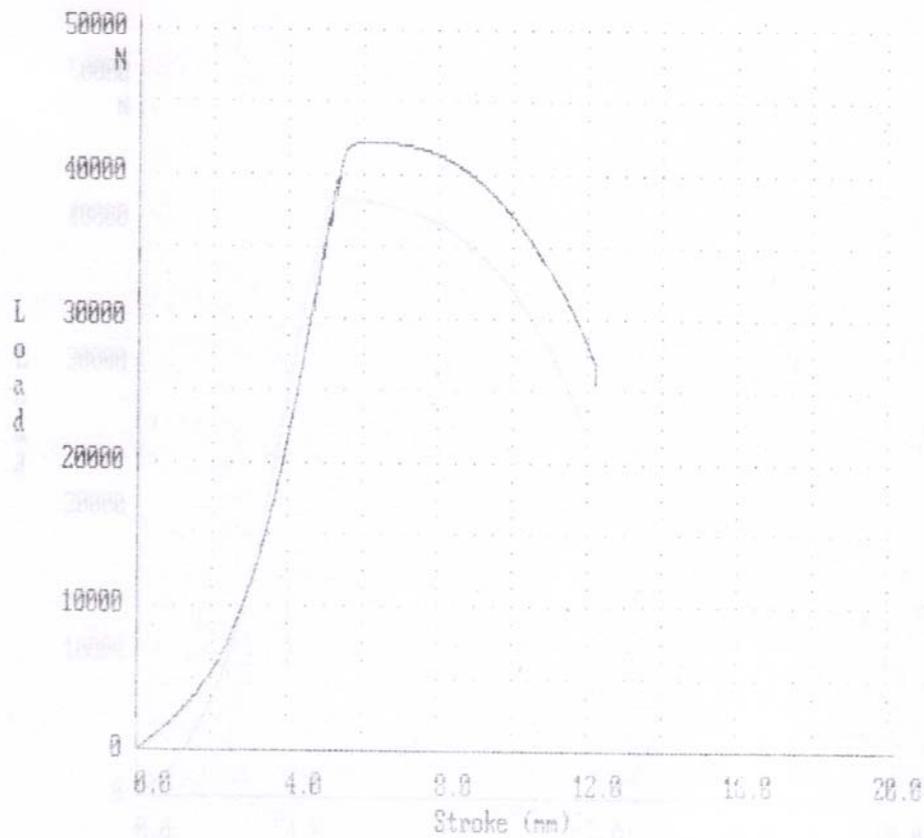
Condicion Original

Velocidad 2 mm/min

Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 42190.00 N

Yield load : 41375.00 N



Fecha : 23-07-2008 Hora : 09:57:40

Operador : YOSMARI P...

