

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE UN ACERO DE ALTA ALEACIÓN USADO PARA EL CORTE DE CAPUCHONES PLÁSTICOS.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ

juan.timbila@epn.edu.ec

DIRECTOR: CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE

carlos.diaz@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ, bajo mi supervisión.

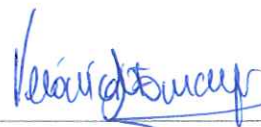


CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.



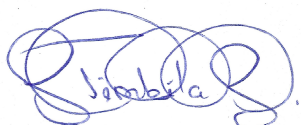
DIEGO MARCELO ESPINOSA CHAUVIN
REVISOR1 DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR




MARIA VERONICA SOTOMAYOR GRIJALVA
REVISOR2 DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ



CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE

DEDICATORIA

A mis padres Gabriel Timbila y Consuelo Yáñez, por ser una guía y un apoyo en todo momento.

A mi esposa Viviana, tu apoyo me ayudo a lograr esta meta.

A mi hija Consuelo Abigaíl, el motivo de mi lucha y mi más grande amor.

A mis hermanas Alexandra y Karina, un ejemplo a seguir.

A mi pequeña sobrina Catalina.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme todo en esta vida.

A mis padres Gabriel Timbila y Consuelo Yáñez por su apoyo incondicional, ser un ejemplo de hogar, trabajo, y perseverancia. Gracias papá, por darme todo lo mejor, gracias por enseñarme que a pesar de todos los golpes que da la vida hay que seguir adelante y nunca rendirse. Gracias mamá, por siempre darme tu amor, por tu mano dura, por ser una buena madre, sé que me cuidas desde el cielo, te agradezco por todo, te amo mamá.

A mi pequeña familia, mi esposa Viviana y mi hija Consuelito Abigaíl, por su apoyo, son el motor de mi vida, las amo. Gracias gorditas.

A mis hermanas Alexandra y Karina gracias por todo.

A mi tutor Ing. Carlos Díaz, gracias por ser una guía, en este camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Película plástica de sellado (capuchones plásticos)	2
1.4.2 Cuchilla y máquina para corte de películas plásticas.....	3
1.4.3 Aceros.....	5
1.4.4 Aceros aleados.....	6
1.4.5 Acero Inoxidable.....	7
1.4.6 Aceros inoxidable martensíticos	8
1.4.7 Acero inoxidable martensítico AISI 420	9
1.4.8 Maquinabilidad del acero inoxidable martensítico AISI 420	9
1.4.8.1 Microestructura del acero AISI 420.....	10
1.4.8.2 Propiedades mecánicas del acero AISI 420	11
1.4.8.3 Composición química del acero AISI 420	12
1.4.8.4 Aplicaciones y tratamientos térmicos.....	12
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Obtención de la materia prima	15
2.2 Obtención de probetas.....	15
2.2.1 Probetas en su condición de fábrica (CF).....	15
2.2.2 Probetas tratadas térmicamente templadas y revenidas (TR)	15
2.3 Ensayo de tensión en su condición de fábrica.....	15
2.3.1 Ensayo de tensión: probetas templadas con doble revenido.	18
2.4 Ensayo de dureza	19
2.4.1 Ensayo de dureza: probetas templadas con doble revenido.....	20

2.5	Análisis metalográfico	20
2.5.1	Análisis metalográfico: probeta templada con doble revenido	25
2.6	Composición química	25
2.7	Tratamiento térmico	27
3	RESULTADOS	29
3.1	Resultados	29
3.1.1	Resultados del ensayo de electrometría de chispa.....	29
3.1.2	Resultados del ensayo de tensión.....	29
3.1.2.1	Probetas después del ensayo de tensión.	31
3.1.3	Resultados del ensayo de dureza	34
3.1.4	Resultado de las metalografías	35
3.1.4.1	Metalografías en su condición de fábrica (Recocido).....	35
3.1.4.2	Metalografías luego del temple y doble revenido.....	37
3.2	Comparación de las propiedades mecánicas del acero AISI 420 y el acero DF2 (AISI 01).....	38
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1	Conclusiones	42
5.2	Recomendaciones	43
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
7	ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de los aceros según su composición.....	6
Tabla 1.2. Principales aceros inoxidable martensíticos.....	9
Tabla 1.3. Propiedades mecánicas para placas de acero inoxidable al cromo para recipientes y aplicaciones generales.....	11
Tabla 1.4. Composición química del acero inoxidable martensítico 420	12
Tabla 2.1. Características técnicas de la máquina para el ensayo de tensión.	17
Tabla 2.2. Características técnicas del durómetro usado para el ensayo de dureza.....	20
Tabla 2.3. Características técnicas de la máquina desbastadora de lija de disco	21
Tabla 2.4. Características técnicas: equipo de preparación y pulido.....	22
Tabla 2.5. Características técnicas del microscopio metalográfico.	24
Tabla 2.6. Características técnicas del Espectrómetro de Chispa	26
Tabla 2.7. Parámetros del tratamiento térmico.	27
Tabla 3.1. Composición química del acero AISI 420.....	29
Tabla 3.2. Valores promedio del ensayo de tensión del material AISI 420 en sus dos condiciones.....	30
Tabla 3.3. Superficie de fractura en las probetas del material AISI 420 en su condición de fábrica y doble revenido después del ensayo de tensión	33
Tabla 3.4. Mapeo de durezas en el material base en su condición de fábrica.	34
Tabla 3.5. Metalografías: AISI 420 – AISI 410 a 500X. En estado recocido.....	37
Tabla 3.6. Propiedades mecánicas del acero DF2/AISI 01 Y AISI 420.	39
Tabla 3.7. Resultados del ensayo de tracción del material AISI 420 en su condición de fábrica y después del tratamiento térmico de doble revenido.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Capuchones plásticos	2
Figura 1.2. Tipos de cuchillas, redonda, dentada, recta echas de acero DF2 templado se puede observar en la cuchilla redonde el óxido.	3
Figura 1.3. (a) Cuchilla recta fabricada de acero DF2 templado, (b) se puede observar que la cuchilla recién fabricada ya empieza a oxidarse.....	4
Figura 1.4. Cuchilla y mordaza: la cuchilla corta la lámina plástica y la mordaza sella.	4
Figura 1.5. Máquina para el proceso de sellado.....	5
Figura 1.6. Producto empacado.	5
Figura 1.7. Microestructura a 500x del acero AISI 420 recocido, se observa granos de ferrita y carburos de cromo dispersos en la matriz.	11
Figura 2.1. Medidas del espécimen en [mm] según norma ASTM E8/E8M.	16
Figura 2.2. Probetas para el ensayo de tensión. Material AISI 420 en su condición de fábrica.....	16
Figura 2.3. Máquina Tinius Olsen. Usada para el ensayo de tensión.	17
Figura 2.4. Montaje de la muestra para ensayo de tensión (Máquina universal de ensayos).....	17
Figura 2.5. Probetas después del ensayo de tensión.	18
Figura 2.6. Probetas con tratamiento térmico de temple y doble revenido, moleteado para mejor agarre en la zona de fijación.	18
Figura 2.7. Probeta de 20x20 [mm] usada para el ensayo de dureza. COD: 22-034 D ...	19
Figura 2.8. Durómetro	19
Figura 2.9. Desbastadora y proceso de desbastado grueso (lija#100).	21
Figura 2.10. Equipo para preparación y pulido de muestras para análisis metalográfico.	22
Figura 2.11. Proceso de pulido con paño de 1 micra y aspersion de diamante (líquido) de 1 micra.....	23
Figura 2.12. Se puede observar la probeta luego del proceso de desbaste y pulido sin marcas, lista para ser atacada químicamente. Cod:22-034M.....	23
Figura 2.13. Muestra 22-034 M montada en el microscopio metalográfico.....	24
Figura 2.14. Se puede observar la probeta con tratamiento térmico de temple y doble revenido luego del proceso de desbaste y pulido sin marcas, lista para ser atacada químicamente. COD: 22-034 M (TR)	25
Figura 2.15. Probeta para el ensayo de espectrometría de chispa (composición química)	25
Figura 2.16. Espectrómetro de chispa.....	26
Figura 2.17. Probetas AISI 420 templadas y con doble revenido.	28
Figura 3.1. Resistencia a la tracción antes y después de templado y dos veces revenido.	30
Figura 3.2. Probeta T1 sin tratamiento térmico.....	31

Figura 3.3. Probeta T2 sin tratamiento térmico.....	31
Figura 3.4. Probeta T3 sin tratamiento térmico.....	32
Figura 3.5. Probeta T1 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.	32
Figura 3.6. Probeta T2 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.	32
Figura 3.7. Probeta T3 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.	33
Figura 3.8. (a) Valor promedio de dureza en escala Rockwell B para las dos condiciones. (b) Valor promedio de dureza en escala Rockwell C para las dos condiciones.....	34
Figura 3.9. Metalografía óptica a 100x en su condición de fábrica sin ataque químico....	35
Figura 3.10. Metalografía óptica a 100x en su condición de fábrica con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M.....	36
Figura 3.11. Metalografía a 500 x en su condición de fábrica con ataque químico. Marble. Muestra 22-034 M.....	36
Figura 3.12. Metalografía óptica a 100 x con tratamiento térmico de temple y doble revenido, con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M (TR).....	37
Figura 3.13. Metalografía óptica a 100x con tratamiento térmico de temple y doble revenido, con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M (TR).....	38
Figura 3.14. Metalografía óptica 500x. Acero inoxidable martensítico AISI 420 con tratamiento térmico de doble revenido, se indican las fases presentes de la martensita revenida.....	38

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad el estudio y la caracterización de un material de alta aleación para la fabricación de cuchillas de corte de capuchones plásticos.

Usualmente, las cuchillas son usadas en la industria para cortar las envolturas plásticas de distintos productos. Para fabricar esta herramienta de corte, el material debe cumplir con ciertas propiedades mecánicas de dureza y tenacidad, por lo cual, a partir de un material inoxidable de alta aleación (materia prima) se va a realizar ensayos y evaluar sus propiedades.

En este proyecto se va a usar el acero inoxidable martensítico, AISI 420, por sus propiedades de resistencia a la corrosión y su buena respuesta ante el tratamiento térmico de temple y revenido. El estudio y caracterización del material primero se lo realizará en su condición de fábrica (recocido) y posteriormente con tratamiento térmico de temple y doble revenido. El temple se lo realizará a 980 °C con permanencia de una hora y enfriado en aceite, para garantizar tenacidad y mayor resistencia a la corrosión. El revenido será doble a 300 °C en un tiempo de 2 horas cada uno con enfriamiento al aire, para aliviar tensiones internas del material producto del temple.

Entonces, a la materia prima se realizará el ensayo de espectrometría de chispa para confirmar su composición química y se realizará los ensayos de tensión, dureza y metalografías para comparar sus propiedades mecánicas en estas dos condiciones.

PALABRAS CLAVE: tratamiento térmico, temple, revenido, espectrometría de chispa, tensión, dureza.

ABSTRACT

This project aims to study and characterize a material a high-alloy material for manufacture of blades and then cutting of plastic caps.

Usually, blades are used in industry to cut plastic casings of different products and they must comply with certain mechanical properties of hardness and tenacity, for which reason, a high alloy stainless material (raw material) will test to evaluate these properties.

This project uses martensitic stainless steel, AISI 420, due to its corrosion resistance properties and its good response to quenching and tempering heat treatment. Material is studied and characterized, first it is carried out in its factory condition (annealed) and later with quenching and double tempering heat treatment. Temple will be carried out at 980 °C with a permanence of one hour and cooled in oil, to guarantee toughness and greater resistance to corrosion. Tempering will be double at 300 °C in a time of 2 hours each with cooling in air, to relieve internal stresses of material resulting from tempering.

Then, spark spectrometry test will be carried out on raw material to confirm its chemical composition and tension, hardness and metallography tests will be carried out to compare its mechanical properties in these two conditions.

