



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Evaluación del comportamiento mecánico del
alambrón al ser trefilado y sometido al tratamiento
térmico de recocido.**

Luis E. Casanova P.

Jesús A. Sayago G.

Naguanagua, 15 Julio de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada ***“Evaluación del comportamiento mecánico del alambión al ser trefilado y sometido al tratamiento térmico de recocido.”***, presentada por los bachilleres: **Jesús Sayago** y **Luis Casanova**, portadores de la Cédula de Identidad N°: V-17.513.232 y V-17.008.712 respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Tutor, Eleazar Díaz
Presidente del jurado

Prof. Gennifer Aparicio
Miembro del jurado

Prof. Carmelo Torres
Miembro del jurado

En Naguanagua a los 15 días del mes de Julio de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Evaluación del comportamiento mecánico del alambrón al ser trefilado y sometido al tratamiento térmico de recocido.

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de
Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico*

Tutor académico:
Prof. Eleazar Díaz

Autores:
Jesús A. Sayago G.
Luis E. Casanova P.

Naguanagua, 15 de Julio de 2011

Agradecimiento

*Primeramente queremos agradecer a **DIOS** por permitimos llegar a esta etapa tan importante de nuestras vidas.*

*Al profesor Ing. **Eleazar Díaz** por prestarnos todo el apoyo necesario para la el desarrollo y culminación de nuestra investigación*

*Al Ing. **Eduardo Vargas** por su ayuda y orientación en **SIDETUR** a lo largo de todo nuestro trabajo.*

*A **Yozmary Pérez** por toda la ayuda que nos ofreció dentro del Laboratorio de Materiales de la Escuela de Mecánica de la Universidad de Carabobo.*

*Finalmente queremos agradecer a la **Universidad de Carabobo**, la **Facultad de Ingeniería** y a los **Profesores** que conforman la **Escuela de Mecánica**, los cuales a lo largo de este proceso, nos entregaron una infinidad de conocimiento que estamos seguros nos servirá para desarrollarnos en el campo profesional.*

JESÚS SAYAGO Y LUIS CASANOVA.

Dedicatoria

*A mi Padre **Luis Sayago**, mi Madre **Doris González** y a mi Hermana **Naylith Sayago**, gracias a ellos he alcanzado esta meta, gracias por el apoyo en los buenos y en los malos momentos, gracias por haberme dado todas las herramientas disponibles para facilitarme el camino, gracias porque sin ustedes yo no me sentiría capaz de haber logrado este objetivo. **Gracias por TODO!***

*A los **Panas**, entre ellos: Tomás Maldonado, Deicy Rincón, Ángel Flores, Jhonathan Parra, Jesús Pinto, Luis López, Diego Lugo y todos aquellos que compartieron conmigo y que me prestaron su ayuda a lo largo de la carrera.*

*A mi compañero **Luis Casanova** por su esfuerzo y apoyo a lo largo de la carrera.*

JESÚS SAYAGO.

Dedicatoria

Dedico, esta tesis y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten.

A mi madre ya que gracias a ella soy quien soy hoy en día, fue la que me dio su amor, comprensión y calor humano necesario, la que velo por mi salud, mis estudios, mi educación entre otros, a ella es a quien le debo todo, horas de consejos, reprendidas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy seguro que lo ha hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral.

A mi esposa quien ha estado a mi lado en todos los momentos gratos que he vivido junto a ella, el cual me siento la persona más afortunado, le agradezco por compartir todos esos secretos y aventuras que se solo se puede vivir entre dos personas, el cual ha estado siempre alerta ante cualquier problema que se me puede presentar, prácticamente hemos vivido las mismas historia, los mismos pesares y las mismas alegrías, una persona capaz de sacrificarse por mi bienestar y el de su familia.

A mi abuela por ser la persona más especial de este mundo, por apoyarme en todo momento de manera directa e indirecta en el desarrollo de mi carrera universitaria logrando el Éxito.

A mi tío el cual ha sido como un padre para mí, que me ha dado la educación, el ejemplo de ser un ser integro, responsable, respetuoso, buen hijo, obediente. A ti tío te dedico mi tesis y te doy gracias por estar allí siempre cuando te necesité, fuiste y seguirás siendo el padre que nunca tuve.

A mi compañero de tesis el cual ha sido de gran ayuda y soporte para culminar esta tesis con Éxito.

LUIS CASANOVA.

Resumen

En la presente investigación se realizó una evaluación de las propiedades mecánicas al alambroón de acero de bajo carbono al ser trefilado y sometido al tratamiento térmico de recocido. El tratamiento térmico se realizó a temperaturas entre 540 y 650°C, permaneciendo a tiempo constante (1h) y posterior enfriamiento lento. El comportamiento mecánico es caracterizado por medio del ensayo de tracción, microscopía (forma y tamaño de grano) y macroscopía óptica (tipo de fractura). Las propiedades mecánicas evaluadas fueron: Esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y ductilidad. De los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se observaron cambios en las propiedades mecánicas del material como consecuencia del tratamiento térmico de recocido, este tratamiento produce un ablandamiento y aumento de la ductilidad a medida que aumenta la temperatura, incrementado así las posibilidades de deformación plástica. Por medio de los estudios se logró observar que para otorgarle al alambre trefilado propiedades mecánicas similares a las del alambroón, se debe aplicar una temperatura de recocido estimada entre 550°C y 575°C, para cualquiera de los diámetros evaluados. Cabe destacar que para estas temperaturas no se alcanza la recristalización total del material. Sin embargo, para las muestras evaluadas a 650°C, se logró recristalizar el material aunque el esfuerzo máximo resultó por debajo de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 845 para la fabricación de alambre trefilado. También se evidenció las superficies de fractura para las probetas de tracción, presentándose fractura con tendencia de tipo “copa-cono” para los alambrones y alambres tratados térmicamente, lo que evidencia un comportamiento dúctil con alta capacidad para la deformación en frío, y una fractura de tipo frágil para los alambres trefilados. Finalmente la investigación establece que el trefilado y la aplicación del tratamiento térmico de recocido de manera sucesiva en un alambroón de diámetro único, ofrece la posibilidad de obtener una variedad de diámetros inferiores de alambre para refuerzo estructural.

Simbología

A.	.....	Alambrón.
cm.	.....	Centímetros.
h	.....	Hora.
Kgf	.....	Kilogramos-Fuerza.
MPa	.....	Mega Pascal.
m.	.....	Metros.
mm.	.....	Milímetros.
Sy	.....	Esfuerzo de Fluencia (Limite Elástico).
T.	.....	Alambre Trefilado.
°C	.....	Grados Celsius.
@	.....	Tratamiento Térmico de Recocido durante 1 hora (Seguido de la temperatura en grados Celsius).
%D	.....	Porcentaje de Deformación.
%Df	.....	Porcentaje de Deformación en frío.
Δ	.....	Desviación Estándar.
σ	.....	Esfuerzo Máximo.

Índice general

Índice general	Xiii	
Índice de figuras	Xvii	
Índice de tablas	Xxi	
CAPÍTULO I	Introducción	1
1.1	Introducción, 1	
1.2	Situación problemática, 2	
1.3	Objetivos, 3	
	1.3.1 <i>Objetivo General</i> , 3	
	1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> , 3	
1.4	Justificación, 3	
1.5	Alcance, 4	
1.6	Limitaciones, 4	
1.7	Antecedentes, 4	

CAPÍTULO II	Marco Teórico	9
2.1	Generalidades del acero, 9	
2.2	Clasificación de los Aceros al Carbono, 10	
2.3	Aplicaciones del acero de bajo carbono,11	
2.4	Proceso de Trefilado, 12	
2.5	Tratamiento Térmico, 15	
2.5.1	<i>Etapas del tratamiento térmico, 15</i>	
2.5.2	Tratamiento térmico del alambre de acero para refuerzo estructural, 16	
2.6	Etapas del recocido de recristalización, 17	
2.6.1	<i>Recuperación, 17</i>	
2.6.2	Recristalización, 18	
2.6.3	Crecimiento de grano, 19	
CAPÍTULO III	Marco Metodológico	21
3.1	Introducción, 21	
3.2	Esquema Metodológico, 22	
3.3	Condiciones mecánicas a establecer en el material, 23	
3.4	Material a utilizar, 24	
3.4.1	Alambrón de acero al carbono,24	
3.5	Alambre Trefilado para refuerzo estructural, 27	
3.6	Ensayos de tracción, 29	
3.7	Tratamiento térmico de recocido, 30	
3.8	Estudio Metalográfico,30	
3.8.1	Toma de la muestra,31	
3.8.2	Desbaste,31	

3.8.3 Pulido,32		
3.8.4 Ataque,32		
3.8.5 Microscopía Óptica,33		
CAPÍTULO IV	Resultados y Análisis	35
4.1 Ensayo de Tracción, 37		
4.2 Microscopia Óptica, 63		
4.2.1 Forma y Tamaño de Grano, 70		
4.3 Fractografía, 70		
CAPÍTULO V	Conclusiones y Recomendaciones	75
5.1 Conclusiones, 75		
5.2 Recomendaciones, 76		
Referencias bibliográficas		77
Anexos		79

Índice de Figuras

Capítulo II

Figura 2.1 Curva de Variación de la Ductilidad para Distintos Materiales.	14
Figura 2.2 Fases del Tratamiento Térmico.	16
Figura 2.3 Efecto del Recocido sobre la Estructura y las Propiedades Mecánicas de un Metal Trabajado en Frío.	20

Capítulo III

Figura 3.1 Alambre de Acero a Estudiar.	24
Figura 3.2 Alambre Trefilado a Estudiar.	28
Figura 3.3 Máquina de Ensayo de Tracción Galdabini.	29
Figura 3.4 Horno de Tratamiento Térmico Thermolyne 48000 Furnace.	30
Figura 3.5 Cortadora Metalografía BUEHLER.	31
Figura 3.6 Corte Longitudinal a Observar en el Microscopio.	32
Figura 3.7 Pulidora Metalografía BUEHLER.	32
Figura 3.8 Campana de Ataque.	33
Figura 3.9 Microscopio Óptico UNION.	33

Capítulo IV

Figura 4.1 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre de 6 mm de Diámetro.	37
Figura 4.2 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm Diámetro.	38
Figura 4.3 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 540 °C durante 1 h.	38
Figura 4.4 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 565°C durante 1 h.	39
Figura 4.5 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 580°C durante 1 h.	39
Figura 4.6 Curva Esfuerzo Máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 6 mm de Diámetro.	40
Figura 4.7 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 6 mm de Diámetro.	40
Figura 4.8 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 6 mm de Diámetro.	41
Figura 4.9 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre de 7 mm de Diámetro.	42
Figura 4.10 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro.	42
Figura 4.11 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 550°C durante 1 h.	43