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

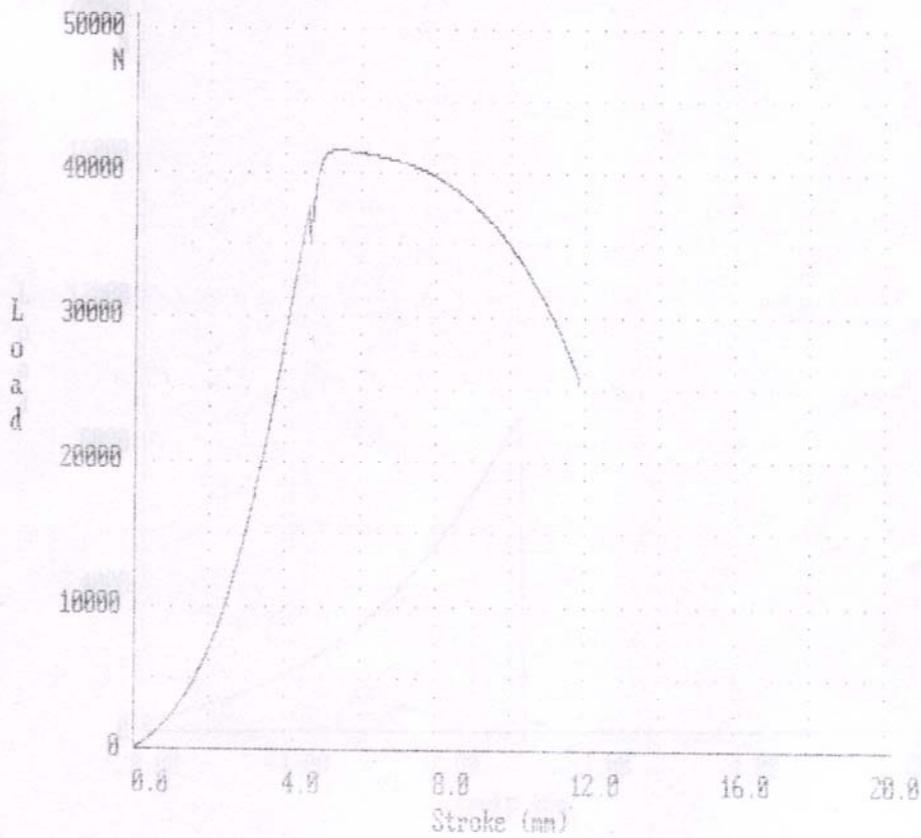
Manual processing
CTM 20 GALDABINI

Ensayo de Traccion

Codigo muestra : Probeta Nro 3

Acero Inox ATSI 420
Condicion Original
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 41575.00 N



CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

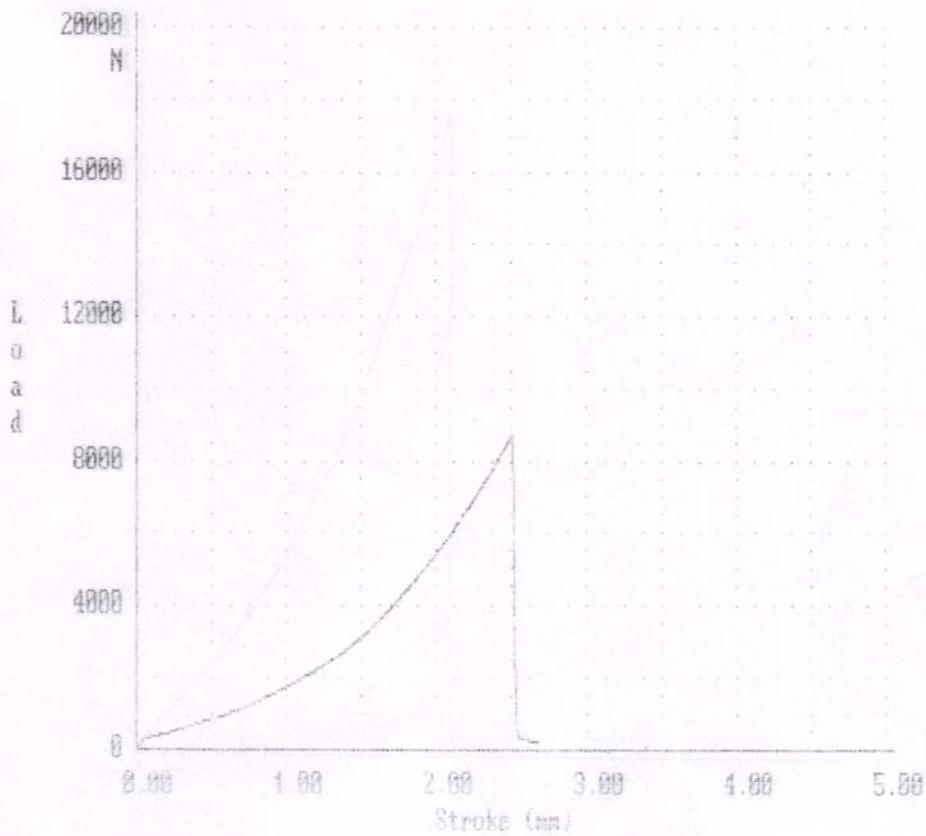
CTM 20 GALDABINI

Ensayo de Traccion

Codigo muestra : Probeta Nro 15

Acero Inox AISI 420
Tratamiento T. Temple *Temple*
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 8730.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 10:20:00

Operador : YOSMARI P...