KEYWORDS: heat treatment, quenching, tempering, spark spectrometry, stress, hardness, hardness.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Comúnmente la industria alimenticia en sus procesos finales de fabricación usa cuchillas echas de acero, DF2 (AISI 01), para cortar el plástico con el que se hace sello entre la tapa y el cuello de la botella, para las envolturas de algunos productos y entre otras. Este acero por su alto contenido de carbono tiene baja resistencia a la corrosión, siendo un gran problema cuando se usa en regiones costeras, estos ambientes por su contenido salino aceleran considerablemente la oxidación provocando un desgaste en el material.

Entonces, el propósito de este proyecto es estudiar y caracterizar un acero de alta aleación, resistente a la corrosión y con buenas propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, para cumplir con el trabajo de una herramienta de corte en ambientes salinos. El acero que se ajusta a estas características y usado en este proyecto es el acero inoxidable martensítico AISI 420, debido a su alto contenido de cromo, el acero es resistente a la corrosión, mientras que su buena respuesta ante el temple y revenido se debe a su contenido de carbono.

Como materia prima se dispone de una plancha del acero inoxidable martensítico AISI 420 recocido de 6 [mm] de espesor, de este se obtiene varias probetas del material para los diferentes ensayos y con los cuales primero se confirma su composición química mediante un ensayo de espectrometría de chispa y se evidencia que el material tiene una dureza y resistencia baja correspondiente a las características de este acero en condición de recocido, por lo que, se somete al material a un temple y doble revenido para mejorar estas propiedades. Después, se compara las propiedades mecánicas antes y después del revenido para validar las mejoras y considerar si es posible la fabricación de cuchillas y dar una opción a la industria que se encuentra en las regiones costeras. Para visualizar estas propiedades se desarrolla ensayos de tensión y dureza, además de metalografías que nos ayuda al estudio y caracterización del acero AISI 420.

Finalmente, con el estudio y caracterización del acero AISI 420 podemos comparar las propiedades mecánicas del acero actualmente usado y visualizar si es competitivamente viable la ejecución de estas cuchillas con este nuevo material técnicamente, ya que en este proyecto de titulación no se considera el costo de fabricación.

1.1 Objetivo general

Estudio y caracterización de un acero de alta aleación para la aplicación de corte de capuchones plásticos.

1.2 Objetivos específicos

1. Validar el acero seleccionado para el uso de cuchillas mediante el ensayo.
2. Realizar ensayos mecánicos, metalografías y de tratamiento térmico.
3. Realizar ensayos mecánicos antes y después del tratamiento térmico para comparar las propiedades mecánicas obtenidas.
4. Análisis de resultados y conclusiones.

1.3 Alcance

El presente trabajo consta de una sola etapa, en el cual el estudiante realiza una investigación bibliográfica, posteriormente determinará el número de muestras necesarias para realizar el estudio, así como establecerá las condiciones de ensayo para el acero seleccionado.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Película plástica de sellado (capuchones plásticos)

En la industria se conoce como capuchones plásticos a las envolturas de plástico que hacen un sello entre la tapa y el cuello de botella de diferentes productos en su etapa final de producción, para mantener las bacterias y otros contaminantes lejos del producto, la película plástica tiene de espesor 0.5 milímetros. Los capuchones plásticos listos para pasar por la etapa final de sellado se observan en la figura 1.1.



Figura 1.1. Capuchones plásticos
(Fuente: Oriental Oficial)

1.4.2 Cuchilla y máquina para corte de películas plásticas

Las cuchillas usadas para el proceso de corte de películas plásticas tienen diferentes formas de acuerdo con el tamaño y producto que va a ser sellado o cubierto. Estas cuchillas se fabrican de acero DF2: cuchillas redondas, dentadas y rectas como se observa en la figura 1.2, en la figura 1.3 (a) se observa la cuchilla recta de acero DF2 templada la cual se usa para el proceso de corte de las películas plásticas, en la figura 1.3 (b) se observa que la cuchilla recién fabricada comienza a oxidarse, ya que este acero no es resistente a la corrosión, por lo que en este proyecto se estudiará y caracterizará un acero de alta aleación inoxidable que puede remplazar el material con el que se fabrican estas cuchillas y evitar su desgaste prematuro evitando se oxide el elemento.



Figura 1.2. Tipos de cuchillas, redonda, dentada, recta echas de acero DF2 templado se puede observar en la cuchilla redonda el óxido.
(Fuente: Propia)



(a)

(b)

Figura 1.3. (a) Cuchilla recta fabricada de acero DF2 templado, (b) se puede observar que la cuchilla recién fabricada ya empieza a oxidarse.
(Fuente: Propia)

En la figura 1.4 se observa la cuchilla recta dentro de la mordaza, esta a su vez se acopla a la máquina que se puede observar en la figura 1.5 para realizar el proceso de corte: la cuchilla corta las láminas plásticas mientras la mordaza lo que va a hacer es sellar la envoltura.

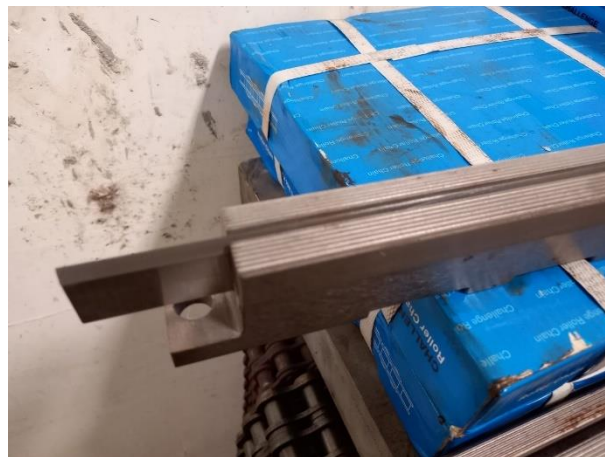


Figura 1.4. Cuchilla y mordaza: la cuchilla corta la lámina plástica y la mordaza sella.
(Fuente: Propia)

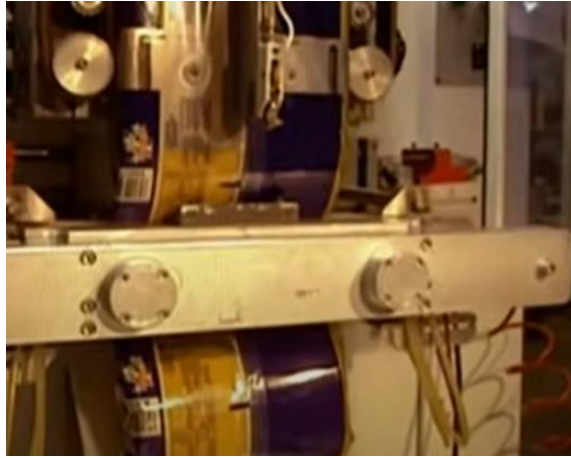


Figura 1.5. Máquina para el proceso de sellado
(Fuente: Discovery Max)

Se observa en la figura 1.6 una envoltura que pasó por el proceso de corte y sellado (cuchilla corta, mordaza sella)

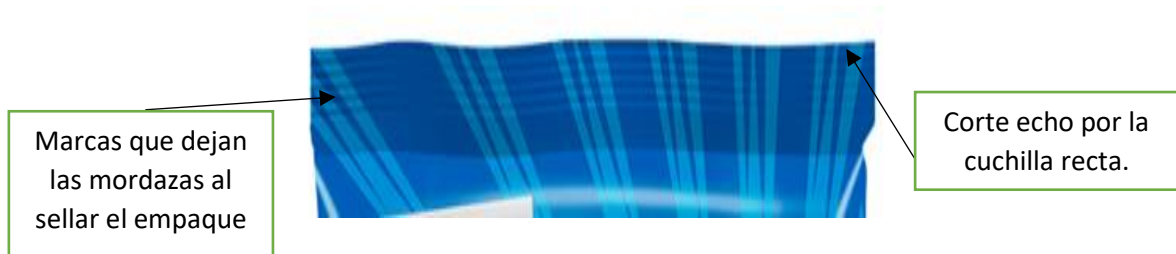


Figura 1.6. Producto empackado.
(Fuente: Propia)

1.4.3 Aceros

El acero ordinario es una aleación (Fe-C), el contenido de carbono varía entre 0.02% y 2.11%, donde se incluye otros elementos de aleación como: manganeso, cromo, níquel y molibdeno, pero el contenido de carbono es lo que convierte al hierro en acero. Los aceros se clasifican comúnmente según su composición y su esfuerzo máximo de fluencia, también de acuerdo con su acabado final por tratamiento térmico, así como por su forma y tamaño [1].

De acuerdo con su composición los aceros se clasifican en base a su contenido de carbono y el contenido de aleantes como se muestra en la tabla 1.1 acero de bajo carbono, acero de medio carbono y acero de alto carbono. De acuerdo con el porcentaje de material aleante se clasifican en: aceros simples sin elementos de aleación salvo Mn hasta 1.65% y cantidades o porcentajes pequeños de Si, S, de baja aleación y de alta aleación. A los aceros de alta aleación pertenecen los aceros para herramientas y aceros inoxidable [1].

Tabla 1.1. Clasificación de los aceros según su composición

CLASIFICACION DE LOS ACEROS SEGÚN SU COMPOSICION		
CONTENIDO DE CARBONO	Bajo carbono	menos del 0,20% de C
	Medio Carbono	0,20 - 0,50% de C
	Alto Carbono	Superiores a 0,50% de C
CONTENIDO DE ALEACIÓN	Carbono simple	Mn hasta 1,65%
	Baja aleación	contenido total de aleantes menor al 5% del peso
	Alta aleación	contenido total de aleantes mayor al 5% del peso

(Fuente: [1, p. 21])

1.4.4 Aceros aleados

Los aceros contienen otros elementos de aleación además del carbono, debido a estas adiciones las propiedades mecánicas de los aceros aleados son superiores a los de los aceros al carbono simples en ciertas aplicaciones [1].

Un acero se considera que tiene un grado de aleación si el rango máximo dado por el contenido de elementos de aleación excede uno o más de los siguientes límites: (a) 1,65 de Manganeso, (b) 0,60 de silicio, (c) 0,60 de cobre [2].

Los elementos de aleación que se agregan comúnmente al acero son cromo, manganeso molibdeno, níquel y vanadio, que a veces se agregan individualmente pero generalmente en combinación.

Se describen los efectos principales de agregar elementos de aleación.

Cr: Mejora la resistencia al desgaste y la dureza en caliente. Mejora muy eficazmente la templabilidad y la resistencia a la corrosión.

Mn: Mejora la templabilidad en caliente.

Mo: Mayor resistencia al desgaste, por la formación de carburos que este ingrediente genera.

Ni: En cantidades significativas mayor resistencia a la corrosión.

V: Mayor resistencia y tenacidad en el acero ya que inhibe el crecimiento del grano durante el procesamiento a altas temperaturas.

Al: Se añade en pequeñas cantidades, mejora la resistencia a la oxidación del acero fundido.

Titanio: Aumenta la resistencia a altas temperaturas.

Silicio: Ayuda a la dureza en el acero aleado.

Azufre: Mejora la maquinabilidad.

Tungsteno: Mejora la resistencia al desgaste y altas temperaturas para la fabricación de herramientas.

Los aceros aleados se subclasifican en:

Estructurales: Su contenido de aleación oscila entre el 0,25 % y el 6%. Se utiliza en piezas mecánicas como ejes, engranajes y también en la construcción de chasis de automóviles, estructuras de edificios y puentes [3].

Para Herramientas: Estos son aceros de alta calidad que se utilizan para fabricar herramientas tales como fresas, terrajas, taladros, cuchillas, para modelar y cortar metales y no metales [3].

Especiales: Son aceros duros resistentes a la corrosión, a este subgrupo pertenecen los aceros inoxidable, estos aceros se emplean en engranes, ejes, rodamientos y turbinas [3].

1.4.5 Acero Inoxidable

Un grupo de aceros de alta aleación son los aceros inoxidable con alta resistencia a la corrosión. El cromo es el principal elemento de aleación en este grupo de aceros, normalmente con más del 15%. Este elemento protege las superficies de la corrosión en una atmósfera oxidante formando una película de óxido delgada e impermeable.