Figura 4.12 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 575°C durante 1 h.	43
Figura 4.13 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 600°C durante 1 h.	44
Figura 4.14 Curva Esfuerzo máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 7mm de Diámetro.	44
Figura 4.15 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 7 mm de Diámetro.	45
Figura 4.16 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 7 mm de Diámetro.	45
Figura 4.17 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambrón de 8 mm de Diámetro.	46
Figura 4.18 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro.	47
Figura 4.19 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 550°C durante 1 h.	47
Figura 4.20 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 575°C durante 1 h.	48
Figura 4.21 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 650°C durante 1 h.	48
Figura 4.22 Curva Esfuerzo máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 8 mm de Diámetro.	49

Figura 4.23 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 8 mm de Diámetro.	49
Figura 4.24 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 8 mm de Diámetro.	50
Figura 4.25 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambón de 9 mm de Diámetro.	51
Figura 4.26 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro.	51
Figura 4.27 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 550°C durante 1 h.	52
Figura 4.28 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 575°C durante 1 h.	52
Figura 4.29 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 600°C durante 1 h.	53
Figura 4.30 Curva Esfuerzo máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 9 mm de Diámetro.	53
Figura 4.31 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 9 mm de Diámetro.	54
Figura 4.32 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 9 mm de Diámetro.	54
Figura 4.33 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambón de 10 mm de Diámetro.	55

Figura 4.34 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro.	56
Figura 4.35 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 550°C durante 1 h.	56
Figura 4.36 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 575°C durante 1 h.	57
Figura 4.37 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 600°C durante 1 h.	57
Figura 4.38 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro, Tratado Térmicamente a 650°C durante 1 h.	58
Figura 4.39 Curva Esfuerzo Máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 10 mm de Diámetro.	58
Figura 4.40 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, material de 10 mm de Diámetro.	59
Figura 4.41 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 10 mm de Diámetro.	59
Figura 4.42 Influencia del Porcentaje de Deformación en Frío y la Temperatura de Recocido sobre el Esfuerzo máximo.	60
Figura 4.43 Curva Influencia del Porcentaje de Deformación en Frío y la Temperatura de Recocido sobre el Esfuerzo de Fluencia.	61

Figura 4.44 Influencia del Porcentaje de Deformación en Frío y la Temperatura de Recocido sobre la Ductilidad.	61
Figura 4.45 Microestructura de Alambón y Alambre Trefilado de 6mm de Diámetro y Posterior Recocido a 580 °C, 565 °C Y 540°C con Tiempo Constante de 1 h.	64
Figura 4.46 Microestructura de Alambón y Alambre Trefilado de 7mm de Diámetro y Posterior Recocido a 600 °C, 575 °C Y 550 °C con Tiempo Constante de 1 h.	65
Figura 4.47 Microestructura de Alambón y Alambre Trefilado de 8mm de Diámetro y Posterior Recocido a 650 °C, 575 °C Y 550 °C con Tiempo Constante de 1 h.	66
Figura 4.48 Microestructura de Alambón y Alambre Trefilado de 9mm de Diámetro y Posterior Recocido a 600 °C, 575 °C Y 550 °C Con Tiempo Constante de 1 h.	68
Figura 4.49 Microestructura de Alambón y Alambre Trefilado de 10mm de Diámetro y Posterior Recocido a 650 °C, 600 °C, 575 °C Y 550 °C con Tiempo Constante de 1 h.	69
Figura 4.50 Fracturas de las Probeta a Tracción de Alambón y Alambre Trefilado de Diámetro 8 mm y Posterior Recocido.	72
Figura 4.51 Fracturas de las Probeta a Tracción de Alambón y Alambre Trefilado de Diámetro 10 mm y Posterior Recocido.	73

Índice de tablas

Capítulo III

Tabla 3.1 Tolerancias admisibles para los distintos diámetros.	24
Tabla 3.2 Tolerancias de Composición química del material.	25
Tabla 3.3 Propiedades de Tracción.	26
Tabla 3.4. Características Dimensionales de los Alambres.	28

Capítulo IV

Tabla 4.1 Porcentaje de deformación en frío para la obtención de los distintos diámetros de alambre trefilado evaluado.	36
Tabla 4.2. Resultado de las propiedades mecánicas y el tamaño de grano en las probetas estudiadas.	36

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Introducción.

El acero es uno de los materiales de mayor aplicación en la ingeniería, ya que cuenta con diversas características que permiten obtener condiciones específicas y satisfactorias de trabajo. Esto se puede lograr mediante la deformación en frío y tratamientos previos a su condición final, a fin de optimizarlo para lograr las propiedades mecánicas deseadas.

Esta deformación en frío produce una deformación plástica, originándose un aumento en el esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo de rotura pero una disminución de la ductilidad.

Los efectos causados por esta deformación en frío pueden ser suprimidos mediante tratamientos térmicos que contribuyen al ajuste de las propiedades mecánicas a valores deseados.

Uno de los más utilizados es el tratamiento térmico de recocido, el cual conlleva a la recuperación de las propiedades mecánicas del material, eliminando así el efecto producido por la deformación en frío. Dicha recuperación se produce a causa de la recristalización del material, el cual es un tema de mucha

importancia dentro del estudio del comportamiento mecánico de los materiales, como es el caso de los aceros.

Uno de los aceros más destacados para el estudio, es el alambón de acero de bajo carbono, en este caso el material es fabricado por SIDOR y posteriormente trefilado por SIDETUR, el cual no ha sido objeto de estudio para la evaluación de sus propiedades, al ser sometido el tratamiento térmico de recocido.

Es por ello que en este trabajo se tiene como finalidad la evaluación del comportamiento mecánico del alambón al ser trefilado y sometido al tratamiento térmico de recocido.

1.2 Situación Problemática.

Venezuela, ubicada en el cuarto lugar como productor de acero en América Latina, posee instalaciones industriales para producir cabillas, alambón, perfiles y otros productos del acero para la industria de la construcción; que en su mayoría vienen utilizando el trefilado como su única técnica para la producción, cuando existen adicionalmente la aplicación de los tratamientos térmicos, los cuales permitirían aumentar los indicadores de productividad, rendimiento total de calidad, oportunidad en las entregas y satisfacción de sus clientes.

El proceso de trefilado, con el que se obtienen estos alambres, básicamente consiste en reducir la sección transversal del alambre al halar el material a través de la abertura de un dado. El alambre de acero trefilado es un material de gran interés industrial, se emplea en el refuerzo estructural de manera masiva en obras de construcción, fabricado bajo estrictos controles de calidad, cumpliendo así con lo establecido por la Comisión Nacional de Normas Industriales.

Debido al aumento de las exigencias en cuanto a productividad y calidad de los productos generó un avance muy importante en el conocimiento y la mejora del proceso de trefilado. No obstante, existen empresas que aún no han estudiado el comportamiento mecánico de este proceso y al existir problemas de despacho de materia prima por parte de los proveedores, se ven afectadas en su producción.

En consecuencia, surge la necesidad de investigar los efectos del tratamiento térmico de recocido sobre las propiedades mecánicas del alambre trefilado, como una alternativa para su utilización como materia prima única en la producción de alambre para refuerzo estructural en una variedad de diámetros de menor dimensión.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar el comportamiento mecánico del alambrón al ser trefilado y sometido al tratamiento térmico de recocido.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar la resistencia a la tracción del alambrón.
- Evaluar la resistencia a la tracción del alambre trefilado antes y después del tratamiento térmico de recocido.
- Determinar la temperatura de recristalización de los distintos alambres trefilados.
- Comparar las propiedades mecánicas del alambrón luego de ser trefilado y tratado térmicamente con recocido.

1.4 Justificación.

Este trabajo pretende analizar el comportamiento mecánico del alambroón de acero al ser trefilado, con el fin de reducir la gran variedad materia prima que adquiere la empresa para desarrollar sus productos; a través de un alambroón de diámetro único que por medio de trefilado y tratamiento térmico sucesivo, permita obtener diámetros de menor dimensión con las propiedades adecuadas para el alambre de refuerzo estructural.

1.5 Alcance.

- Evaluar los alambrones con diámetro de 10mm, 9mm, 8mm, 7mm y 6mm.
- Estudiar el límite elástico, la resistencia máxima y porcentaje de deformación del material.
- Se estima utilizar aproximadamente 100 probetas para realizar los ensayos de tracción.

1.6 Limitaciones.

Disponibilidad del laboratorio; para realizar los ensayos y análisis necesarios en el estudio, la accesibilidad a este se limita por el tiempo ocupado por otros estudiantes.

1.7 Antecedentes.

Inicialmente En el año 2001, A. Belyakov et al, han estudiado los mecanismos de restauración que operan durante el recocido en un acero 304 con una gran deformación. Se estudió la microestructura inicial que ha quedado como consecuencia de una gran deformación a 873 °K. Un primer recocido,

promueve la recuperación de algunas propiedades mecánicas que fueron afectadas por el desequilibrio generado por la deformación en los límites de granos mientras que el tamaño de grano y la orientación tuvo pocos cambios. Luego la recristalización en el acero deformado generó granos más finos los cuales ocupan ahora un espacio más homogéneo dentro de toda la matriz, este efecto es conocido como recristalización continua.

Luego en el año 2004, A. Martínez de Guereñu et al, realizaron un estudio donde se le aplica a un acero de bajo carbono un recocido a bajas temperaturas (entre 300 °C a 500 °C) para promover la recuperación sin la interacción de la recristalización. El proceso de recuperación fue monitoreado usando un conjunto de técnicas no destructivas y se observaron los cambios ocurridos en la microestructura. Los resultados muestran que la energía acumulada ha sido distribuida de manera heterogénea, lo que concuerda con estudios previos, además la recuperación ha afectado principalmente la orientación de algunas fibras, lo que promueve una mejor definición de los sub-granos.

En el año 2008, H. Li et al, han modelado la evolución de la microestructura en la recuperación de las propiedades mecánicas durante el tratamiento térmico de recocido en una tubería de acero formada por trabajo en frío. Se ha realizado un conjunto de ensayos al acero de bajo carbono con distintos niveles de deformación antes y después de un recocido a 700°C con distintas duraciones de tiempo. Todo esto ha sido realizado, utilizando un conjunto de ecuaciones unificadas y programas basado en un método de optimización. Los resultados de los ensayos y la microestructura muestran que se puede recuperar e incluso mejorar las propiedades mecánicas de un acero de bajo carbono que ha sido trabajado en frío utilizando el tratamiento térmico adecuado.