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

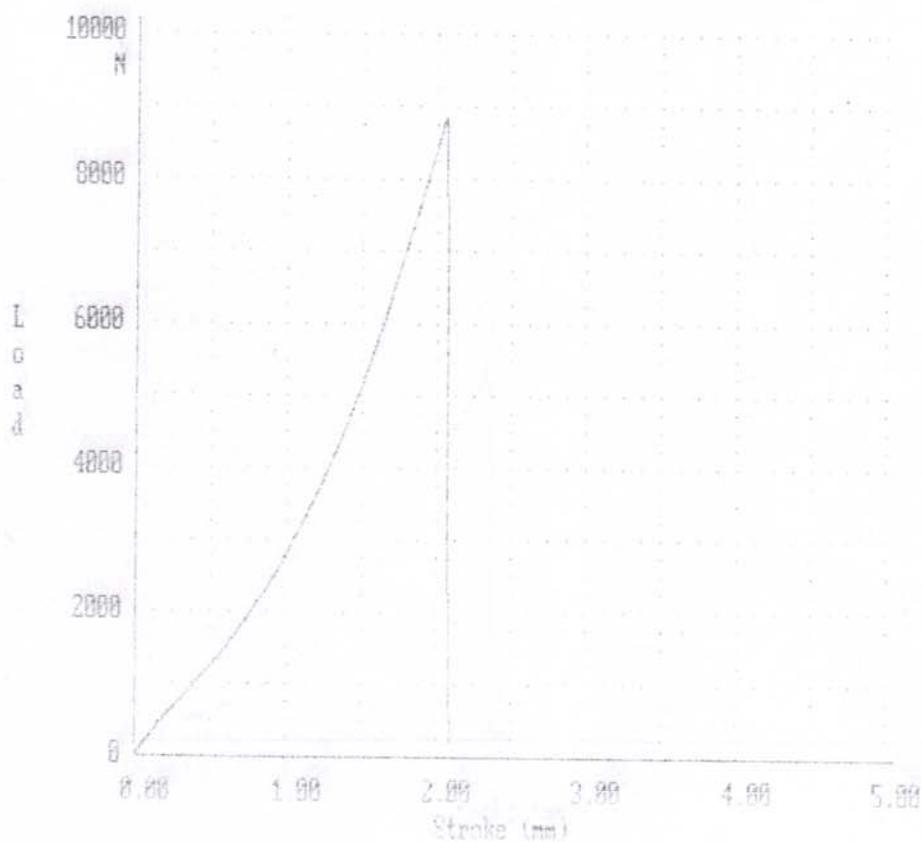
Manual processing
CTM 20 GALDARINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 3

Acero Inox ATSI 420
Condicion Original → Temple
Velocidad 3 mm/min

Maximum load : 8851.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 11:11:41

Operador : YOSMARI P.

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

CTM 20 GALDABINI

CTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : ATSI 420 T. TEMPLE A 1010 C