Otro Ingrediente de aleación que se emplea en algunos aceros inoxidable es el níquel, el cual ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión.

El aumento del contenido de carbono reduce la resistencia a la corrosión, ya que se forman carburos de cromo para reducir el contenido de cromo de la aleación [4].

De acuerdo con la fase predominante presente en la aleación los aceros inoxidable se dividen en tres grandes grupos.

1. Inoxidables austeníticos
2. Inoxidables ferríticos
3. Inoxidables martensíticos

1.4.6 Aceros inoxidable martensíticos

Estos aceros son aleaciones de hierro, cromo y carbono con estructura tetragonal centrada en el cuerpo, con el cromo como principal elemento de aleación.

Debido a su alto contenido de carbono, estos aceros pueden tratarse térmicamente para aumentar su resistencia. Contienen entre 10.5 y 18% de cromo y nada de Ni, son resistentes a la fatiga, duros y fuertes, pero no tan resistentes a la corrosión con respecto a los aceros austeníticos y ferríticos. Se usan en la aplicación de instrumentos de corte y quirúrgicos.

El endurecimiento y el pulido pueden mejorar su resistencia a la corrosión. El acero inoxidable martensítico se puede trabajar en caliente y en frío, presentan fácil maquinabilidad.

Se nombran con la cifra 4 que representa la serie 400 y los dos últimos números dependen de los otros tipos de elementos de aleación. El contenido de C supera el 1,2%. Se añaden Si, Nb, W y V para mejorar la respuesta del revenido. Para mejorar su resistencia a la corrosión se añaden pequeñas cantidades de Ni, y para mejorar su maquinado se añaden S y Se.

Estos aceros generalmente se austenizan en el rango de temperatura de 925 °C a 1065 °C y se enfrían con aire. Si existen grandes gradientes de temperatura se pueden producir torceduras o fracturas debido a su baja conductividad. Se puede evitar este problema precalentando la pieza antes de templearlo. El rango de precalentamiento se da entre 760 °C y 790 °C, el tiempo de precalentado depende del grosor de la pieza [5].

Según AISI, los principales tipos de aceros inoxidable martensíticos y sus propiedades se muestran en la tabla 1.2 [5].

Tabla 1.2. Principales aceros inoxidable martensíticos

TIPO AISI	ESFUERZO MÁXIMO DE ROTURA (ksi)	ESFUERZO DE FLUENCIA (ksi)	DUREZA (HRB)	TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVICIO	
				(°C)	(°F)
403	75	40	82	704	1300
410	75	40	82	704	1300
414	115	90	97	704	1300
416	75	40	82	676	1250
420	95	50	92	649	1200
431	125	95	24(HRC)	816	1500
440A	105	60	95	760	1400
440B	107	62	96	760	1400
440C	110	65	97	760	1400

(Fuente: [5, p. 8])

Para el desarrollo de este trabajo de tesis se va a estudiar el acero inoxidable martensítico AISI 420.

1.4.7 Acero inoxidable martensítico AISI 420

Es un acero que se puede endurecer a 52 HRC o un poco más, tratable térmicamente y resistente al calor y la corrosión, se puede revenir en un amplio rango de temperatura para aumentar la resistencia al impacto, sin afectar significativamente su dureza. Puede ser endurecido al aire o al aceite. El enfriamiento en aceite proporciona la máxima resistencia a la corrosión y se usa a menudo en cuchillería, hojas de cuchillo, moldes para vidrio y plástico, herramientas, etc [5].

1.4.8 Maquinabilidad del acero inoxidable martensítico AISI 420

La maquinabilidad de un material generalmente se determina en base a cuatro factores:

1. El acabado y la integridad superficiales de la parte maquinada
2. La vida útil de la herramienta
3. La fuerza y potencia requeridas
4. El nivel de dificultad de control de la viruta

Por lo tanto, una buena maquinabilidad significa un buen acabado superficial e integridad superficial, una larga vida útil de la herramienta y bajos requisitos de fuerza y potencia[6, p. 638]. Sobre la gestión de viruta según el tipo de viruta producida: continuas, largas, delgadas, filamentosas y rizadas pueden quedar atrapadas en el área de corte, lo que interfiere seriamente con la operación de corte. La complejidad de las operaciones de corte dificulta establecer relaciones que cuantifiquen la maquinabilidad de un material dado. Los

factores de maquinabilidad más importantes son la vida útil de la herramienta y la rugosidad de la superficie.

Las propiedades mecánicas más importantes que influyen en la maquinabilidad son la dureza, resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión, debido a que si se incrementa la dureza, aumenta su resistencia al desgaste abrasivo, disminuyendo así la vida útil de la herramienta de corte, por otra parte, al aumentar la resistencia del material, las fuerzas de corte, la energía específica y la temperatura de corte se incrementan, por tal razón se dificulta maquinar el material; además la modificación de la superficie de fábrica del material reduce su resistencia a la corrosión [7, p. 5].

Los aceros martensíticos de la serie 400 son abrasivos y propensos a la formación de bordes acumulados, lo que requieren herramientas de corte con alta resistencia al calor. Los aceros martensíticos AISI 420 tienen un índice de maquinabilidad del 45% valor obtenido al compararlo con un acero B1112 como material base.[7, p. 5].

1.4.8.1 Microestructura del acero AISI 420

En los aceros AISI 420, la estructura cristalina martensítica, es una fase muy dura con una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro ferrítico. Por lo general, todos los aceros inoxidables martensíticos pueden ser endurecibles por tratamiento térmico de temple, lo que aumenta la resistencia al desgaste y a la corrosión. Sin embargo, debido al alto contenido de cromo pueden ser enfriados en aire desde temperaturas sobre los 815 °C, en cambio, otros son enfriados en aceite o agua, debido a su bajo contenido de carbono.

En la figura 1.7 se muestra la microestructura típica del acero AISI 420 antes del tratamiento térmico de temple, esta estructura presenta granos de ferrita y carburos de cromo que se forman durante la solidificación, y se espera que estos carburos se encuentren esferoidizados y dispersos. Si estos están alineados, la resistencia puede verse comprometida, ya que tales carburos pueden promover el crecimiento de grietas y la subsiguiente ruptura del material, cuando se usan en operaciones que causan deformación [8].

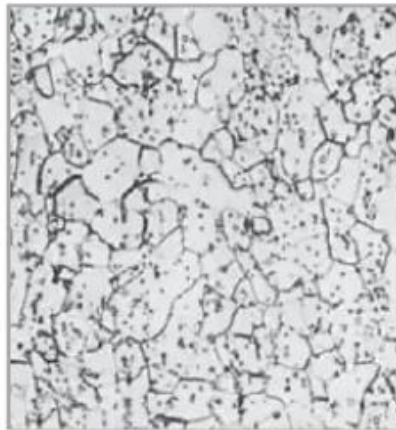


Figura 1.7. Microestructura a 500x del acero AISI 420 recocido, se observa granos de ferrita y carburos de cromo dispersos en la matriz.
(Fuente:[8])

1.4.8.2 Propiedades mecánicas del acero AISI 420

El acero AISI 420 es ampliamente usado por sus buenas propiedades mecánicas combinadas con una moderada resistencia a la corrosión. El elevado contenido de carbono del material AISI 420 permite mejorar sus propiedades mecánicas con tratamiento térmico. Una de las características del acero AISI 420 es que es magnético bajo cualquier condición.

La tabla 1.3 muestra los valores de las propiedades mecánicas para una barra de acero AISI 420 en condición de recocido y a distintas temperaturas, en dicha tabla se observa el cambio de las propiedades mecánicas según sea la temperatura de tratamiento.

En la tabla 1.4 se muestran las propiedades mecánicas para placas de acero AISI 420 para recipientes a presión y aplicaciones generales según la norma ASTM A240.

Tabla 1.3. Propiedades mecánicas para placas de acero inoxidable al cromo para recipientes y aplicaciones generales

PROPIEDADES MECÁNICAS PARA PLACAS DE ACERO INOXIDABLE AL CROMO PARA RECIPIENTES A PRESIÓN Y APLICACIONES GENERALES					
MATERIAL (serie 400)	Resistencia a la tracción mín.		Elongación min (en 50 mm)	Dureza , máx Brinell (HB)	Dureza, máx Rockwell (HRB)
	(Ksi)	(Mpa)			
410	65	450	20	217	96
420	100 ^Q	690 ^Q	15	217	96
439	60	415	22	183	89
434	65	450	22	183	89

^Q máx, El tipo 420 se utiliza normalmente en la condición de tratamiento térmico (templado y revenido hasta un rango específico de dureza o resistencia a la tracción.)

(Fuente: Propia)

1.4.8.3 Composición química del acero AISI 420

Al tratarse de un acero inoxidable tiene como elemento de aleación principal al Cr, este se encuentra en altos porcentajes por lo general entre 12 a 14 %, el cual forma una película fina de óxido impermeable protegiendo el material de la corrosión en una atmósfera oxidante, posee un alto contenido de carbono lo que permite alcanzar durezas de hasta 52 HRC. En la tabla 1.4 se muestra la composición química típica para el acero AISI 420 [5].

Tabla 1.4. Composición química del acero inoxidable martensítico 420

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO 420							
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
0,15 min	1,00	0,04	0,03	1,00	12 - 14	0,75	0,50

(Fuente: [5])

1.4.8.4 Aplicaciones y tratamientos térmicos

Aplicaciones

El acero AISI 420 por su alto contenido de cromo tiene un mejor rendimiento económico que el acero inoxidable normal, se utilizan cuando se requieren propiedades de resistencia a la tracción, termofluencia y la fatiga, también por su buena resistencia al desgaste y moderada resistencia a la corrosión es adecuado para todo tipo de maquinaria de precisión, rodamientos, equipos eléctricos, instrumentos, medidores, herramientas de transporte, y principalmente en turbinas de vapor, motores de reacción y turbinas de gas, además se los utiliza en cuchillería, piezas de válvulas, partes de bombas y repuestos mecánicos [5, p. 8].