En el año 2009, Oguzhan Kelesternur et al, se ha estudiado el acero al carbono SAE 1010, por su bajo costo y un amplio rango de uso en la industria de la construcción, sujeto a un adecuado tratamiento térmico, además sus propiedades mecánicas han sido investigadas a diferentes condiciones de temperatura, se le ha aplicado un tratamiento térmico de recocido en busca de una microestructura adecuada. Se ha estudiado a temperaturas de 200 °C, 300 °C y 400 °C durante 45 minutos. Se han examinado propiedades como la reducción de área, elongación total y dureza, entre otros. Como resultado del estudio, se ha encontrado que las propiedades mecánicas del acero han sido reducidas a valores adecuados, y en contraste se puede aumentar la elongación total, la reducción de área y la dureza.

Igualmente en el año 2009, Z. Larouk et al, realizaron un estudio donde se examina la recristalización de un acero que contiene un bajo porcentaje de carbono. El estudio es realizado a los alambres de 4 mm, 3,18 mm y 2,45 mm de diámetro. Estas muestras fueron tratadas con un recocido entre 480 °C y 520 °C. La temperatura de recristalización es determinada y se encuentra que es menor a medida que aumenta la reducción de área. Se calculan varios parámetros y se establece una relación entre la reducción de área y el tamaño de grano recristalizado, además se estima la energía de activación en la recristalización y finalmente se compara los resultados y se concluye entre otros datos que con el recocido se obtiene material más blando y con un tamaño de grano uniforme.

Finalmente en el año 2010, R.J. Contieri et al; han analizado el tratamiento térmico de recocido en metales de alta dureza lo cual induce la aparición de un fenómeno conocido como recuperación, recristalización y crecimiento de grano, lo que resulta en cambios microestructurales y la restauración de propiedades físicas del material antes de la deformación. El objetivo de este estudio es la determinación de los parámetros característicos del proceso de recristalización y

crecimiento de grano en una aleación de titanio, con un alto porcentaje de reducción de área realizado con deformación en frío. El proceso es estudiado a través de distintos métodos donde se determina la energía de activación involucrada en el proceso, la temperatura de recristalización, crecimiento de grano y otros factores. Por último se ha obtenido un tamaño de grano considerado como normal para este tipo de materiales sin deformación en frío.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1 Generalidades del Acero.

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05 % hasta menos de un 2 %). Por lo tanto, el material metálico más importante para la industria es el acero al carbono. El carbono es el elemento principal que modifica las características mecánicas del acero, cuanto mayor es el porcentaje de carbono mayores serán la resistencia y la dureza del acero, pero también será más frágil y menos dúctil.

El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio), a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros).[8]

Los aceros al carbono pueden utilizarse con éxito si la resistencia y otros requerimientos mecánicos no son demasiado severos. Estos aceros tienen un costo relativamente bajo, el acero combina la resistencia y la posibilidad de ser

tratado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico ó mediante aleaciones. [15].

2. 2. Clasificación de los Aceros al Carbono.

- Aceros altos en carbono.

Los aceros altos en carbono contienen entre 0,60 % y 1,4 % C y son más duros, resistentes y aún menos dúctiles que los otros aceros al carbono. Casi siempre se utilizan en la condición templada y revenida, en la cual son especialmente resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Las herramientas y las matrices se fabrican con aceros aleados altos en carbono que contienen, generalmente, cromo, vanadio, tungsteno y molibdeno, estos elementos de aleación se combinan con el carbono para formar carburos muy duros resistentes al desgaste.

- Aceros medios en carbono

Los aceros medios en carbono tienen porcentajes en carbono comprendidos entre 0,25 % y 0,6 %. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante austenización, temple y revenido para mejorar sus propiedades mecánicas. Se suelen utilizar en la condición de revenidos, con microestructura de martensita revenida. Se trata de aceros de baja templabilidad, solo tratables en piezas de delgada sección y velocidades de temple muy rápidas. La adiciones de cromo, níquel y molibdeno mejoran la capacidad de estas aleaciones para ser tratados térmicamente, generando así gran variedad de combinaciones resistencia-

ductilidad. Estos aceros tratados térmicamente son más resistentes que los aceros bajos en carbono, pero menos dúctiles y tenaces.

- Aceros bajos en carbono

La mayor parte de todo el acero fabricado es bajo en carbono. Este tipo de acero contiene menos del 0,25 % C, no responde al tratamiento térmico para formar martensita y es endurecible por acritud. La microestructura consiste en ferrita y perlita. Como consecuencia, estos aceros son relativamente blandos y poco resistentes, pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad; además son de fácil mecanizado, soldables y baratos. Estos aceros suelen tener un límite elástico de 275 MPa, una resistencia a la tracción comprendida entre 415 MPa y 550 MPa y una ductilidad del 25 %. [8]

2.3 Aplicaciones del Acero de Bajo Carbono.

Dentro de las aplicaciones para el que es usado el acero de bajo carbono (0.15 %C Máx.) se encuentra en la producción de alambres de acero.

Para la realización del alambre con aceros al carbono o de aleaciones se utiliza la designación del Instituto Americano del Hierro y el acero (AISI) o el de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores (SAE). Estos alambres de acuerdo a las cualidades buscadas, pueden ser producidos por laminación en frío o en caliente, trefilado, extrusión, forja en frío o en caliente, tratamiento térmico y carburación para la producción de una variedad de productos entre los cuales se encuentra el refuerzo estructural de edificaciones.

Aunque normalmente el alambre de acero es desarrollado con una sección transversal redonda, también puede ser desarrollado en otras formas de acuerdo a los requerimientos. Luego de la sección transversal circular, las formas más

comunes son cuadrado, hexagonal, octogonal, oval, triangular y adicionalmente a estas formas simétricas, también se desarrolla en formas irregulares o extrañas para propósitos específicos.

2.4 Proceso de Trefilado.

El trefilado en frío consiste en el estirado del material de partida a través de aberturas cónicas de menor sección, las denominadas hileras o trefilas, con el objetivo de reducir su sección. El material inicial suele ser alambrón. El alambrón es un producto metálico que se obtiene por un proceso de laminación en caliente gracias a un tren especialmente diseñado para este efecto, conocido como tren de laminación de acero, el alambrón tiene sección circular u ovalada que varía entre los 5 mm y 30 mm de diámetro exterior, el cual suele estar enrollado en bobinas de cientos de metros.

El origen del alambrón esta en el proceso de colado y subsecuentemente de la Palanquilla allí formada, la cual es precalentada en un horno, usualmente a gas, que la calienta luego es pasada por varios rodillos que giran en sentidos inversos y que, aparte de esta condición de rotación ejercen una presión perpendicular al eje del alambrón, hasta obtener su forma y dimensión final. Cuanto menor es la sección que se desea obtener mayor será el número de cilindros requeridos, es importante recalcar además, que este proceso de conformado se realiza con el metal caliente, para de esta manera disminuir los esfuerzos y la energía mecánica requerida para conformarlo, sin embargo su temperatura es cuidadosamente controlada ya que un excesivo calor determinaría una adherencia a los rodillos así como un eventual deterioro de los mismos, usualmente estos rodillos son elaborados en aceros aleados con cromo níquel y molibdeno y son conformados por colado, como es evidente, suelen estar adecuadamente refrigerados por su interior.

Además del conformado anteriormente descrito es necesario controlar las condiciones de enfriamiento para que el alambroón de acero sea dúctil ya que un enfriamiento rápido puede provocar un endurecimiento irregular que se traduce en fragilidad del producto. La composición del alambroón de acero puede variar según la aplicación y el proceso utilizado pero suele ser corriente encontrarlo con contenidos de carbón de alrededor de 0,8 %, proporciones de otros elementos como el fósforo del 0,48 %, Manganeso del 0,30 % entre otros. [7]

Este alambre se fabrica en calidades distintas de acero:

- Acero pobre en carbono con un contenido inferior o igual al 0,25 %.
- Acero rico en carbono con un contenido superior al 0,25 %.
- Acero inoxidable.
- Otros aceros aleados.

Según el tipo de acero, el alambre obtenido se utiliza para conformar diferentes productos: alambres para muelles, cuerdas de piano, resortes, cercas, redes, etc.

Los pasos que se siguen en el proceso de trefilado del alambre son:

- Pre-tratamiento del alambroón (descascarillado mecánico, decapado)
- Estirado (trefilado).
- Tratamiento térmico (recocido continuo/discontinuo, temple, patenting, temple en aceite).
- Acabado (revestimiento superficial).

El endurecimiento por deformación en frío, es el fenómeno por medio del cual un metal dúctil se vuelve más duro y resistente a medida que es deformado plásticamente, debido a que la deformación se da a una temperatura “fría” relativa a la temperatura de fusión absoluta del metal.

Esta variación de resistencia se mide en función del porcentaje de deformación en frío, el cual se define de la siguiente forma

$$\% \text{ Deformación en frío} = \frac{A_0 - A_d}{A_0} \times 100 \quad \text{Ec. (I)}$$

Donde:

A_0 : Es el área transversal antes de la deformación.

A_d : Es el área transversal después de la deformación.

Es importante mencionar que la resistencia del material varía según sus características propias (Ver **Figura 2.1**) y aumenta con el porcentaje de trabajo en frío, sin embargo la ductilidad del material disminuye. [1]

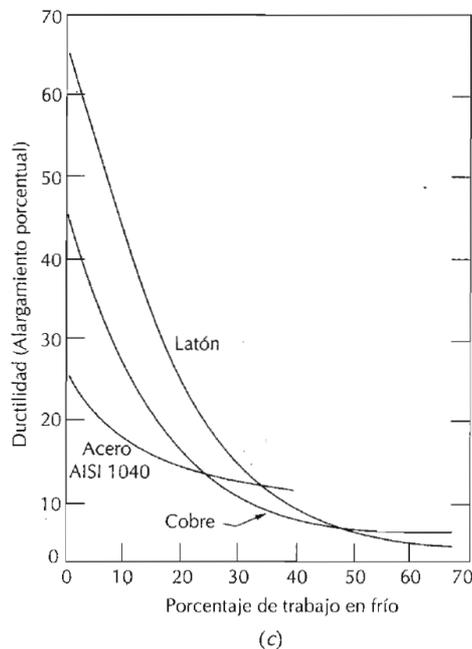


Figura 2.1. Curva de variación de la ductilidad para distintos materiales. [5]

Finalmente lo que se busca con el proceso de trefilado es otorgar nuevas propiedades mecánicas y físicas al alambroón a través de la reducción de su diámetro y la aplicación de tratamientos térmicos.

2.5 Tratamiento Térmico.

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. 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. 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.