Codigo muestra : Probeta Nro 1

PROBETA Nro 4

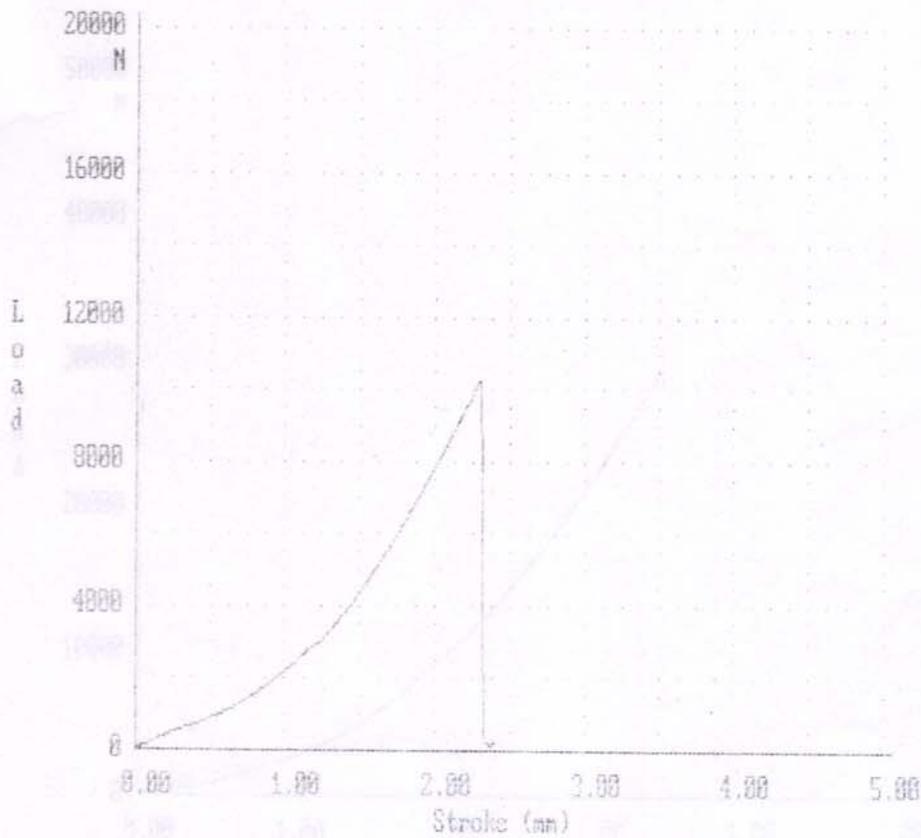
Velocidad 2 mm/min

T.T. TEMPLADO Y REVENIDO 9 min

Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 10231.00 N

Maximum load : 24493.00 N



Fecha : 01-08-2008

Hora : 09:54:50

Operador : VOSMART P...

Fecha : 01-08-2008

Hora : 09:54:50

Operador : VOSMART P...

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

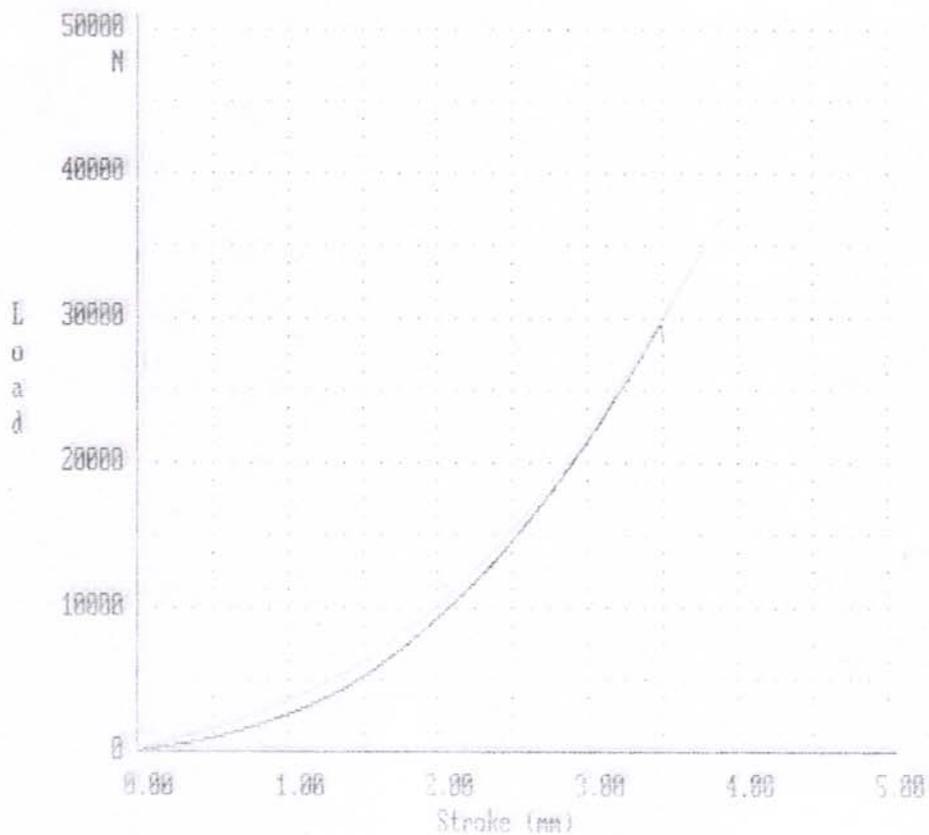
Manual processing
GTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 1

ACERO INOX AIST 420
T.T TEMPLADO Y REVENIDO 9 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 29493.00 N



CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

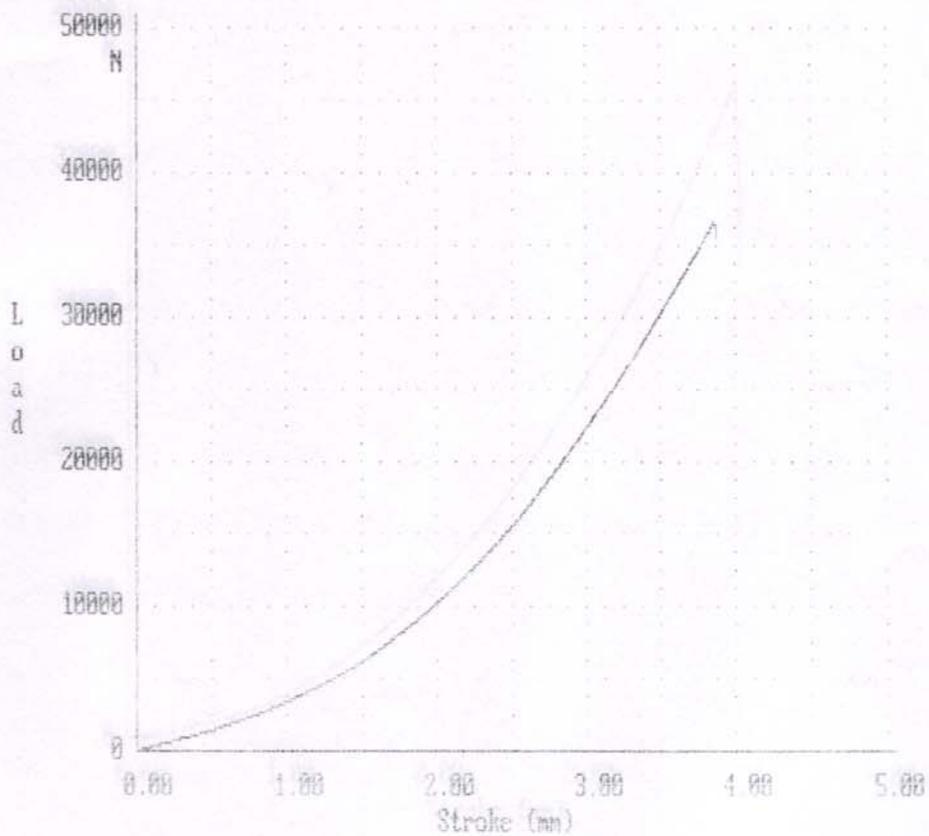
Manual processing
CTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 2

ACERO INOX AIST 420
T.T TEMPLADO Y REVENTIDO 9 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 36541.00 N



CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

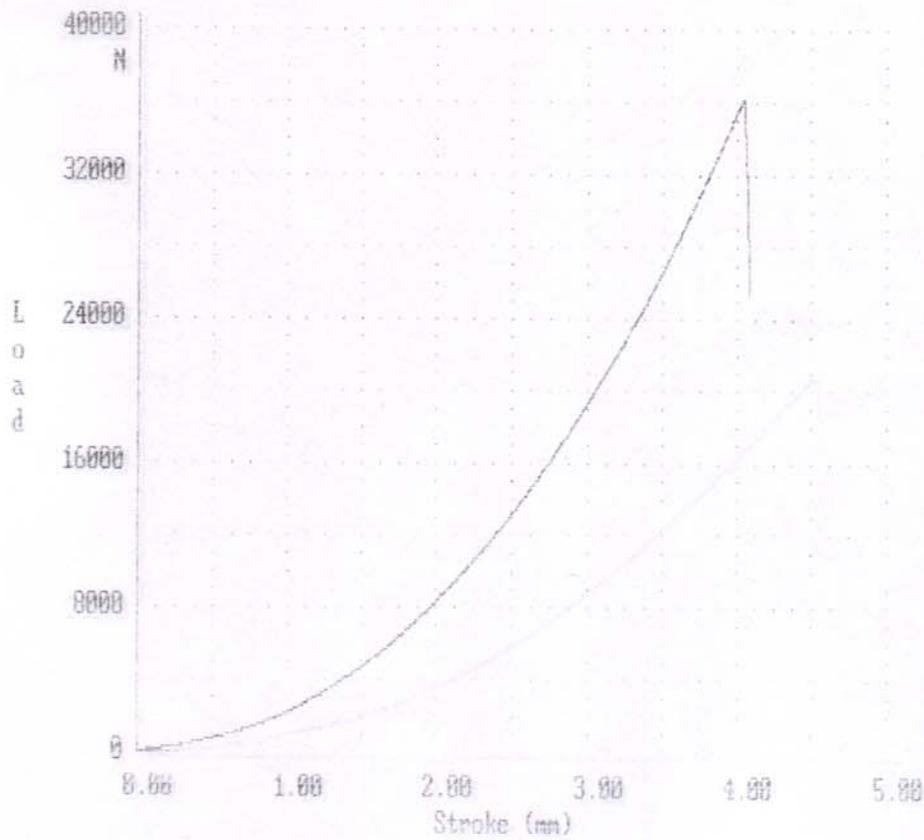
CTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 1