Tratamientos térmicos

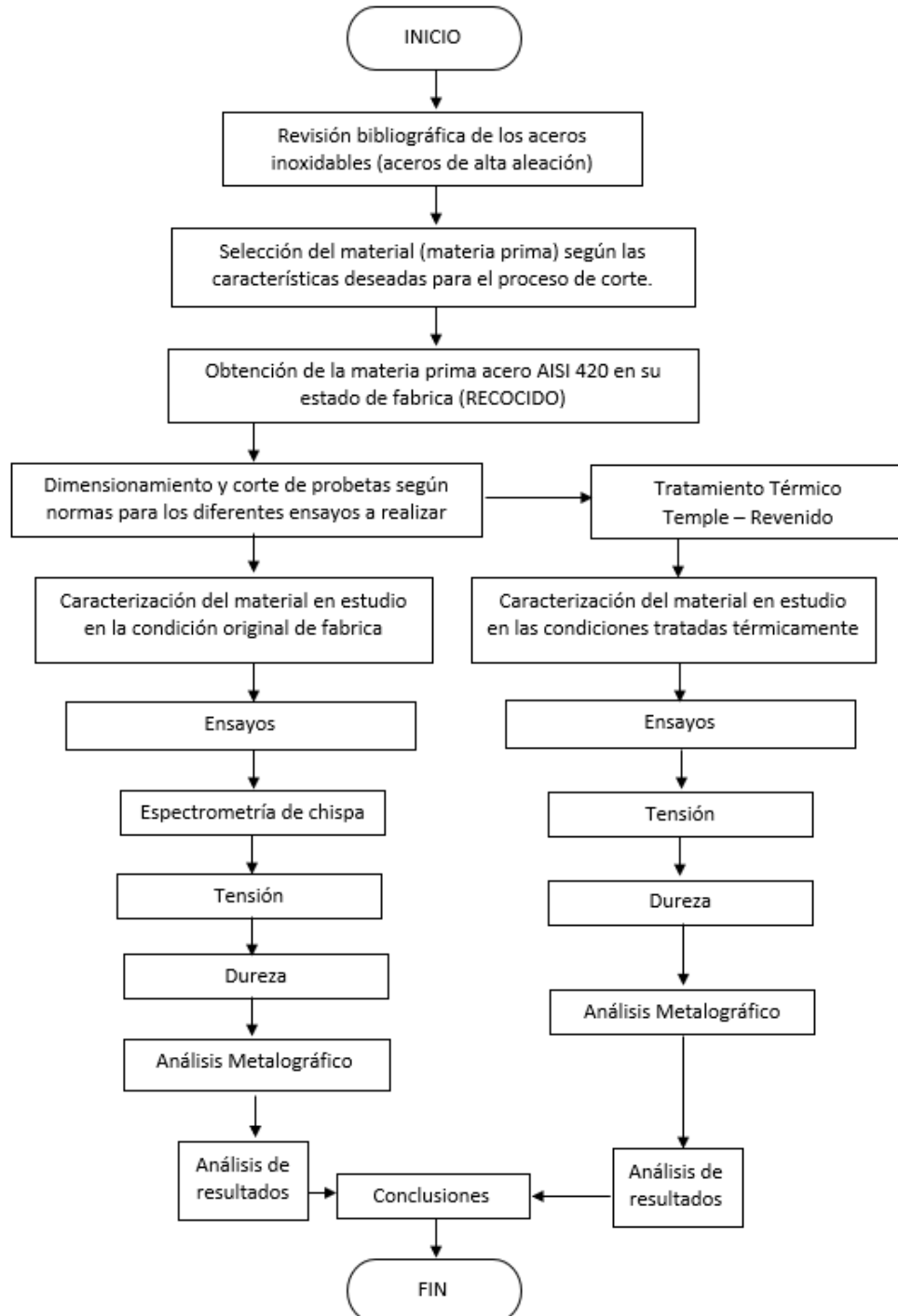
Comúnmente este acero es proporcionado por el fabricante en estado de recocido, con una buena ductilidad, solamente después del templado será muy duro y poco dúctil, pero es en esta condición (templado) son resistentes al desgaste y la corrosión. Desde un punto de vista metalúrgico, los aceros de la serie 400 se comportan de manera similar a los aceros al carbono templados y de baja aleación cuando son endurecidos por temple. La diferencia notable es que los aceros de la serie 400 contienen suficiente cromo para endurecerse con enfriamiento al aire a temperaturas superiores a 815 °C. La dureza máxima se logra enfriando a más de 950 °C [5, p. 9].

Como se mencionó antes por su composición química, estos aceros se pueden tratar térmicamente para obtener mejores propiedades de acuerdo con el uso que se le va a dar al material, por lo general a este acero se le hace un recocido para bajar la dureza del

material, se lo realiza a una temperatura de 915 °C manteniendo esta temperatura durante 2 horas para que la microestructura del acero se transforme completamente a austenita a lo cual sigue un enfriamiento lento de la pieza.

2 METODOLOGÍA

El diagrama muestra la metodología a seguir para desarrollar este proyecto.



2.1 Obtención de la materia prima

Para el desarrollo de este trabajo se usó un material con alto contenido de carbono por sus características de resistencia al desgaste y alta dureza, las herramientas de corte requeridas pueden trabajar tanto en industrias ubicadas en la sierra como en la costa, por lo que se estudiará un material inoxidable que reúne las características deseadas de: resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, alta dureza. La materia prima es una plancha rectangular de acero inoxidable martensítico 420 en estado recocido de las siguientes dimensiones: ancho=380[mm], largo=640[mm], espesor=6 [mm].

2.2 Obtención de probetas

Ya que este material tiene una alta dureza y con el fin de tener un buen corte en las probetas se usó un procedimiento de corte especial: Electro hilo, del material en condición de fábrica se sustrajo las probetas para los ensayos del material antes y después del doble revenido y de esta manera se va a estudiar y caracterizar al acero inoxidable martensítico AISI 420.

2.2.1 Probetas en su condición de fábrica (CF)

Para el ensayo de tensión se sustrajo de la plancha inicial tres probetas con las medidas descritas en la norma ASTM E8/E8M para una plancha de 6 [mm] de espesor, para el ensayo de dureza se sustrajo dos muestras, para micrografía se usó una muestra y para análisis químico una muestra.

2.2.2 Probetas tratadas térmicamente templadas y revenidas (TR)

Para el ensayo de tensión se sustrajo de la plancha inicial tres probetas con las medidas descritas en la norma ASTM E8/E8M para una plancha de 6 [mm] de espesor, para el ensayo de dureza se sustrajo una muestra, para micrografía se usó una muestra, estas muestras posteriormente se sometieron a un temple y doble revenido.

2.3 Ensayo de tensión en su condición de fábrica

Mediante este ensayo se obtendrá valores de resistencia, ductilidad, tenacidad, módulos elásticos y capacidad de endurecimiento por deformación. Para realizar este ensayo se requiere preparar un espécimen de acuerdo con la norma ASTM E8/E8M la cual indica que para una plancha de espesor de 6 [mm] se debe obtener un espécimen de las siguientes dimensiones como se muestra en la figura 2.1.

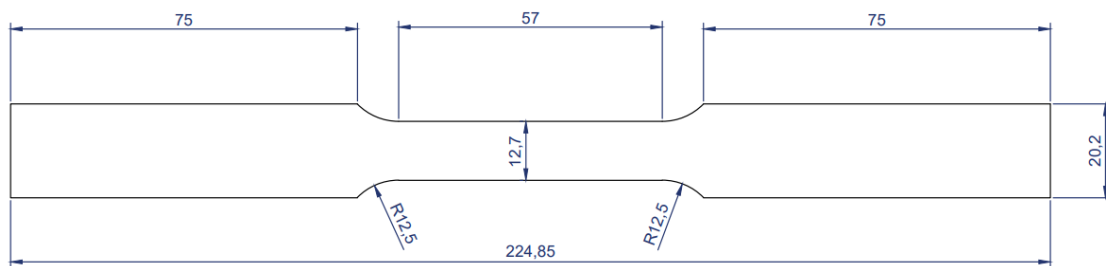


Figura 2.1. Medidas del espécimen en [mm] según norma ASTM E8/E8M.
(Fuente: propia)

En la figura 2.2 se muestra las probetas del material en su condición de fábrica (recocido).



Figura 2.2. Probetas para el ensayo de tensión. Material AISI 420 en su condición de fábrica.
(Fuente: Propia)

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la EPN, el equipo utilizado para este ensayo se muestra en la figura 2.3 y en la tabla 2.1 se muestra sus características técnicas.



Figura 2.3. Máquina Tinius Olsen. Usada para el ensayo de tensión.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.1. Características técnicas de la máquina para el ensayo de tensión.

CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA TiniusOlsen DE ENSAYOS				
MARCA	MODELO	CAPACIDAD MAXIMA	APLICACIÓN DE CARGA	REPORTE DE DATOS
TiniusOlsen	SuperL120	120000 [lbf]	Sistema Hidráulico	Software NAVIGATOR

(Fuente: Propia)

La figura 2.4 muestra la probeta montada en la máquina TiniusOlsen de ensayos, y en la figura 2.5 se muestran las probetas después de realizado el ensayo.



Figura 2.4. Montaje de la muestra para ensayo de tensión (Máquina universal de ensayos)
(Fuente: Propia)



Figura 2.5. Probetas después del ensayo de tensión.
(Fuente: Propia)

2.3.1 Ensayo de tensión: probetas templadas con doble revenido.

En este caso las probetas después de ser sustraídas de la plancha en su condición de fábrica se someten a un tratamiento de temple y doble revenido, en la figura 2.6 se muestra un moleteado en la zona de fijación de las probetas, para de esta manera evitar que resbalen de las mordazas de la máquina TiniusOlsen debido a que después del tratamiento térmico de doble revenido las probetas aumentaron su dureza. El montaje y el ensayo se realizó de la misma manera que para las probetas sin tratamiento térmico.



Figura 2.6. Probetas con tratamiento térmico de temple y doble revenido, moleteado para mejor agarre en la zona de fijación.
(Fuente: Propia)

2.4 Ensayo de dureza

Se realizó el ensayo Rockwell, este consiste en aplicar diferentes cargas de compresión mediante un indentador en la superficie del material, se aplican dos cargas, una carga mínima de 10 kgf y otra carga máxima de 60 kgf, 100 kgf y 150 kgf, el valor de la dureza se obtiene por la diferencia en las profundidades de penetración. Existen diferentes escalas Rockwell las cuales se usan dependiendo el tipo de material que va a ser ensayado.

Para este ensayo se usaron dos probetas iguales de 20x20 [mm] del material AISI 420, las cuales se muestran en la figura 2.7, en cada una de estas se realizó tres mediciones.



Figura 2.7. Probeta de 20x20 [mm] usada para el ensayo de dureza. Cod: 22-034 D
(Fuente: Propia)

El equipo usado para este ensayo se muestra en la figura 2.8 y en la tabla 2.2 se muestra sus características técnicas.



Figura 2.8. Durómetro
(Fuente: Propia)

Tabla 2.2. Características técnicas del durómetro usado para el ensayo de dureza.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DURÓMETRO USADO PARA EL ENSAYO DE DUREZA	
MARCA	Hardrocker
MODELO	HR-150A0
ESCALAS DE MEDICIÓN	Rockwell: A-B-C
MODO DE APLICACIÓN DE CARGA	Sistema de pesos muertos
MODO DE CONTROL DE CARGA	Sistema hidráulico amortiguado
CARGA MÍNIMA	10 [kgf]
CARGA MÁXIMA	60,100,150 [kgf]

(Fuente: Propia)

2.4.1 Ensayo de dureza: probetas templadas con doble revenido

Para el ensayo de dureza se obtuvo una muestra de igual dimensiones como la que se muestra en la figura 2.6 el procedimiento es el mismo que para la probeta sin tratamiento térmico y se usó el mismo equipo a excepción del indentador, ya que después del doble revenido el material incremento su dureza a tal punto que se cambió de escala de HRB a HRC.

2.5 Análisis metalográfico

Se realizó el análisis metalográfico con el fin de establecer las características estructurales como: distribución de fases, tamaño y forma de grano, segregaciones, inclusiones no metálicas, así como otras irregularidades que estén presentes en el material AISI 420 y modifiquen las propiedades y el comportamiento de este material. La muestra se preparó de la siguiente manera.

-Extracción de muestra: Se extrajo una muestra de la plancha (materia prima) de 20 x 20 [mm] y de espesor 6 [mm].

-Montaje de la probeta en resina: Se colocó la probeta antes descrita de forma vertical en un molde circular de diámetro igual a 37 [mm], en este molde se colocó una solución de resina poliéster, octoato de cobalto y metil etil cetona, esta solución requiere un tiempo de secado aproximadamente de 90 [min] para poder desmoldar y pasar al desbaste.

-Desbaste grueso: Se lo realiza en la desbastadora con el fin de eliminar el exceso de resina y tener una superficie plana, para este procedimiento se usó una lija número 100. El equipo y el proceso se muestra en la figura 2.9. y sus características en la tabla 2.3.



Figura 2.9. Desbastadora y proceso de desbaste grueso (lija#100).
(Fuente: Propia)

Tabla 2.3. Características técnicas de la máquina desbastadora de lija de disco.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA DESBASTADORA DE LIJA DE DISCO	
MARCA	BUEHLER
MODELO	121-OM-84
AMPERAJE	6,2 [A]
VOLTAJE	220[V]
POTENCIA	1 [HP]
ABRASIVO	Lija # 100
REFRIGERACIÓN	Por agua

(Fuente: Propia)

-Desbaste fino: En el equipo para preparación y pulido de probetas mostrado figura 2.10 se montan las lijas de agua número 150, 240, 320, 400, 600, 1200, con la lija 150 para dejar la probeta por ambas caras totalmente planas para evitar que se produzca doble cara durante el proceso. Con la lija número 240 para eliminar las marcas que dejó la lija anterior, se sigue este procedimiento en una sola cara hasta llegar a la lija 1200 y eliminar las marcas que dejó el desbaste grueso. Las características técnicas se muestran en la tabla 2.4.