2.5.1 Etapas del Tratamiento Térmico (Ver **Figura 2.2):**

1. Calentamiento: Para lograr un incremento uniforme en la temperatura de la pieza se puede realizar, calentando muy lentamente la muestra o realizar un calentamiento escalonado donde se establece una temperatura intermedia, que se encuentre antes de la zona de transformación, hasta llegar a la temperatura establecida.

2. Mantenimiento a temperatura: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida.

3. Enfriamiento: Es la etapa decisiva en la mayoría de los tratamientos. Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice. [1]

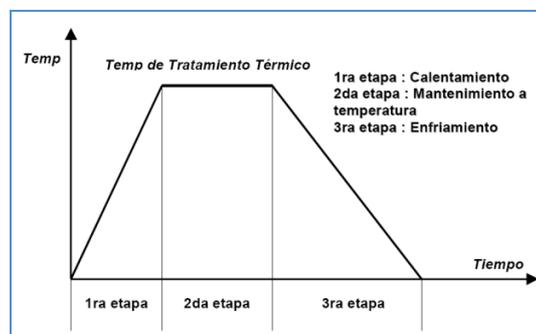


Figura 2.2 Fases del tratamiento térmico.

Dentro de los tratamientos térmicos aplicados al alambre de acero se encuentra el de alivio de tensiones, recocido, normalizado, patentado y temple en aceite. Todos estos tratamientos térmicos en materiales ferrosos involucra temperatura y tiempo para proveer tres etapas: recuperación, recristalización y crecimiento de grano.

2.5.2 Tratamiento Térmico del Alambre de Acero para Refuerzo Estructural:

Recocido: el objeto de este tratamiento es ablandar el acero, homogenizar su estructura y composición química y aumentar su ductilidad. Se presentan cuatro formas:

- Recocido de regeneración: Cuando después de la forja o laminación se desea mecanizar en las mejores condiciones posibles los aceros con porcentajes de carbono variables de 0,35 % a 0,60 %.
- Recocido de ablandamiento: En algunos casos en que interesa disminuir la dureza de los aceros al carbono.
- Recocidos contra acritud: Se emplea para aceros de bajo contenido en carbono (inferior a 0,30 %) que han sufrido un fuerte trabajo en frío por laminado o estirado y en los que la dureza ha aumentado por deformación de los cristales, habiéndose disminuido al mismo tiempo la ductilidad y el alargamiento hasta límites tan bajos que no se puede seguir el proceso mecánico de transformación en frío porque se rompe el acero.
- Recocido globular: En algunos casos excepcionales en que se interesa que los aceros queden con estructuras globulares debe calentarse durante largo tiempo el acero a temperaturas entre 700 °C a 740 °C y luego enfriar lentamente. De esta forma el material tiene una extraordinaria ductilidad.[7]

Adicionalmente es importante mencionar que para aceros de bajo contenido de carbono, se recomienda enfriar al aire (normalizado) en sustitución del enfriamiento dentro del horno (normalmente utilizado en el recocido) debido a que no existe diferencia entre las propiedades mecánicas luego del tratamiento y resulta más productivo. [9]

2.6 Etapas del Recocido de Recristalización. (Ver Figura 2.3):

2.6.1 Recuperación:

La microestructura original trabajada en frío esta compuesta por granos deformados con un gran número de dislocaciones entrelazadas. Cuando al principio se calienta el metal, la energía térmica adicional permite que las

dislocaciones se muevan y formen los bordes de una estructura subgranular poligonizada. Sin embargo la densidad de las dislocaciones se mantiene virtualmente sin modificación. Este tratamiento a baja temperatura se denomina recuperación.

Como durante la recuperación no se ha reducido el número de dislocaciones, las propiedades mecánicas del metal quedan relativamente iguales; sin embargo, al reordenarse las dislocaciones se han reducido o incluso se han eliminado los esfuerzos residuales, los cuales quedan almacenados en el interior de la estructura en forma de una intrincada red de dislocaciones.

2.6.2 Recristalización:

Aún después de la recuperación, los granos están todavía en un estado de alta energía de deformación. La recristalización es la formación de un nuevo conjunto de granos equiaxiales libres de deformación que tienen baja densidad de dislocaciones, lo cual es una característica de la condición del material antes de ser deformado. La fuerza motriz para producir esta nueva estructura de granos es la diferencia en energía interna entre el material deformado y el no deformado. Los nuevos granos se forman como núcleos muy pequeños y crecen hasta que reemplazan completamente al material deformado, proceso en el cual tiene lugar la difusión de corto alcance. También, durante la recristalización, las propiedades mecánicas que fueron modificadas durante el proceso de trabajo en frío son restauradas a sus valores previos a la deformación, es decir, el metal se hace más blando, menos resistente y más dúctil.

Para originarse el fenómeno de recristalización se pueden hacer las siguientes generalizaciones:

- Es necesaria una mínima cantidad de formación en frío.

- Si se aumenta el tiempo de recocido, se disminuye la temperatura necesaria para alcanzar la recristalización.
- El tamaño de grano final depende principalmente del grado de deformación y en menor grado de la temperatura de recocido. El grano será más pequeño a mayor grado de deformación y a baja temperatura.
- A mayor tamaño de grano inicial, mayor será la cantidad de deformación necesaria para producir una cantidad de recristalización equivalente.
- La temperatura de recristalización disminuye al aumentar la pureza del metal. La adición de aleaciones en forma de solución sólida siempre aumenta la temperatura de recristalización.

2.6.3 Crecimiento de grano:

Después que ha terminado la recristalización, los granos libres de deformación continúan creciendo si la muestra metálica es dejada a la temperatura elevada, fenómeno que se denomina crecimiento del grano. El crecimiento de grano, no está necesariamente precedido por la recuperación y la recristalización; puede ocurrir en todos los materiales policristalinos.

Existe una energía asociada con los límites de grano, a medida que el grano crece en tamaño, el área total de límite de grano disminuye, produciendo una reducción en la energía total; esta es la fuerza motriz para el crecimiento de grano.

El crecimiento del grano se produce por la migración de los límites de grano, obviamente, no todos los granos pueden crecer, pero algunos crecen a expensas de otros que se encojen. Así, el tamaño medio del grano aumenta con el tiempo, y en cualquier instante existe una gama de tamaños de grano. [1]

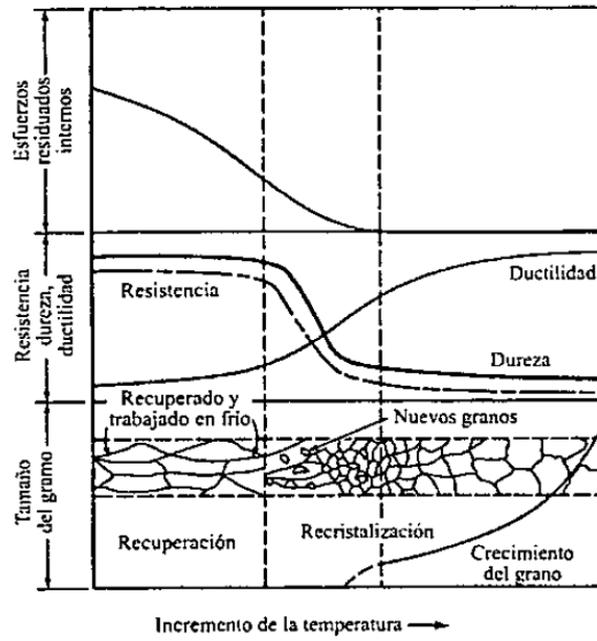


Figura 2.3. Efecto del recocido sobre la estructura y las propiedades mecánicas de un metal trabajado en frío. [1]