ACERO INOX ATSI 420
T.T TEMPLADO Y REVENTIDO 12 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum Load : 36090.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 11:43:31

Operador : YOSMART P.

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

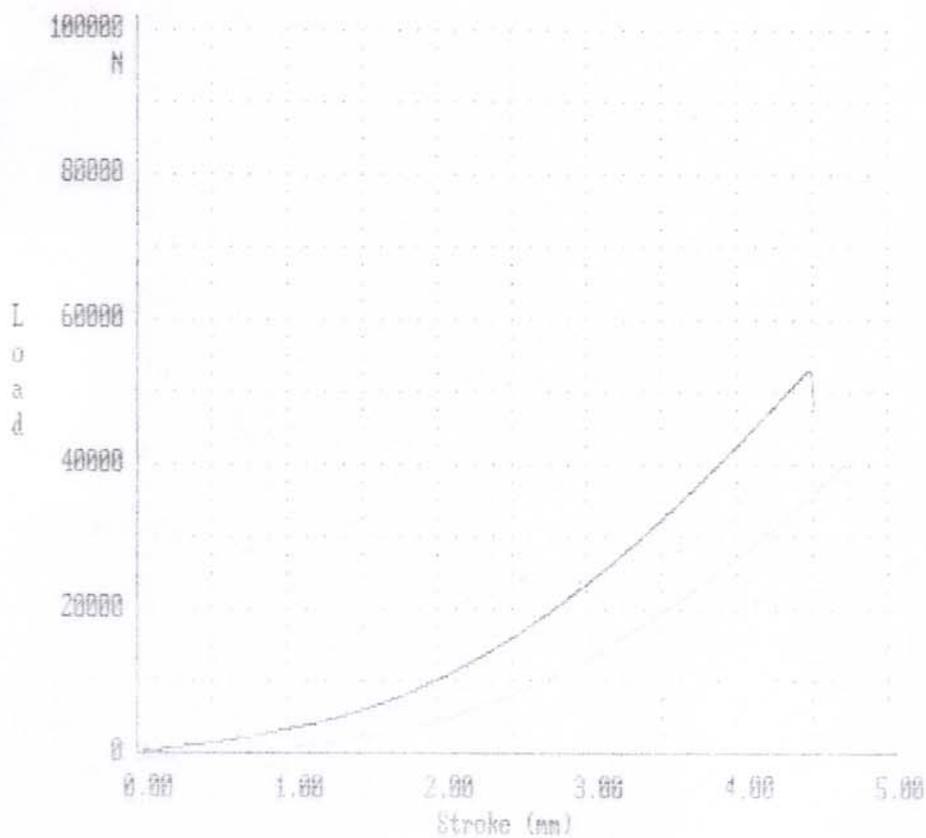
CTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 2

ACERO INOX ATST 420
T.T TEMPLADO Y REVENIDO 12 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 52965.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 11:49:35

Operador : YOSMART P...