Figura 2.10. Equipo para preparación y pulido de muestras para análisis metalográfico.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.4. Características técnicas: equipo de preparación y pulido.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO DE PREPARACIÓN Y PULIDO	
MARCA	METKON
MODELO	Forcipol 2 [V]
VOLTAJE	220 [V]
ABRASIVO PARA PULIDO	Paño de 3 y 1 micra
ABRASIVO PARA DESBASTE	Lijas #150, 240, 320, 400, 600, 1200

(Fuente: Propia)

-Pulido: Se lo realizó para eliminar las marcas dejadas por el desbaste fino, el pulido se hace con un paño de 3 micras y con aspersion de diamante (líquido) de 3 micras como se

muestra en la figura 2.11, para luego seguir con un paño de 1 micra y aspersion de diamante (líquido) de 1 micra a una velocidad de 160 RPM y 5 Psi de presión.



Figura 2.11. Proceso de pulido con paño de 1 micra y aspersion de diamante (líquido) de 1 micra.
(Fuente: Propia)

La figura 2.12. muestra la probeta después de aplicar los pasos descritos anteriormente, posteriormente es atacada químicamente.



Figura 2.12. Se puede observar la probeta luego del proceso de desbaste y pulido sin marcas, lista para ser atacada químicamente. Cod:22-034M.
(Fuente: Propia)

-Ataque químico: El ácido a usar para el ataque químico depende del material en estudio, para este tipo de acero inoxidable se usó Marble, se atacó al material por 5 segundos para luego montar esta muestra en el microscopio metalográfico y observar su microestructura. En la figura 2.13. se observa el microscopio utilizado para obtener las micrografías y sus características técnicas en la tabla 2.5.



Figura 2.13. Muestra 22-034 M montada en el microscopio metalográfico.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.5. Características técnicas del microscopio metalográfico.

CARCATERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MICROSCOPIO METALOGRÁFICO	
MARCA	OLYMPUS
MODELO	GX41F
VOLTAJE	(100-120) [V]/ (230-240) [V]
FRECUENCIA	50/60 [HZ]
OBJETIVOS	5X, 10X, 50X,100X
TUBO DE OBSERVACIÓN	10X
CÁMARA METALOGRÁFICA	5 Mega Pixeles
SOFTWARE	Stream Essentials

(Fuente: Propia)

2.5.1 Análisis metalográfico: probeta templada con doble revenido

La probeta que se usó para este ensayo se muestra en la figura 2.14, el procedimiento y el equipo usado para este ensayo es el mismo, para el ataque se usó Marble y se atacó por 3 segundos.

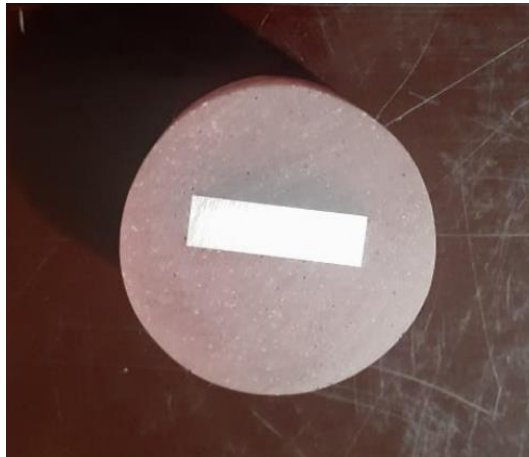


Figura 2.14. Se puede observar la probeta con tratamiento térmico de temple y doble revenido luego del proceso de desbaste y pulido sin marcas, lista para ser atacada químicamente. Cod: 22-034 M (TR).
(Fuente: Propia)

2.6 Composición química

Para conocer la composición química de la plancha (materia prima) se sustrajo una muestra de 30x30 [mm] como se muestra en la figura 2.15, para este ensayo se debe obtener una muestra bien pulida y totalmente plana.



Figura 2.15. Probeta para el ensayo de espectrometría de chispa (composición química).
(Fuente: Propia)

Se usó la técnica de espectrometría de Chispa, el Espectrómetro de chispa se muestra en la figura 2.16, sus características técnicas en la tabla 2.6.



Figura 2.16. Espectrómetro de chispa.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.6. Características técnicas del Espectrómetro de Chispa.

ESPECTRÓMETRO DE CHISPA	
MARCA	BRUKER
MODELO	Q4TASMAN
SISTEMA ÓPTICO	Óptica multidetectora Robusto montaje Paschen-Runge Tecnología ClearSpectrum Máxima sensibilidad espectral
GENERADOR DE FUENTE	Generador PWM bifásico sin mantenimiento Frecuencia de 50 a 1000 [Hz] Tiempo de descarga de 10 us a 2 ms
DATOS ELECTRICOS	100 a 240 [V] (50/60 Hz) 600W durante la medición, 50W en espera Fusible de fusión lenta de 16 [A] (240 V) o de 25 [A] (100 V)

(Fuente: Propia)

2.7 Tratamiento térmico

El acero AISI 420, puede ser endurecido a la máxima dureza entre 48 y 52 HRC. Por lo cual, para mejorar las propiedades mecánicas (resistencia, dureza, tenacidad) del material que se tiene como materia prima, se realizó un temple en aceite y de doble revenido a 6 probetas para luego ser ensayadas: 3 probetas según la norma ASTM E8/E8M para realizar el ensayo de tensión, 1 probeta de 20x20 [mm] para obtener metalografías, 1 probeta de 30x30 [mm] para realizar el ensayo de dureza, 1 probeta de 100x25 [mm] para maquinar y obtener la cuchilla de corte. El proceso fue el siguiente:

Destensionado: Para aliviar los esfuerzos residuales por el proceso de fabricación del material.

Precautado: Para asegurar la uniformidad de temperatura y reducir las tensiones de fisuras por tensiones térmicas.

Temple: Se calienta el acero a una temperatura superior a Ac1 (si es hipereutectoide) se mantiene a esta temperatura para luego ser enfriado a una velocidad que asegura la transformación martensítica en el material y lograr la dureza deseada.

Revenido: Se calienta el acero templado a una temperatura menor a Ac1, mantenerlo a esa temperatura y enfriarlo al aire tranquilo, para eliminar tensiones y fragilidad por el enfriamiento rápido, se realizó un segundo revenido para obtener un mayor alivio de tensiones y asegurar la transformación de fases en el material.

En la tabla 2.7 se muestra los parámetros del tratamiento térmico realizado y en la figura 2.17 se muestran las probetas después del tratamiento térmico de temple y revenido.

Tabla 2.7. Parámetros del tratamiento térmico.

TRATAMIENTO	TEMPERATURA [°C]	TIEMPO [Horas]	ENFRIAMIENTO
DISTENSIONADO	500	1	AIRE
PRECALENTADO	500	1	AIRE
TEMPLE	980	2	ACEITE
REVENIDO	300	2	AIRE
2do REVENIDO	300	2	AIRE

(Fuente: Propia)



Figura 2.17. Probetas AISI 420 templadas y con doble revenido.
(Fuente: Propia)

3 RESULTADOS

3.1 Resultados

Este capítulo describe los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados con el material en su estado recocido, y posteriormente los resultados obtenidos de los diferentes ensayos en el material templado con doble revenido.

3.1.1 Resultados del ensayo de espectrometría de chispa

La tabla 3.1 compara la composición química que se obtuvo mediante el ensayo de espectrometría de chispa realizado en el Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) de la EPN y la composición química del acero AISI 420 según la norma ASTM F899-20. En el ANEXO I se muestra el informe de la composición química entregado por el DEMEX.

Tabla 3.1. Composición química del acero AISI 420.

COMPOSICIÓN QUÍMICA ACERO AISI 420							
AISI 420	C (%)	S (%) Max	Mn (%) Max	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	P (%)
Norma ASTM F899-20	0,16-0,25	0,030	1,00	1,00	12-14	-	0,04
DEMEX	0,24	0,004	0,343	0,474	12,52	0,083	0,001

(Fuente: Propia)

Los resultados confirman que el material que se está estudiando es un acero martensítico AISI 420, la presencia de otros elementos en pequeñas cantidades se debe a que algunos de estos aceros son hechos de materiales reciclados.

3.1.2 Resultados del ensayo de tensión

Se realizaron tres ensayos por cada condición (material recocido y material templado y doble revenido), con probetas según la norma ASTM E8/E8M. Los valores obtenidos del ensayo para las dos condiciones se encuentran en el ANEXO III.

La tabla 3.2 muestra un resumen de los valores promedio de resistencia a la tracción, carga máxima y elongación en sus dos condiciones.

Tabla 3.2. Valores promedio del ensayo de tensión del material AISI 420 en sus dos condiciones

PROBETA	ANCHO PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	CARGA MÁXIMA REGISTRADA		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		% ELONGACIÓN EN 50 [mm]
	[mm]	[mm]	[lbf]	[N]	[ksi]	[Mpa]	
Condición de fabrica	12,69	5,83	8,632	38,399	75,16	518,2	31,4
Revenido	13,11	5,80	22,032	98,00	186,7	1287,6	2,26

(Fuente: Propia)

La figura 3.1 muestra los valores de la tabla 3.2 donde se observa el aumento de la resistencia a la tracción del material AISI 420 después de ser templado y dos veces revenido con respecto a su condición de fábrica.

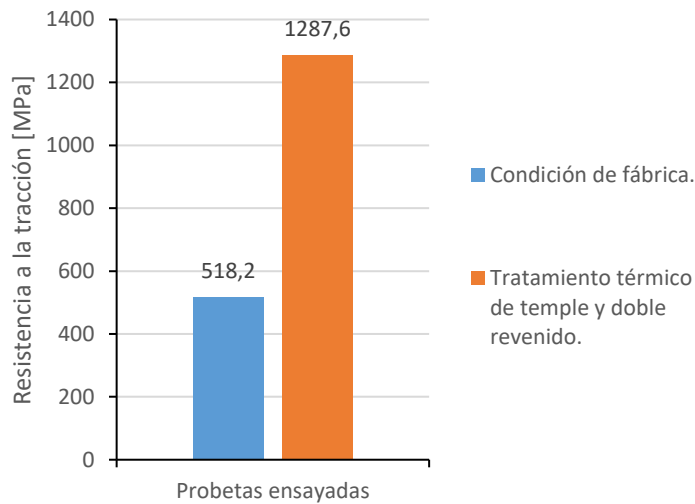


Figura 3.1. Resistencia a la tracción antes y después de templado y dos veces revenido. (Fuente: Propia)

La resistencia a la tracción en el material AISI 420 después del tratamiento térmico aumenta en un 40.3 %.

A continuación, se muestran las probetas en su condición de fábrica y después del tratamiento térmico de temple y doble revenido después del ensayo de tensión para ambos casos.

3.1.2.1 Probetas después del ensayo de tensión.

Se adjunta las fotografías de cada una de las probetas después del ensayo de tensión, se observa el tipo de fractura que se dio en el material recocido y con doble revenido, como también la zona de la probeta donde se fracturó.

En su condición de fábrica.

Probeta T1

La figura 3.2 muestra que la fractura se produce dentro de la zona de transición y hay deformación plástica (reducción del área transversal).



Figura 3.2. Probeta T1 sin tratamiento térmico.
(Fuente: Propia)

Probeta T2.

La figura 3.3 muestra que la fractura se produce dentro de la zona de transición y hay deformación plástica (reducción del área transversal).



Figura 3.3. Probeta T2 sin tratamiento térmico.
(Fuente: Propia)

Probeta T3

La figura 3.4 muestra que la fractura se produce dentro de la zona de transición y hay deformación plástica (reducción del área transversal).



Figura 3.4. Probeta T3 sin tratamiento térmico.
(Fuente: Propia)

Con tratamiento térmico de temple y doble revenido.

Probeta T1.

La figura 3.5 muestra que la fractura se produce fuera de la zona de transición y casi no hay deformación plástica (no se observa reducción en el área transversal).



Figura 3.5. Probeta T1 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.
(Fuente: Propia)

Probeta T2.

La figura 3.6 muestra que la fractura se produce dentro de la zona de transición, y casi no hay deformación plástica (no se observa reducción en el área transversal).