CAPÍTULO 3

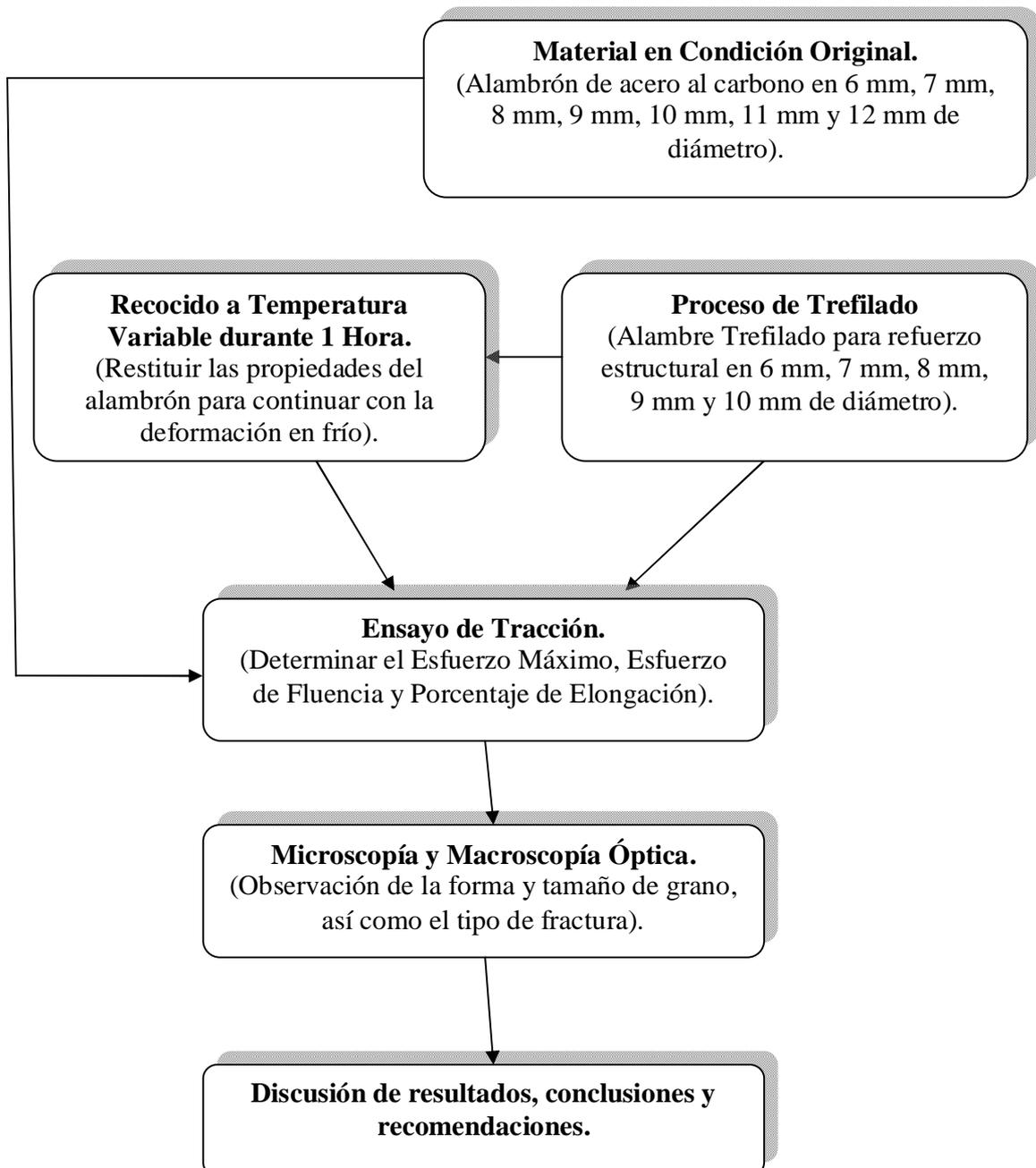
Marco Metodológico

3.1 Introducción.

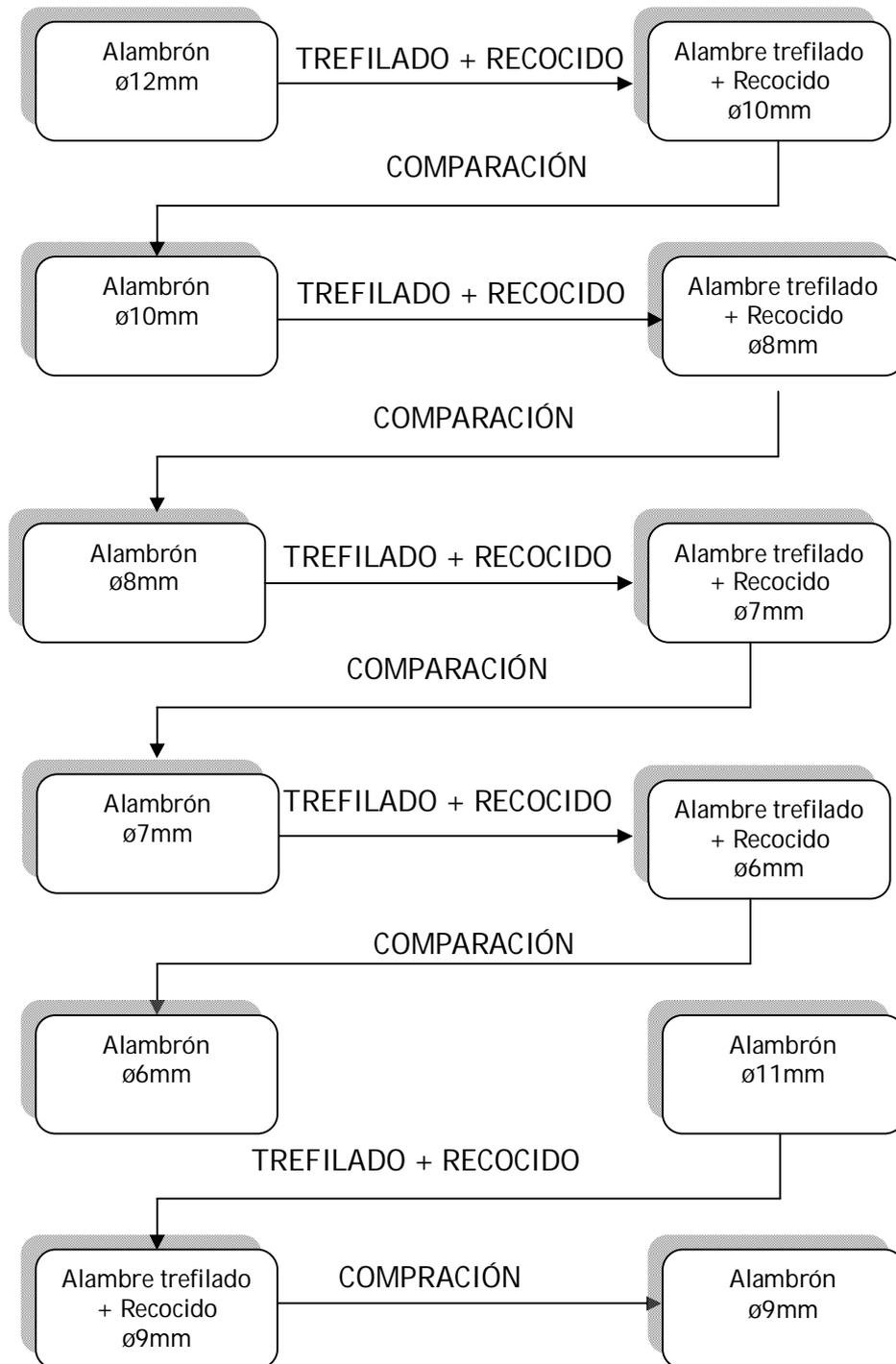
En este capítulo se presenta la metodología que permite desarrollar el trabajo de grado. Se muestran aspectos como las condiciones mecánicas a establecer en el material (alambrón, alambre trefilado y tratado térmicamente), las técnicas y procedimientos para el ensayo de tracción, preparación de la probetas para ser atacadas y observadas en el microscopio, adicionalmente se indica los valores y normas dentro de las cuales se encuentra el material, y términos generales los métodos utilizados para llevar a cabo dicha investigación.

En el apartado **3.2 Esquema Metodológico** se describe con mayor detalle los distintos diámetros y condiciones del material (alambrón, alambre trefilado y tratado térmicamente), así como los métodos utilizados para caracterizarlo, y en el apartado **3.3 Condiciones Mecánicas a Establecer en el Material** se indica con mayor detalle el alambrón del cual proviene los distintos alambres trefilados y con los cuales fueron comparadas sus distintas características (esfuerzo máximo de rotura, esfuerzo de fluencia, porcentaje de elongación, forma de grano, tamaño de grano y forma de la fractura).

3.2 Esquema Metodológico.



3.3 Condiciones Mecánicas a Establecer en el Material.



3.4 Material a Utilizar.

El material estudiado es el alambρόn, producido por SIDOR, y posteriormente trefilado por SIDETUR.

3.4.1 Alambρόn de Acero al Carbono.

El alambρόn es obtenido por laminación en caliente, producido en rollos y destinado a transformación por trefilación ó laminación en frío. En este caso es destinado para el refuerzo estructural (Ver **Figura 3.1**), aunque también es utilizado para fabricar clavos y alambres desnudos o galvanizados, alambre recocido, púas, entre otros.



Figura 3.1. Alambρόn de acero a estudiar.

Las características que debe poseer este alambρόn para ser utilizado en el desarrollo de alambre para refuerzo estructural se encuentran contempladas dentro de la Norma COVENIN 845:1997, en la cual establece:

- Tolerancias en el Diámetro del Alambión.

El alambión utilizado para refuerzo estructural debe cumplir con las tolerancias en el diámetro nominal indicadas en la **Tabla 3.1**

Tabla 3.1 Tolerancias admisibles para los distintos diámetros.
(COVENIN 845:1997)

\varnothing (mm)	Tolerancias Admisibles (mm)
$5,5 > d \leq 19,0$	$\pm 0,40$
$19,0 > d \leq 25,0$	$\pm 0,50$
$26,0 > d \leq 30,0$	$\pm 0,60$

- Composición Química.

La composición química del alambión debe estar dentro de los límites especificados para cada elemento, incluyendo las variaciones permisibles aplicables en análisis de comprobación indicadas en la **Tabla 3.2**, las cuales están basadas en la Norma COVENIN 1370.

Tabla 3.2 Tolerancias de Composición química del material.
(COVENIN 845:1997)

Elemento	Limite máximo o rango de especificaciones (%)	Sobre limite máximo (%)	Bajo límite mínimo (%)
Carbono	$C \leq 0,25$	0,02	0,01
Manganeso	$Mn \leq 0,90$	0,03	-
Fósforo	$0,65 < Mn \leq 0,90$	0,06	0,03

(Cont.) **Tabla 3.2** Tolerancias de Composición química del material.

(COVENIN 845:1997)

Elemento	Límite máximo o rango de especificaciones (%)	Sobre límite máximo (%)	Bajo límite mínimo (%)
Azufre	$P \leq 0,040$	0,06	-
Silicio	$S \leq 0,060$	0,008	-
Plomo	$Pb \leq 0,35$	0,008	-
Cobre	$0,35 < Si \leq 0,60$	-	-
Níquel	$0,15 < Ni \leq 0,35$	-	-
Cromo	$Cr < 0,10$	-	-
Molibdeno	$Mo < 0,10$	-	-
Estaño	$Sn < 0,10$	-	-

- Tamaño de Grano.

El tamaño de grano ferrítico debe estar comprendido entre 7 y 11, según lo establecido en la Norma ASTM E 112. La superficie a observar debe ser la correspondiente a la sección longitudinal del alambión.

- Propiedades Mecánicas.

El alambión estudiado fue ensayado según lo establecido en la norma venezolana COVENIN 299 para el ensayo de tracción en materiales metálicos, tomando como base de comparación, los valores de esfuerzo máximo de rotura y porcentaje de elongación, indicados en la **Tabla 3.3** de la Norma COVENIN 845:1997.

Tabla 3.3 Propiedades de Tracción. (COVENIN 845:1997)

Grado del acero	σ (Kg / mm ²)		%E (En 200mm)
	Mínimo	Máximo	
1006	36	43	12
1008	33	45	12
1010	36	47	12
1012	40	50	12
1015	47	53	12
1018	47	55	12
1020	47	57	12
1023	50	60	12

3.5 Alambre Trefilado para Refuerzo Estructural.

El objetivo fundamental del trefilado, es llevar a cabo la deformación en frío del alambón.

Este proceso de trefilado se efectuó en las instalaciones de SIDETUR, donde producen alambres de alta resistencia para refuerzo estructural (Ver **Figura 3.2**), que son fabricados bajo estrictos controles de calidad, cumpliendo así con la Norma COVENIN 505:1996 con las siguientes propiedades mecánicas para cualquiera de sus diámetros:

- Resistencia a la rotura (mínima): 5500 kgf/cm²
- Límite Elástico Fy (mínimo): 5000 kgf/cm²

- Alargamiento de rotura en 200mm (mínimo): 5%



Figura 3.2. Alambre trefilado a estudiar.