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

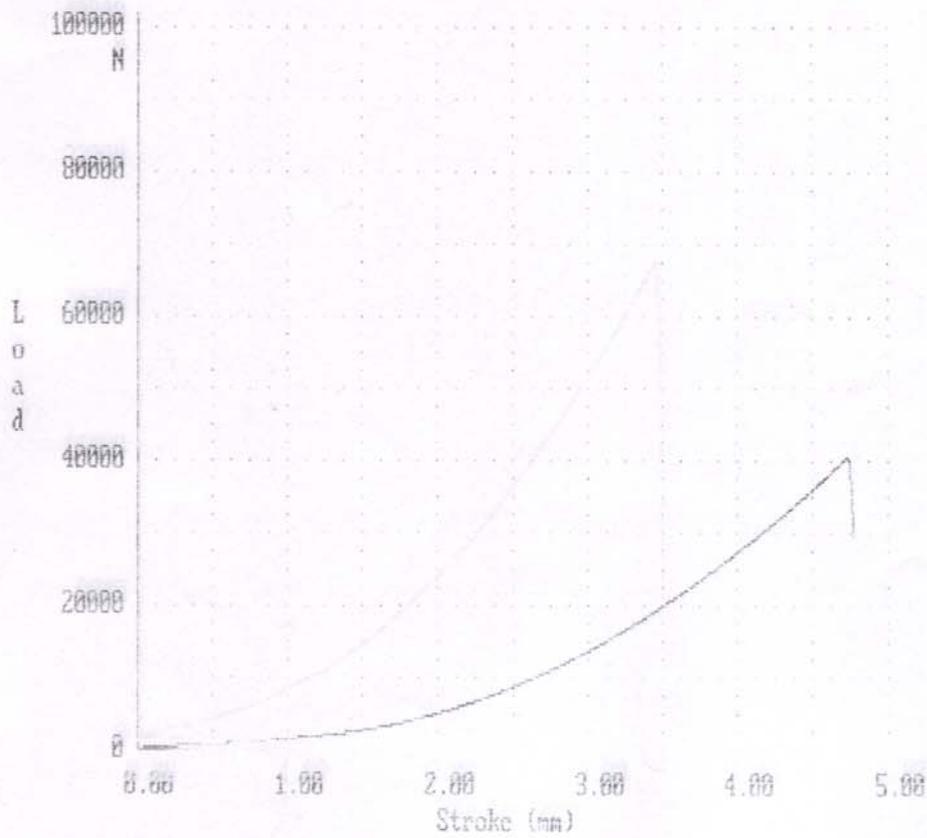
Manual processing
CTM 20 GALDABINI

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 1

ACERO INOX AISI 420
T.T TEMPLADO Y REVENIDO 15 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 40271.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 14:41:53

Operador : YOSMART.....