Figura 3.6. Probeta T2 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.
(Fuente: Propia)

Probeta T3.




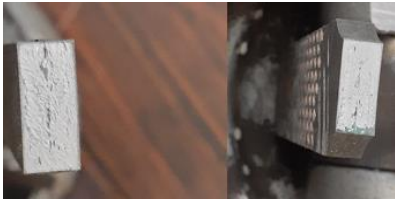
En la figura 3.7 la fractura se produce fuera de la zona de transición y casi no hay deformación plástica (no se observa reducción en el área transversal).



Figura 3.7. Probeta T3 con tratamiento térmico de temple y doble revenido.
(Fuente: Propia)

La tabla 3.3 muestra la superficie de fractura que se dio en las probetas en su condición de fábrica y con tratamiento térmico de temple y doble revenido después del ensayo de tracción.

Tabla 3.3. Superficie de fractura en las probetas del material AISI 420 en su condición de fábrica y doble revenido después del ensayo de tensión

SUPERFICIE DE FRACTURA EN LAS PROBETAS DEL MATERIAL AISI 420 DESPUES DEL ENSAYO DE TENSION EN SUS DOS CONDICIONES	
Se observa una fractura dúctil, la probeta sufre una deformación plástica antes de romperse y la reducción del área transversal es evidente.	
Probetas en su condición de fábrica despues del ensayo de tensión	
Se observa la rotura típica de una fractura dúctil (formación de cuello de botella en el área fracturada).	
Area transversal de las probetas en su condición de fábrica despues del ensayo de tensión	
Se observa una fractura frágil la probeta no presenta deformación plástica, el área transversal no se reduce.	
Probetas con tratamiento térmico de revenido despues del ensayo de tensión	
Se observa la rotura típica de la deformación plástica (sin reducción del área transversal) .	
Área transversal de las probetas con taratamiento térmico de revenido despues del ensayo de tensión	

(Fuente: Propia)

De la tabla 3.3 y los datos de la tabla 3.2 del ensayo de tensión se observa que el material AISI 420 en su condición de fábrica tiene un comportamiento dúctil y luego del tratamiento térmico presenta un comportamiento frágil, ya que aumenta su dureza en esta condición.

3.1.3 Resultados del ensayo de dureza

La tabla 3.4 muestra el mapeo de durezas obtenidas en base a la Norma ASTM E18-19 en el laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla de la EPN, para el material en su condición de fábrica y el material templado con doble revenido, se realizaron 3 indentaciones en cada probeta. El informe del mapeo de durezas para el material en su condición de fábrica se encuentra en el ANEXO II.

Tabla 3.4. Mapeo de durezas en el material base en su condición de fábrica.

Muestra	DUREZA ROCKWELL					
	1		2		3	
	HRB	HRC	HRB	HRC	HRB	HRC
Condición de fábrica	84	0	84	0	85	1
Tratamiento Térmico	117	51	116	47	115	45

(Fuente: Propia)

La figura 3.8 muestra la variación de los valores promedio de dureza para el material en su condición de fábrica y el material con tratamiento térmico de doble revenido.

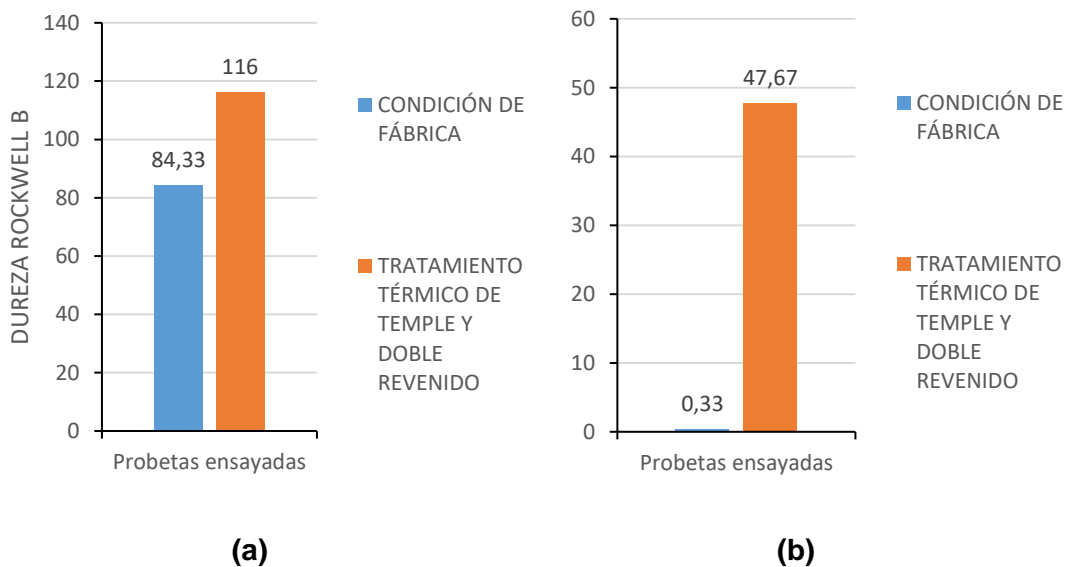


Figura 3.8. (a) Valor promedio de dureza en escala Rockwell B para las dos condiciones. (b) Valor promedio de dureza en escala Rockwell C para las dos condiciones. (Fuente: Propia)

La dureza en su condición de fábrica (CF) es menor a la dureza del material con tratamiento térmico (TR) en ambas escalas, para la escala Rockwell C la dureza en el material en su condición de fábrica casi es nula.

El material AISI 420 tiene una buena respuesta ante el tratamiento térmico de temple y revenido, la mayor resistencia a la corrosión de este material se obtiene cuando este es endurecido y luego rectificado. Con la dureza que se obtiene después del revenido y su resistencia a la corrosión hace que el material sea una excelente opción para la fabricación de cuchillas de corte para capuchones plástico en su condición de templado y revenido.

3.1.4 Resultado de las metalografías

El resultado de las metalografías realizadas a una muestra del material recocido y templado con doble revenido con un aumento de 100X y 500X se muestran continuación:

3.1.4.1 Metalografías en su condición de fábrica (Recocido)

La figura 3.9 muestra la presencia de inclusiones no metálicas. Muestra 22-034M.



Figura 3.9. Metalografía óptica a 100x en su condición de fábrica sin ataque químico.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.10 se observan marcas producto de laminación, así como inclusiones no metálicas.

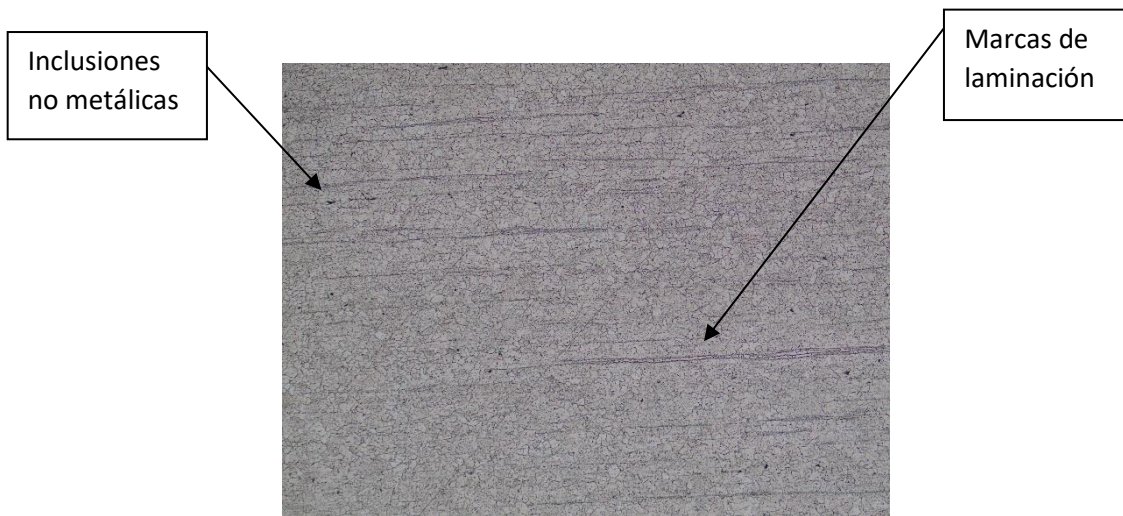


Figura 3.10. Metalografía óptica a 100x en su condición de fábrica con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M (Fuente: Propia)

La figura 3.11 muestra una microestructura con matriz de granos de ferrita equiaxial, así como carburos de cromo dispersos en la matriz. Se observa marcas productos del laminado.

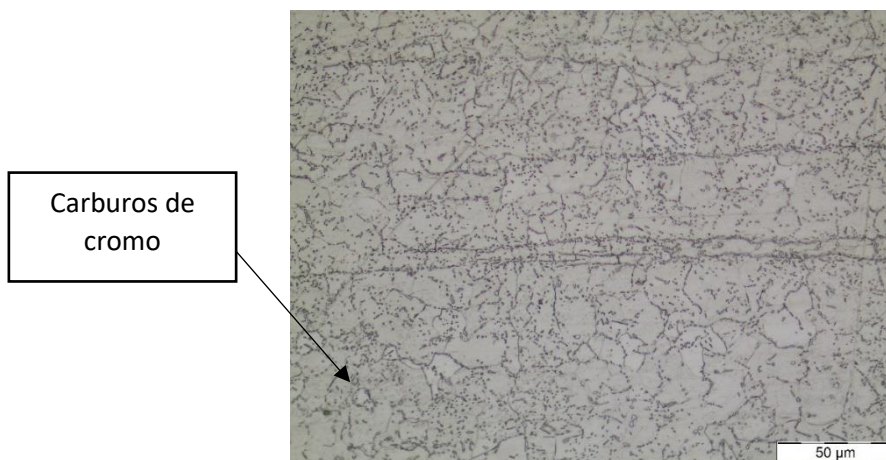
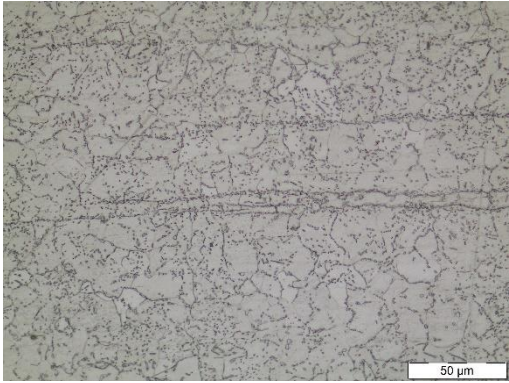
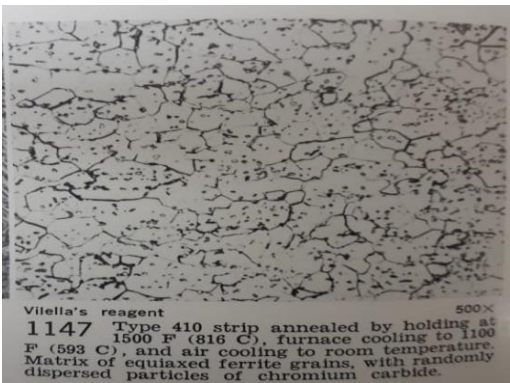


Figura 3.11. Metalografía a 500 x en su condición de fábrica con ataque químico. Marble. Muestra 22-034 M. (Fuente: Propia)

Tabla 3.5. Metalografías: AISI 420 – AISI 410 a 500X. En estado recocido.

	
<p>Metalografía óptica 500x: acero inoxidable martensítico AISI 420 en su condición de fábrica (recocido). Realizado en el laboratorio de materiales de la EPN. Ataque: Marble. Muestra 22-034M</p>	<p>Metalografía óptica 500x: acero inoxidable martensítico AISI 410 recocido. Metals Handbook (Atlas of microstructures of industrial alloys. 8th Edition. V.7) [9].</p>

(Fuente: Propia)

3.1.4.2 Metalografías luego del temple y doble revenido.

En la figura 3.12 se observa una microestructura martensítica revenida e inclusiones no metálicas.