Adicionalmente el peso admisible para los alambres con resaltes, será de $\pm 6\%$ referido al peso unitario establecido en la **Tabla 3.4.**

Tabla 3.4. Características Dimensionales de los Alambres (COVENIN 505:1996)

Ø (mm)	Área Nominal (cm²)	Peso Unitario (Kgf/m)
3,00	0,07	0,06
4,00	0,13	0,10
4,5	0,16	0,13
5,00	0,20	0,15
5,5	0,24	0,19
6,00	0,28	0,22
6,5	0,33	0,26
7,00	0,39	0,30
8,00	0,50	0,40
9,00	0,64	0,50
10,00	0,79	0,62
11,00	0,95	0,75
12,00	1,31	0,89

3.6 Ensayo de Tracción.

Estos ensayos se realizaron en la máquina para ensayos de tracción GALDABINI CTM 20 (ver **Figura 3.3**), el cual arroja los valores de Carga vs Alargamiento. Se determinaron las siguientes propiedades:

- Ductilidad (%E)
- Esfuerzo máximo o resistencia a la tracción. (σ)
- Límite elástico. (S_y)

Para los ensayos de tracción de cada acero en sus tres diferentes condiciones (original, trefilado y recocado) se utilizaron tres probetas, tomando como valores de tracción, los valores promedio de cada grupo de ensayo para cada diámetro estudiado.



Figura 3.3. Máquina de Ensayo de Tracción Galdabini.

3.7 Tratamiento Térmico de Recocido.

Se sometió al tratamiento térmico, las probetas destinadas para ello, la temperatura se determinó durante el estudio para cada uno de los diámetros evaluados.

De esta manera se produjo en el acero el proceso de recristalización y que por ende permitirá recobrar la ductilidad necesaria para continuar deformando en frío.

Para lograr el recocido se utilizó un horno que alcanza hasta una temperatura de 1200°C (ver **Figura 3.4**).



Figura 3.4. Horno de tratamiento térmico Thermolyne 48000 Furnace.

3.8 Estudio Metalográfico.

Esta actividad contempló la ejecución del examen microscópico de las muestras proveniente de las probetas de tracción en las distintas condiciones (alambión, alambre y alambre recocido).

Para ello fue necesario llevar a cabo previamente un conjunto de operaciones, que tienen como objetivo, producir en las muestras, características que permitieron observarlas en el microscopio óptico.

3.8.1 Toma de la Muestra.

Las muestras tomadas en cada una de las condiciones del material fue de aproximadamente 1cm de largo. Para realizar este corte se utilizó la cortadora metalografía de probetas BUEHLER SAMPLIMET (Ver **Figura 3.5**).



Figura 3.5 Cortadora metalografía BUEHLER

3.8.2 Desbaste.

El proceso de desbaste consistió inicialmente en pasar la muestra por la desbastadora de banda para conseguir una superficie plana en sentido longitudinal (Ver **Figura 3.6**), posteriormente se utilizó papel de lija de la más gruesa a la más fina (180, 240, 320, 400 y 600). De esta manera se obtiene una superficie completamente lisa. La operación de desbaste debe ser perpendicular (90°) a la dirección de las rayas dejadas en el último desbaste.

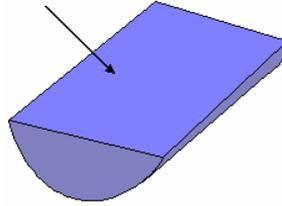


Figura 3.6. Corte longitudinal a observar en el microscopio.

3.8.3 Pulido.

Esta operación se realizó utilizando una pulidora del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (Ver **Figura 3.7**), que consta de dos platos rotatorios (pulido grueso y pulido fino) de dos velocidades cada uno con un sistema de agua y drenaje, el objetivo es eliminar las rayas, manchas y toda traza de metal deformado en las operaciones anteriores para obtener un acabado tipo espejo. Se utilizó un líquido abrasivo (alúmina en suspensión de $0,10\mu\text{m}$ y $0,05\mu\text{m}$) para la obtención de un mejor acabado.



Figura 3.7 Pulidora metalografía BUEHLER

3.8.4 Ataque.

El ataque realizado, fue de tipo químico, con una solución de Nital al 2%. Después de atacado con el químico se roció con etanol en la zona dentro de la

campana de ataque (Ver **Figura 3.8**) e inmediatamente se llevó al secador. Con este último paso, se buscó hacer visible la estructura del material en el microscopio.



Figura 3.8 Campana de ataque.

3.8.5 Microscopía Óptica.

La observación se realizó con un microscopio óptico marca UNIÓN modelo MC 86267 con capacidad de 100-1000X del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (Ver **Figura 3.9**). Las probetas preparadas metalográficamente fueron observadas bajo el microscopio óptico con la finalidad de ver la forma y el tamaño de grano.



Figura 3.9 Microscopio óptico UNIÓN.

CAPÍTULO 4

Resultados y Análisis

La importancia de los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados al material, radica en que permiten describir el comportamiento mecánico que lo rige cuando se encuentra en su condición de alambón, al ser trefilado y posterior tratado térmico.

Es por ello que en este capítulo se discutirá los resultados obtenidos primeramente del ensayo de tracción, tomando en cuenta la variación de las propiedades mecánicas con respecto a la deformación y la temperatura de recocido; En la **Tabla 4.1** se puede apreciar el porcentaje de deformación en frío, seguidamente en la **Tabla 4.2** se muestra el comportamiento de las propiedades mecánicas obtenidas del acero estructural y se indica el resultado del tamaño de grano; posteriormente en el apartado **4.1 Ensayo de Tracción**, se puede evidenciar en las distintas figuras de curvas Esfuerzo vs. Elongación como el acero trefilado tratado térmicamente a distintas temperaturas presenta tendencias aceptables a las características mecánicas del alambón.

Finalmente se analizó los resultados del estudio metalográfico, donde se observaron las microestructuras de los alambones y alambres trefilado y posterior recocido a distintas temperaturas de estudio, con tiempo constante de 1h. Ver figuras en el apartado **4.2 Microscopia Óptica** y la macroscopía de la zona de fractura; Ver figuras en el apartado **4.3 Fractografía**.

Tabla 4.1 Alambroón y %Df para la producción de los alambres trefilados evaluados.

\varnothing (mm) Alambroón.	%Df	\varnothing (mm) Alambre trefilado.
12	30,56	10
11	33,06	9
10	36,00	8
8	23,44	7
7	26,53	6

Tabla 4.2 Resultado de las propiedades mecánicas y el tamaño de grano en las probetas estudiadas.

\varnothing (mm)	Condición*	Sy (Mpa)	Δ Sy (Mpa)	σ (Mpa)	$\Delta\sigma$ (Mpa)	%D	Δ %D	Tamaño de grano
6	A.	284,94	5,00	389,07	4,02	20,17	2,25	8
	T.	505,32	7,46	559,93	8,94	6,67	0,76	-
	T@540	361,89	4,58	436,74	6,41	11,83	0,76	8
	T@565	247,39	8,71	360,32	3,05	26,67	2,89	8
	T@580	230,74	3,22	340,50	2,15	30,00	3,00	8
7	A.	272,60	11,15	368,29	0,98	17,67	0,29	7
	T.	501,18	10,34	551,16	16,72	5,83	1,04	-
	T@550	309,13	1,07	382,15	1,57	18,67	2,02	7
	T@575	225,41	9,01	330,00	1,95	30,00	2,50	7
	T@600	228,36	2,87	325,21	3,07	33,33	2,89	7
8	A.	251,76	2,16	363,66	3,09	26,17	1,26	7
	T.	540,72	11,50	582,70	11,79	7,50	2,50	-
	T@550	365,85	8,11	440,02	8,86	16,50	2,60	8
	T@575	228,53	4,20	333,45	1,61	28,67	2,31	8
	T@650	225,82	2,48	315,13	4,99	35,83	1,44	8
9	A.	273,60	13,71	388,16	1,40	20,17	2,25	7
	T.	507,56	94,90	554,77	12,28	9,17	1,44	-
	T@550	338,52	5,37	413,81	15,06	10,50	0,87	7
	T@575	235,83	8,63	345,88	14,09	26,00	1,32	7
	T@600	215,78	3,09	323,09	10,50	33,33	2,89	7
10	A.	286,18	4,52	383,15	4,99	24,17	1,44	7
	T.	511,08	6,47	581,06	7,51	6,67	0,76	-
	T@550	419,23	6,13	474,50	2,38	15,33	0,58	7
	T@575	287,07	10,14	388,48	8,80	18,33	2,36	7
	T@600	218,90	4,20	341,79	0,53	32,00	0,87	7
	T@650	200,19	1,81	332,57	2,02	33,83	1,26	7

*La nomenclatura utilizada está representada de la siguiente manera: Alambroón (A), Alambre Trefilado (T) y Alambre trefilado tratado térmicamente seguido de la Temperatura en Grados Celsius (T@)

4.1 Ensayo de Tracción.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 6 mm, con un porcentaje de deformación en frío de 26,53 % ver **Tabla 4.1** y posteriormente recocido a 540 °C, 565 °C y 580 °C con tiempo constante de 1 h, según la **Figuras 4.6 y 4.7** (para más detalles ver **Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5**), presenta la mejor condición de similitud de las propiedades mecánicas del alambón, al aplicar el tratamiento térmico de recocido a una temperatura entre 540 °C y 565 °C.

Así mismo se observa según la **Figura 4.8**, que al aumentar la temperatura de recocido desde los 540 °C hasta los 580 °C, el valor de la ductilidad alcanza un 30 %, mientras que la resistencia máxima y el esfuerzo de fluencia disminuye un valor por encima de los 100 MPa sin observarse una tendencia constante que indique se ha alcanzado la recristalización total del material.

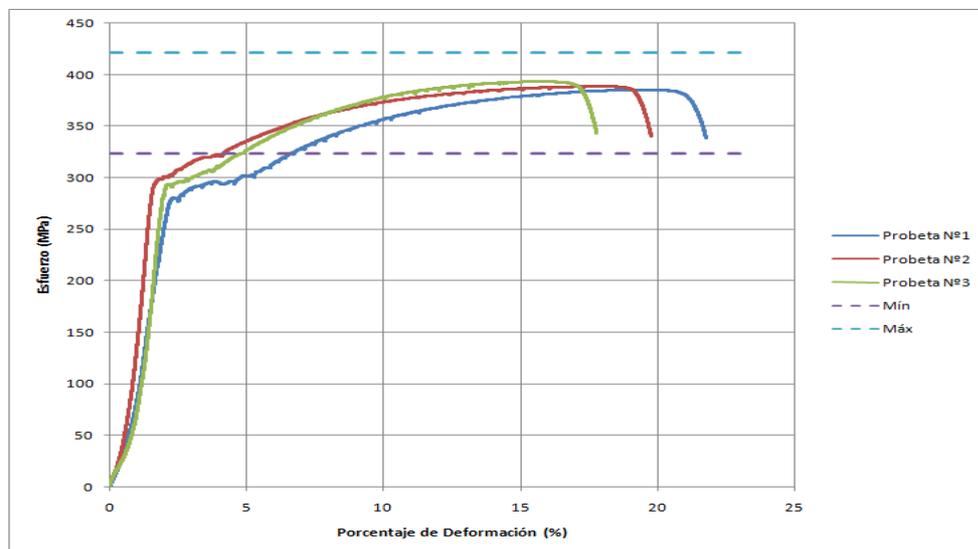


Figura 4.1 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambón de 6 mm de Diámetro.