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

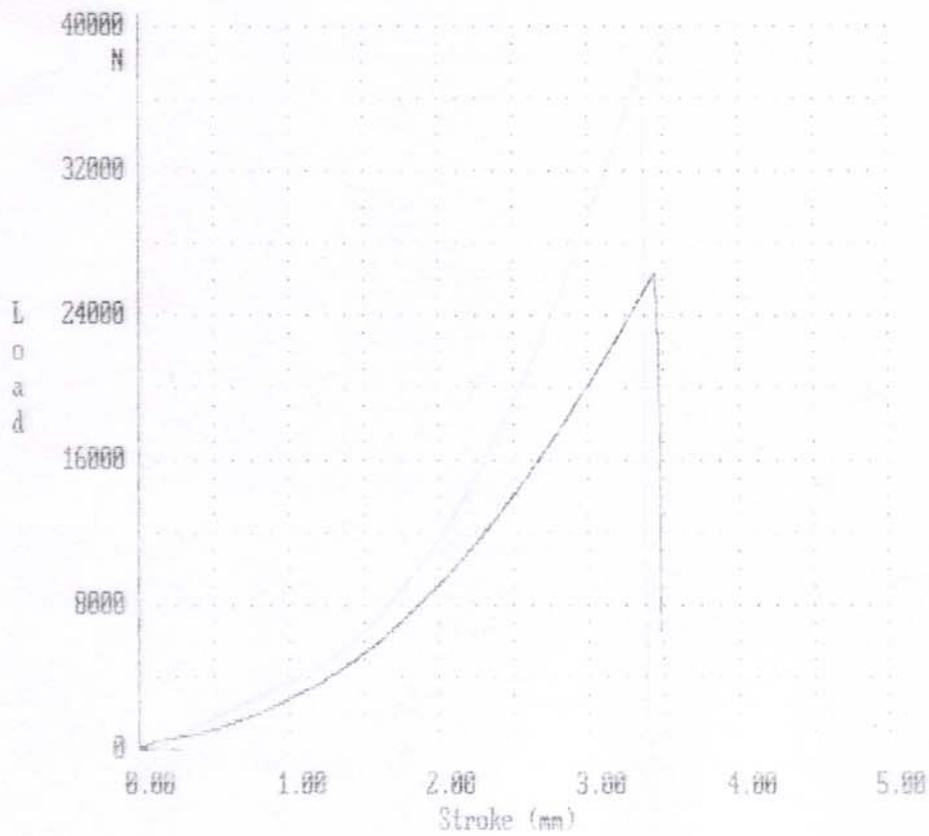
CTM 20 GALDABINT

ENSAYO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 2

ACERO INOX AIST 420
T.T TEMPLADO Y REVENTIDO 15 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 26218.00 N



Fecha : 23-07-2008

Hora : 14:48:35

Operador : YOSMARE P...

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Manual processing

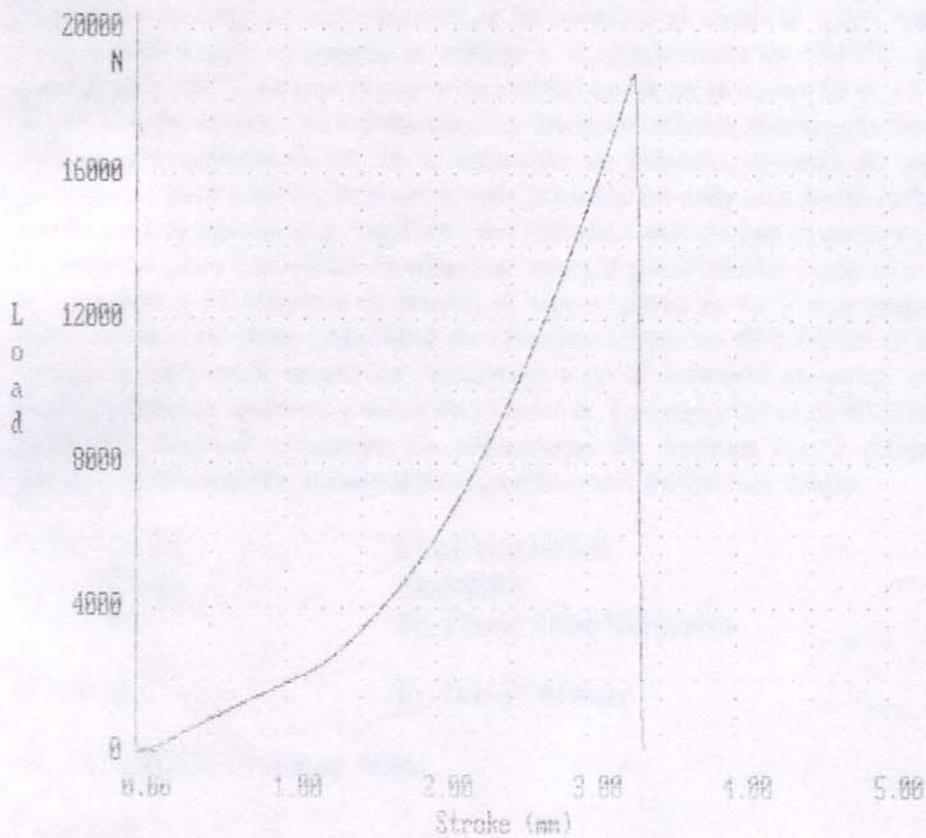
CTM 20 GALDABINI

ENSAVO DE TRACCION

Codigo muestra : Probeta Nro 3

ACERO INOX AIST 420
T.T TEMPLADO Y REVENTIDO 15 min
Velocidad 2 mm/min

Maximum load : 18815.00 N



Fecha : 23-07-2008 , Hora : 14:54:09

Operador : YOSMART P.