Figura 3.12. Metalografía óptica a 100 x con tratamiento térmico de temple y doble revenido, con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M (TR)
(Fuente: Propia)

En la figura 3.13 se observa la metalografía óptica del acero AISI 420 después de templado y doble revenido. Se observa una microestructura martensítica revenida en una matriz

ferrítica, así como carburos de cromo dispersos en la matriz. Ataque: Marble. Muestra 22-034M.

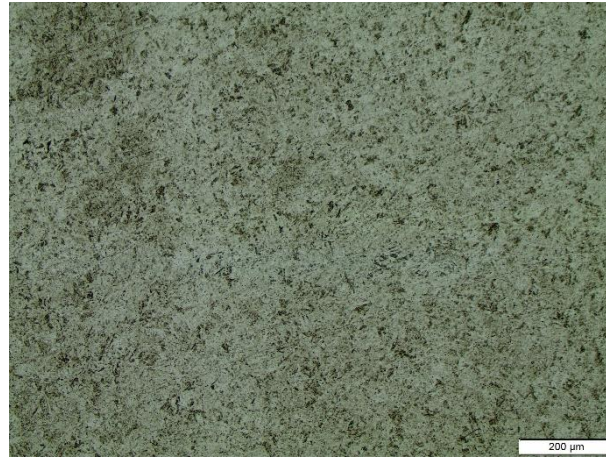


Figura 3.13. Metalografía óptica a 100x con tratamiento térmico de temple y doble revenido, con ataque químico: Marble. Muestra 22-034M (TR)
(Fuente: Propia)

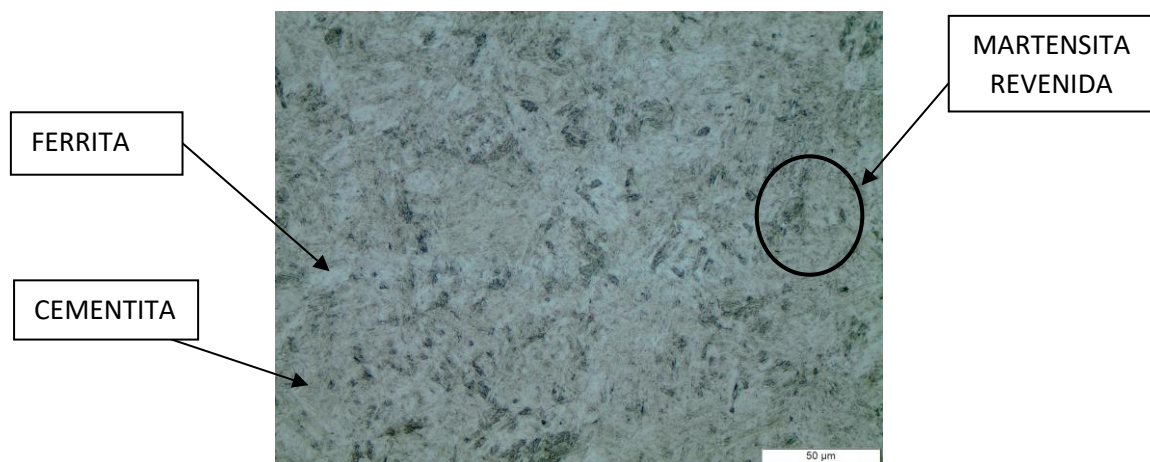


Figura 3.14. Metalografía óptica 500x. Acero inoxidable martensítico AISI 420 con tratamiento térmico de doble revenido, se indican las fases presentes de la martensita revenida.
(Fuente: Propia)

3.2 Comparación de las propiedades mecánicas del acero AISI 420 y el acero DF2 (AISI 01).

En la tabla 3.6 con los resultados obtenidos anteriormente se procede a comparar las propiedades mecánicas del material AISI 420 respecto al material DF2 equivalente al AISI 01, así como también las ventajas de reemplazar el material DF2/AISI 01 por el material AISI 420. En el ANEXO V se observan las propiedades mecánicas del material DF2/AISI 01.

Tabla 3.6. Propiedades mecánicas del acero DF2/AISI 01 Y AISI 420.

PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO DF2/AISI 01 -AISI 420			
ACERO	DF2/AISI 01	AISI 420	Ventajas de usar el material AISI 420
Dureza [HRC]	60 HRC	47,67	El material es resistente a la corrosión lo que ayuda a la herramienta a trabajar en ambientes salinos evitando el desgaste prematuro por oxidación.
Resistencia a la tensión [Mpa]	2,700	1,287	
Límite elástico [MPa]	2,15	frágil	El material puede ser tratado térmicamente bajo otras condiciones y aumenta tanto su resistencia como su dureza puede llegar a una dureza de 52 HRC
Resistencia a la corrosión	NO	SI	

(Fuente: Propia)

El material AISI 420 puede llegar a tener una dureza de 52 HRC en otras condiciones de temple y revenido, en sí el material tiene buena dureza y resistencia, y como principal característica resistente a la corrosión, lo suficiente para cortar las láminas plásticas, ya que estas tienen un espesor de 0.5 [mm]. Por ende, se puede usar este material para el proceso de corte para capuchones plásticos.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La composición química obtenida por espectrometría de chispa del acero inoxidable en estudio confirma que el material en estudio es un acero inoxidable martensítico AISI 420, ya que se encuentra en el rango de composición según la norma ASTM F899-20 como se muestra en la tabla 3.1.

En la figura 3.9 se muestra la metalografía óptica del material en su condición de fábrica (recocido) a 100x y sin ataque químico, se puede observar inclusiones no metálicas, estas interrumpen la continuidad de la estructura y disminuyen la resistencia en los aceros, en la figura 3.10 en la muestra con ataque químico a 100 x se observa que el material paso por un proceso de laminado, hay presencia de marcas de laminación así como inclusiones no metálicas, en la figura 3.11 a 500x se observa una microestructura compuesta por carburos dispersos en una matriz de ferrita equiaxial que se forman al combinarse algunos elementos aleantes con el carbono, se tratan de carburos de cromo por su color, ya que estos carburos se ponen en manifiesto como “lagunas blancas” como se muestran en la figura 3.11 y debido a que el material pasa por un proceso de ablandamiento (recocido) en su microestructura tiene una matriz de ferrita, el cual es el constituyente más blando de los aceros.

La tabla 3.5 muestra la microestructura del acero AISI 420 y la microestructura del material AISI 410 ambos en las mismas condiciones de recocido, esta comparación se puede hacer, ya que el acero AISI 420 es una modificación del acero AISI 410 por lo cual en las mismas condiciones presentan una microestructura similar.

El acero inoxidable martensítico AISI 420 en esta condición (recocido) y con esta microestructura tiene una dureza promedio de 84.33 HRB y su dureza en la escala HRC es casi nula como se muestra en la tabla 3.4, tiene una resistencia a la tensión de 518.2 [MPa], y una elongación promedio de 31.4 %.

Después del temple a una temperatura de 980 °C durante 2 horas y un enfriamiento rápido en aceite se obtiene una microestructura martensítica fina, la apariencia de la martensita en estos aceros depende del contenido de carbono, con el incremento de este elemento se vuelve más fina, el enfriamiento rápido hace que la microestructura cambie y, por lo tanto, las propiedades mecánicas también cambian, así como también garantiza la máxima resistencia a la corrosión y tenacidad en este acero, se puede observar en el ANEXO IV que el material al ser templado alcanza una dureza de 52 HRC.

La martensita obtenida en el temple tiene elevada dureza y las tensiones alrededor de los átomos de C atrapados en la red cristalina de hierro producen fragilidad en el material por lo que posteriormente se aplica revenido al material para reducir la fragilidad resultado del

temple, en la tabla 2.7 se muestran las condiciones del tratamiento térmico de doble revenido, el material después del doble revenido baja su dureza alcanzando un valor final de 47.67 HRC como se muestra en la figura 3.8 (a), resultado del doble revenido también se ganó un pequeño porcentaje de ductilidad y de elongación de 2.26%, en esta condición el material presenta una microestructura martensítica revenida como se muestra en la figura 3.13, “la martensita revenida no es una fase ni es martensita: son finas partículas de la fase cementita en una matriz ferrita como se muestra en la figura 3.14. Mientras más contenido de carbono en el acero, mayor será la cantidad de cementita (fase dura) después del temple y revenido, con respecto a la cantidad de ferrita (fase dúctil)”, por lo tanto, el contenido de carbono es un factor que aumenta la dureza del material templado y revenido.

Después del temple y doble revenido cambia su microestructura y por ende las propiedades mecánicas cambian: la dureza en HRB aumenta en un 27.3 %, su resistencia a la tracción aumenta en un 40.3 %, mientras que su porcentaje de elongación disminuye en un 92.8 %, debido a esto el material tiene diferente comportamiento en estado recocido y después de templado y doble revenido, en la tabla 3.3 se puede observar las superficies de fractura después del ensayo de tensión en sus dos condiciones, el material AISI 420 en su condición de fábrica es menos duro y dúctil, mientras que después del tratamiento térmico presenta un comportamiento duro y frágil.

El acero inoxidable martensítico AISI 420 en condición de recocido presenta una microestructura de carburos de cromo dispersos en una matriz de ferrita lo que hace del material un material menos duro, dúctil, y menos resistente a la corrosión, al someterle a un tratamiento térmico de temple y enfriamiento rápido se logra obtener en su microestructura martensita fina por lo cual el material tiene una alta dureza y es muy frágil por lo que el material puede fallar durante el servicio entonces se somete a un proceso de alivio de esfuerzos (revenido) donde el material cambia su microestructura de martensita a martensita revenida donde se tiene cementita y ferrita, la cementita es menos dura que la martensita por lo que el material baja su dureza como también baja su fragilidad y hace que el material adquiera un pequeño porcentaje de ductilidad.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Mediante los ensayos realizados de espectrometría de chispa (composición química), dureza, tensión, metalografías para estudiar y caracterizar al acero inoxidable martensítico AISI 420 (acero de alta aleación) en este trabajo, se logró cumplir con los objetivos establecidos.
- El acero inoxidable martensítico 420 en estado recosido y en condición de endurecido es magnético, su resistencia a la corrosión máxima se obtiene en estado endurecido por lo que raramente es usado como recocido.
- Al obtener la composición química, se notó la presencia de algunos otros elementos en pequeñas cantidades como Cu 0.004%, Sn 0.004, V 0.028%, W 0.161% esto se debe a que estos aceros son hechos de materiales reciclados para luego ser procesados y obtener el acero AISI 420.
- Con el temple se consigue una dureza de 52 HRC y al someter a un doble revenido se obtuvo finalmente una dureza promedio de 47.67 HRC, esto se debe a que al aplicar el revenido disminuye la fragilidad en el material y reduce tensiones internas que se producen en el temple.
- El porcentaje de elongación se redujo en un 92.8% después del tratamiento térmico de doble revenido, por lo que se evidencia que el material en esta condición tiene un comportamiento frágil.
- Después del tratamiento térmico de temple y doble revenido, el material mejora sus propiedades mecánicas de dureza HRB en un 27.3 % y de resistencia a la tracción en un 40.3 %, además, en esta condición tiene buena resistencia al desgaste y a la corrosión.
- Se observa la presencia de carburos de cromo dispersos en la matriz, lo que es bueno, ya que si estos están alineados la tenacidad en el material se vería afectada, ya que favorecen el crecimiento de grietas.
- El acero AISI 420 después del tratamiento térmico de temple y doble revenido tiene mejoras en sus propiedades de dureza, como de resistencia a la tensión, y un pequeño grado de ductilidad, por lo que el material con estas propiedades si puede ser usado para la fabricación de cuchillas de corte.