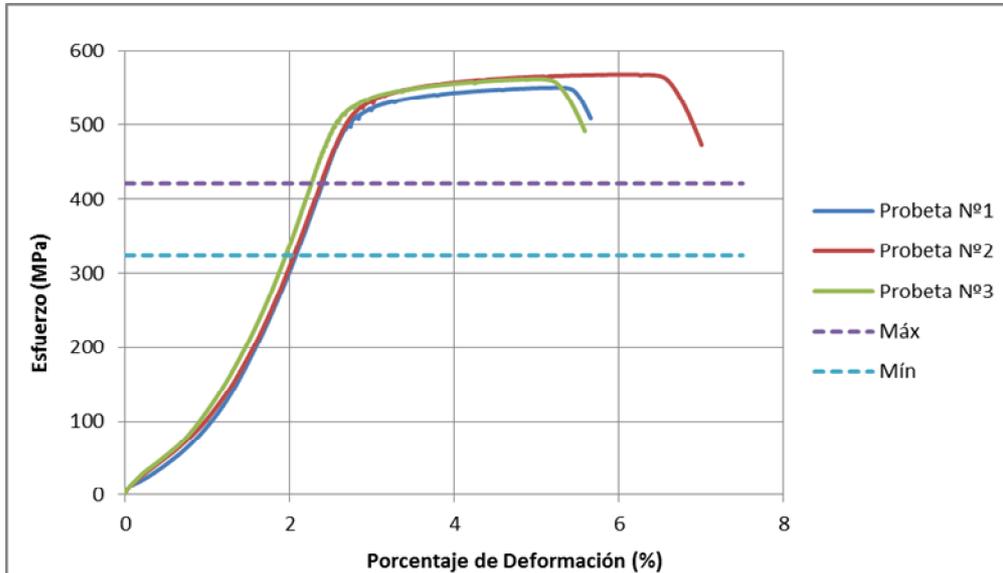


Figura 4.2 Curva Esfuerzo vs. Elongación, Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro.

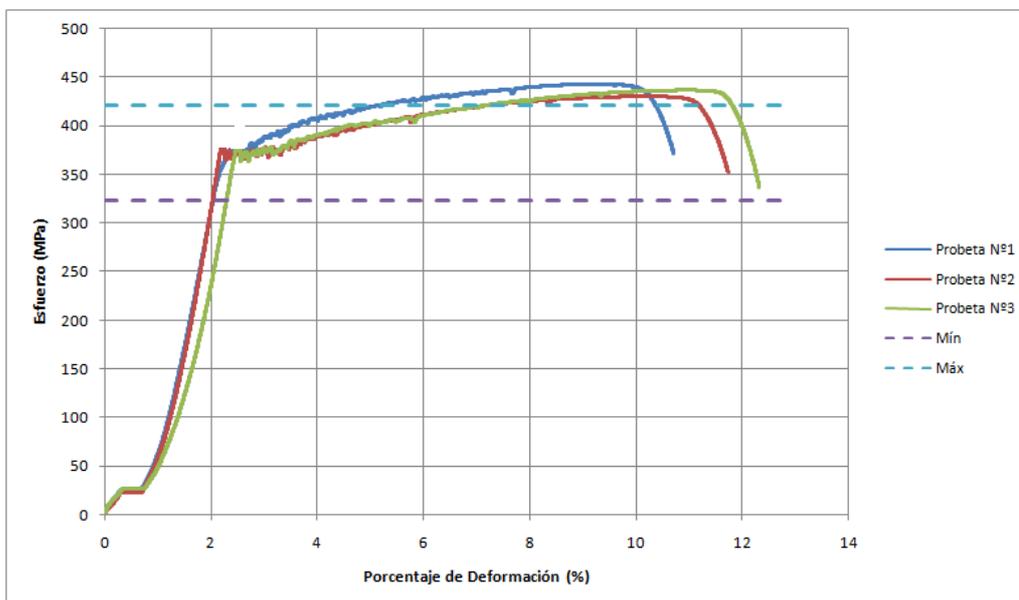


Figura 4.3 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 540 °C durante 1 h.

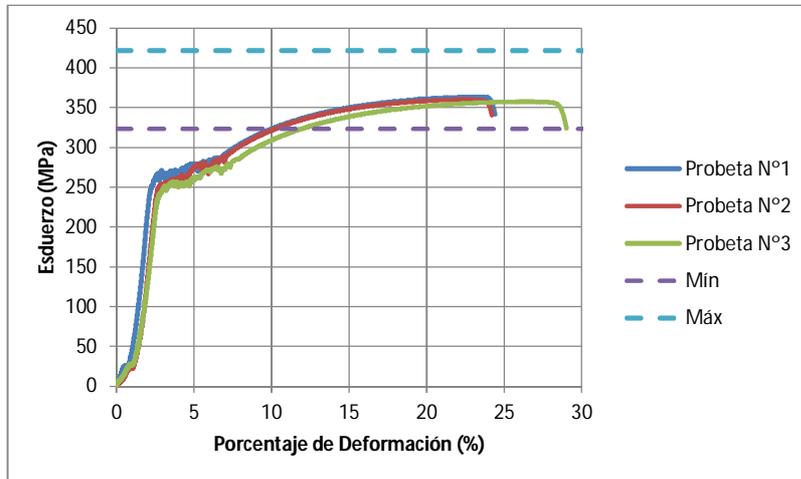


Figura 4.4 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 565 °C durante 1 h.

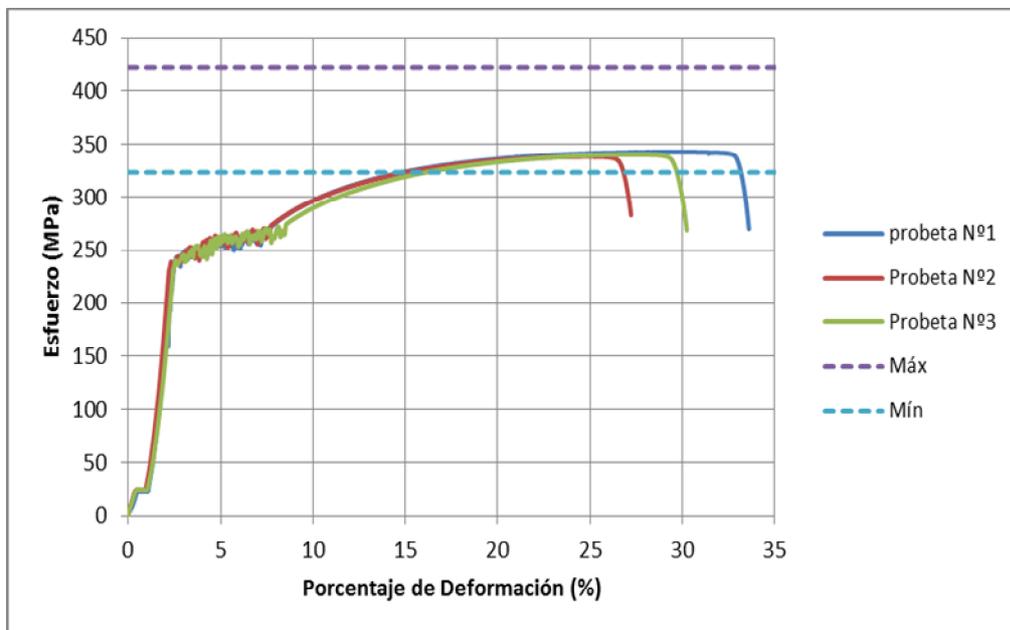


Figura 4.5 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 580 °C durante 1 h.

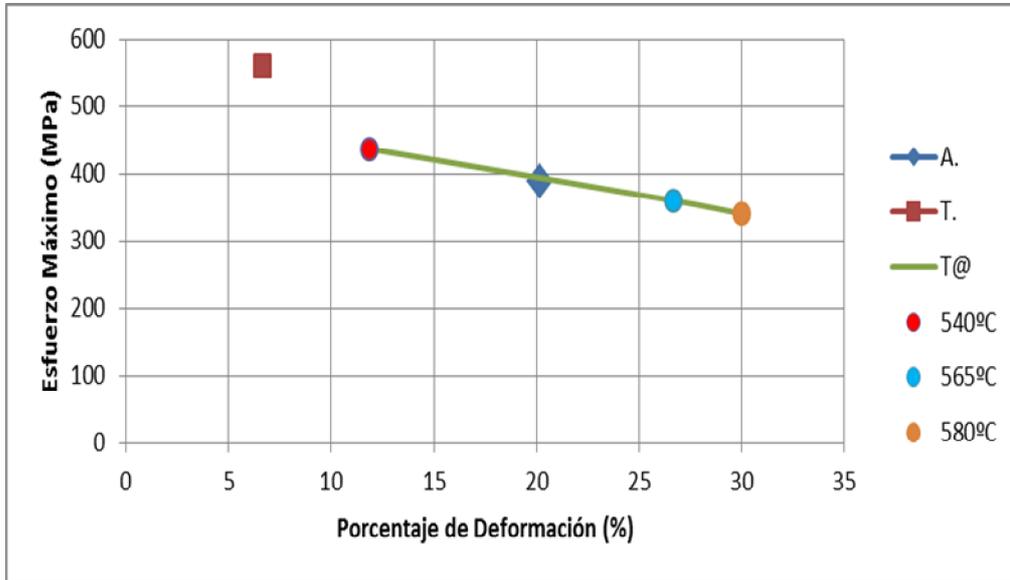


Figura 4.6 Curva Esfuerzo Máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 6 mm de Diámetro.