5.2 Recomendaciones

- Para los ensayos se recomienda que la superficie de las probetas esté totalmente lisa para de esta manera evitar concentradores de esfuerzos y tener valores erróneos en los ensayos.
- Se recomienda realizar un temple en otras condiciones de temperatura, ya que el material puede alcanzar una dureza de 52 HRC.
- Se recomienda realizar un estudio de costos para la fabricación de cuchillas con el acero AISI 420 y ver la factibilidad de fabricar en serie estos elementos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] López Claudia, "OBTENCIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS DE ACERO INOXIDABLE 304 Y SU CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA," CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C., Chihuahua, 2012.
- [2] Maldonado Luis, "ACEROS Y SUS APLICACIONES," UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON, Nuevo León, 1996.
- [3] Castro Guillermo, "HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL ACERO," *F.I.U.B.A.*, Feb. 2009.
- [4] Groover Mikell, *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*, 3rd ed. México, 2007.
- [5] Acuña Marcela and Lozada Marcela, "ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420," ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2013.
- [6] Kalpakjian S, *MANUFACTURA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 5th ed. México, 2008.
- [7] Delgado John and López Andrés, "ESTUDIO DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL DEL ACERO AISI 420 MAQUINADO MEDIANTE PROCESO DE RECTIFICADO," ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2020.
- [8] Nunura César and Lecaros César, "CARACTERIZACIÓN DEL ACERO INOXIDABLE AISI 420 Y LOS EFECTOS DE LA PRESENCIA DE CARBUROS DE CROMO EN LA ESTRUCTURA MARTENSÍTICA," *Investigación aplicada e innovación*, p. 7, 2015.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR METALS, *METALLOGRAPHY, STRUCTURES AND PHASE DIAGRAMS*, 9th ed., vol. 8. Miami-USA, 1973.
- [10] Andrade José, "ESTUDIO DEL RECOCIDO DE HOMOGENEIZACIÓN," INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México D. F., 2015
- [11] Hernández Laura and Romero Daniel, "ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 316, 420 Y 430 UTILIZANDO LA TÉCNICA DE METALOGRAFÍA A COLOR," UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá, 2016.
- [12] Rodríguez Claudia, García Perla, and Hernández Juan, "ESTUDIO DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACEROS AISI 420 F EN LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES E100."
- [13] Álvarez Daniel and Arias David, "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," UNIVERSIDAD DE CARABOBO , Valencia, 2008.
- [14] Metals Handbook / AMERICAN SOCIETY FOR METALS, *ATLAS OF MICROSTRUCTURES OF INDUSTRIAL ALLOYS*, 9th ed., vol. 7. Miami-USA, 1972.
- [15] Medina R. and Serna C. P., "EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS," *IBERMET XI*, 2010.
- [16] Larre Va, "ESTRUCTURAS DEL ACERO," in *METALOGRAFÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS*

- [17] Flórez Edilberto, Fuentes Javier, and Espitia Luis, "EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA MICROESTRUCTURA Y EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1045," Colombia, 2018.
- [18] Leal Sergio, "CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE SU RESISTENCIA MECÁNICA Y CONFORMABILIDAD ," UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON, San Nicolás de los Garza, 2011.

7 ANEXOS

ANEXO I. Resultados de la composición química DEMEX.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Gabriel Timbila
No. Referencia : RM - 10428
Fecha : 03/10/2022
Muestras recibidas : Una probeta de acero inoxidable: 22-035

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN y se reportan los datos con tres cifras decimales por pedido del cliente. A continuación, los resultados obtenidos:

Metales	22-035 (%)
Carbono (C)	0,245
Silicio (Si)	0,474
Manganeso (Mn)	0,343
Fósforo (P)	0,001
Azufre (S)	0,004
Cromo (Cr)	12,52
Níquel (Ni)	0,083
Cobre (Cu)	0,004
Cobalto (Co)	0,002
Estaño (Sn)	0,004
Vanadio (V)	0,028
Wolframio (W)	0,161
Hierro (Fe)	86,11



Firmado electrónicamente por:
**DIANA ENDARA
DRANICHNIKOVA**

Ing. Diana Endara D. PhD
Jefe de Departamento



Firmado electrónicamente por:
**EVELYN PAMELA
CRIOLLO TIRADO**

MSc. Evelyn Criollo T.
Jefe de Laboratorio

ANEXO II. Informe sobre el mapeo de durezas en el material en su condición de fábrica

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000	
		Fecha: 22/09/2019	
		Página: Pág. 1 de 2	
	INFORME DE RESULTADOS N° OTI0195-22	RT-LMDF-0701	

INFORME DE RESULTADOS N° OTI0195-22

Información General

Cliente / Empresa/ Entidad:	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		
Persona de contacto:	JUAN GABRIEL TIMBILA YÁNEZ		
Teléfono: 0994777487	E-mail:	juan.timbila@epn.edu.ec	
Muestras suministradas por: 2	Fecha de recepción de muestra:	25-09-22	
Fecha de emisión de Informe: 29-09-22	Fecha/ plan y método de muestreo:	N/A	
Fecha de inicio de ensayo: 25-08-22	Fecha de fin de ensayo:	25-08-22	

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la Escuela Politécnica Nacional, unas probetas de acero, a someterse a ensayos complementarios para el desarrollo del proyecto integrador "ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE UN ACERO DE ALTA ALEACIÓN USADO PARA EL CORTE DE CAPUCHONES PLASTICOS. Memorando Nro. EPN-DMT-2022-1230-M.

2. MAPEO DE DUREZAS

El mapeo de durezas se lo realizó en base a la Norma ASTM E18-19, en especificado por el cliente, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla N° 1:

Tabla N° 2. Valores de dureza.

Muestra	Durezas Rockwell HRB		
	1	2	3
22-034 base	84	84	85
22-034 muestra	83	84	85

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" -Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño - Edificio N°14 PB RUC: 1760005620001 - Tel. (593 - 2) 2 976 300 Ext. 3010/3011 E-mail: metalografia@epn.edu.ec Quito-Ecuador

ANEXO III. Resultados del ensayo de tracción en su condición de fábrica y después del tratamiento térmico de revenido.

La tabla 3.7 muestra los resultados del ensayo de tracción en su condición de fábrica y después del tratamiento térmico de revenido.

Tabla 3.7. Resultados del ensayo de tracción del material AISI 420 en su condición de fábrica y después del tratamiento térmico de doble revenido.

PROBETA	ANCHO PROMEDIO	ESPELOR PROMEDIO	CARGA MÁXIMA REGISTRADA		LÍMITE DE FLUENCIA		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		% ELONGACIÓN EN 50 [mm]
	[mm]	[mm]	[lbf]	[N]	[ksi]	[MPa]	[ksi]	[Mpa]	
1 condición de fábrica	12,63	5,84	8,597	38,241	60,2	415,4	75,2	518,5	31,4
2 condición de fábrica	12,84	5,86	8,702	38,708	59,9	412,9	74,6	514,4	29,2
3 condición de fábrica	12,62	5,81	8,599	38,249	58,7	404,8	75,7	521,7	33,6
1 doble revenido	13,10	5,76	21,326	94,863	*	*	182,3	1257,5	2,6
2 doble revenido	13,09	5,82	22,749	101,191	*	*	192,6	1328,5	2,9
3 doble revenido	13,16	5,83	22,021	97,953	*	*	185,2	1277,0	1,3

(Fuente: Propia)

*Nota: No hay valores de límite de fluencia en el material revenido, ya que se dio una fractura frágil.

Se observa que después del tratamiento térmico su resistencia a la tracción aumenta significativamente y no hay valores de límite de fluencia.

ANEXO IV. Proceso de tratamiento térmico de temple y doble revenido

N° 0033080

ORDEN DE TEMPLE / RECOCIDO (UIO)

Fecha: ___/___/202___ Hora: _____ HRS
da mes año

Nombre: _____ Dirección: _____ Tel: _____

"Bien propiedad del Cliente" No. De piezas: _____ Peso (Kg): _____

Aceros: _____ Tratamiento: Temple Distensionado Recocido Medición de Dureza Dureza deseada (HRC) _____

Fecha de entrega: _____ Hora: _____ Observaciones: _____

Confirmación telefónica: _____

Valor por kilo \$ _____ Subtotal \$ _____ Dcto. % _____ LVA. % _____ Total \$ _____


AVISO IMPORTANTE
 Las piezas serán tratadas con el mayor cuidado y la técnica más moderna. En caso de reclamos, a efectuarse a más tardar dentro de los quince días posteriores a la fecha de entrega del trabajo, nuestra responsabilidad no será mayor al valor del servicio del tratamiento térmico, salvo con piezas aceptadas y cotizadas bajo garantía.

PIEZAS SIN GARANTÍA No. _____, debido a: 1) piezas por deformación 2) las piezas tienen medidas y ajustes finales, 3) elevados valores de rugosidad por el mecanizado, 4) mecanizado asimétrico, piezas con ángulos vivos y aristas concentradores de tensiones, 5) piezas con cascarrilla original de laminación, 6) acero o material desconocido, 7) piezas pequeñas difíciles de amarrar, 8) acero diferente al registrado en la orden de trabajo, 9) piezas de gran tamaño, longitud y espesores muy pequeños, 10) piezas soldadas, 11) piezas con recubrimientos electrofíticos como cromado, níquelado, galvanizado, 12) piezas que fueron sometidas a procesos de rectificado o mecanizado posterior al tratamiento térmico bajo condiciones no adecuadas, 13) aceros utilizados en aplicaciones diferentes para las que fueron diseñados.

"LA SUSCRIPCIÓN DE LA PRESENTE ORDEN POR EL CLIENTE IMPLICA LA ACEPTACIÓN PLENA DE LAS PRESENTES CONDICIONES DE TRABAJO"

MEDIO DE ENTREGA

PLANTA VOESTALPINE UIO
 TRANSPORTE INTERPROVINCIAL
 ENTREGA LOCAL


FIRMA CLIENTE

RECIBIDO POR _____


Dirección de entrega: _____ Fecha de Entrega: ___/___/202___ Hora: _____ HRS
da mes año

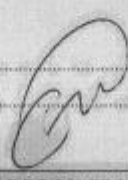
Factura N°: 591708034

Tratamiento	Horno N°	Temperatura (°C)	Tiempo	CC	Enfriamiento			Control de calidad		Observación
					ISO	ACEITE	AIRE	IV	DUREZA (HRC)	
RECOCIDO										
DISTENSIONADO	9	500°	1H							
PRECALENTAR	9	500°	1H							
TEMPLE	3	900°	25'				✓		52 HRC	
REVENIDO	9	300°	2H							
2do REVENIDO	9	300°	2H						50 HRC	
3er REVENIDO										
SUBCERO										

Donde: ISO: Isotérmico, IV: Inspección Visual, Cant.: Cantidad de piezas
 Tiempo: seg (segundo), min (minuto), h (hora)
 CC: Control de calidad Tiempo y Temperatura
 (✓) Pasa control de calidad
 (X) No pasa control de calidad

Resultado Medición de Dureza: _____ 50 HRC


RESPONSABLE DEL PROCESO


RESPONSABLE DE CONTROL DE CALIDAD

ANEXO V. Propiedades acero DF2= AISI 01

HOJA TÉCNICA



→ AISI 01

Equivalencia:	ASTM A681-08: O1		DIN 1.2510 (100 MnCrW4)			JIS ~ SKS 3		
Composición Química:	%C	%Si	%Mn	%Cr	%V	%W	%P	%S
	0.85 - 1.00	0.10 - 0.50	1.00 - 1.40	0.40 - 0.70	≤ 0.30	0.40 - 0.60	≤ 0.030	≤ 0.030
Condición de Suministro:	Recocido a una dureza máxima de 241 HB (~ 23 HRC)							
Propiedades físicas:	Conductividad térmica				Coefficiente de expansión térmica			
	0 - 200°C		0 - 400°C		0 - 200°C		0 - 400°C	
	33.0 W / m °C		34.0 W / m °C		11.7 x 10 ⁻⁶ / °C		11.4 x 10 ⁻⁶ / °C	
Propiedades mecánicas (aprox. a temperatura ambiente):	Dureza			60 HRC		55 HRC		
	Resistencia a la tensión MPa (Lb / in ²):			2,700 (391,000)		2,200 (319,000)		
	Límite elástico MPa (Lb / in ²):			2,150 (312,000)		1,900 (276,000)		

• Los valores señalados son resultado de varias evaluaciones y no son mandatorios, ya que dependen de las condiciones de tratamiento térmico que sean aplicadas, y se presentan solo como información general.