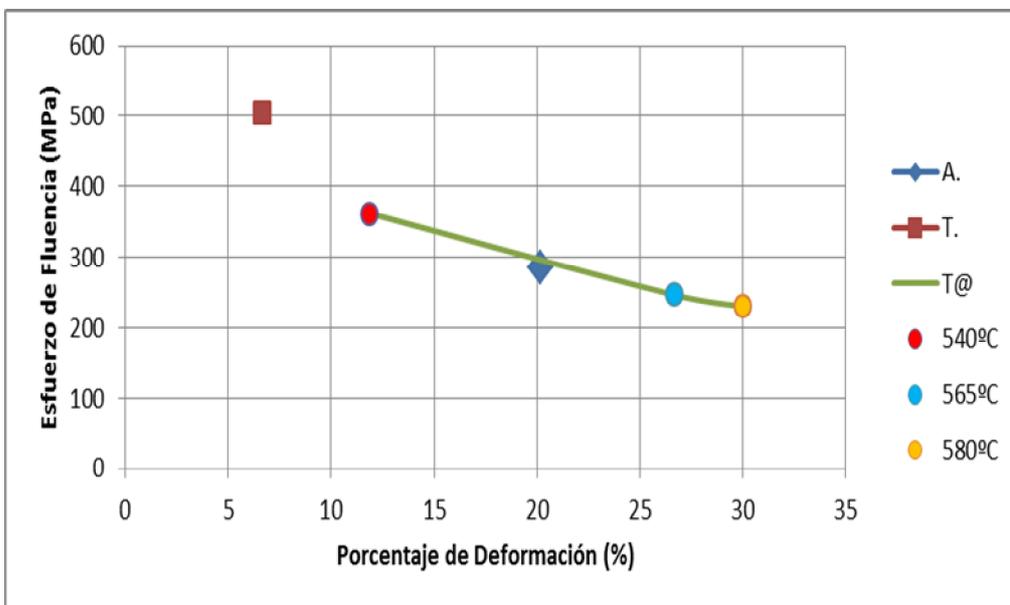


Figura 4.7 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 6 mm de Diámetro.

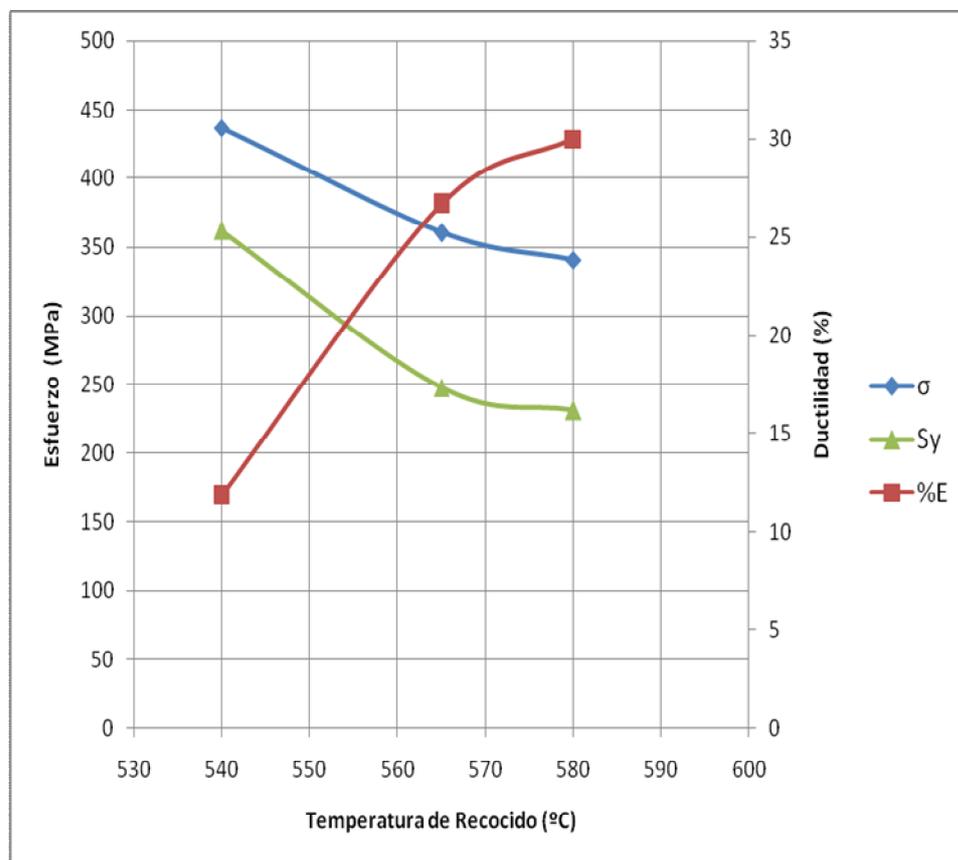


Figura 4.8 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 6 mm de Diámetro.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 7 mm , con un porcentaje de deformación en frío de 23,44 % ver **Tabla 4.1** y posteriormente recocido a 550 °C, 575 °C y 600 °C con tiempo constante de 1 h, según la **Figura 4.14 y 4.15** (para más detalles, ver las Figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13), se observa que a la temperatura de 550 °C se obtiene una resistencia a la tracción de 382,15 MPa, esfuerzo de fluencia promedio de 300MPa y un porcentaje de deformación de 18,67 %, los cuales se asemejan a los resultados del alambroón del mismo diámetro(específicamente la **Figura 4.9 y 4.11**). Esto permite establecer esta condición como la más acertada para este diámetro.

Así mismo se observa según la **Figura 4.16**, que al aumentar la temperatura de recocido desde los 550 °C hasta los 600 °C, la ductilidad alcanza valores aproximados de 35 % mientras que la resistencia a la tracción y a la fluencia disminuye menos de 100 MPa y se aprecia un comportamiento mucho más estable al llegar a los 600 °C, esto es indicativo de que se encuentra cercano a la fase de recristalización.

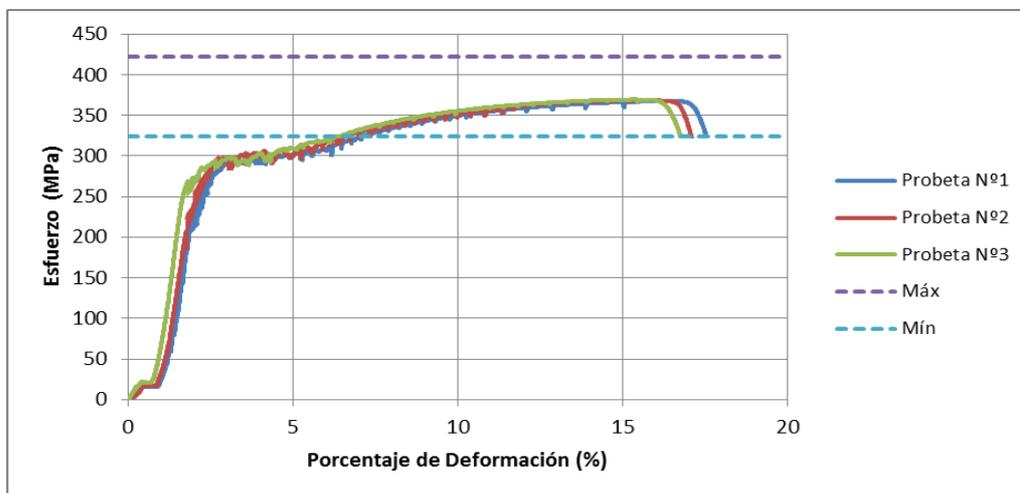


Figura 4.9 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambroón de 7 mm de Diámetro.

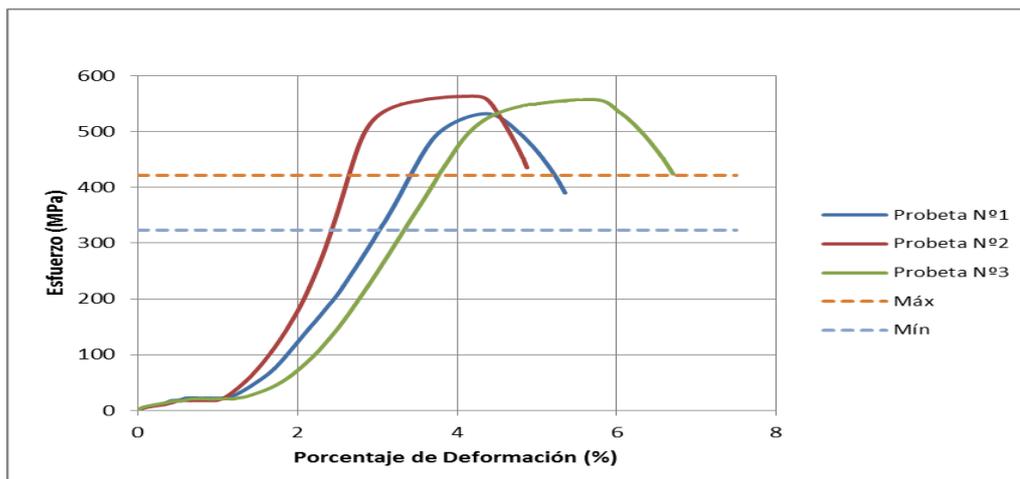


Figura 4.10 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro.

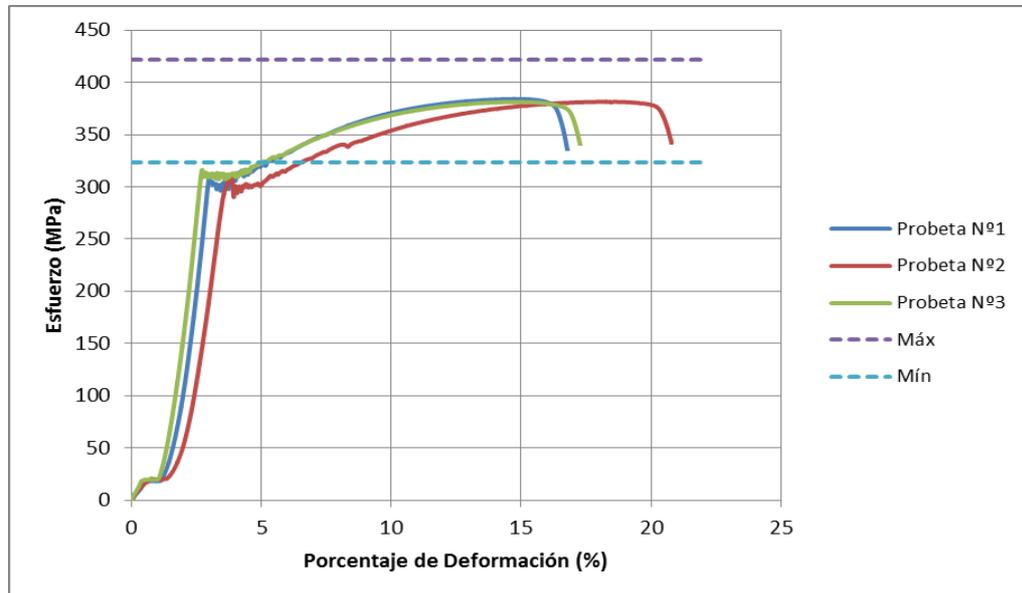


Figura 4.11 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 550 °C durante 1 h.

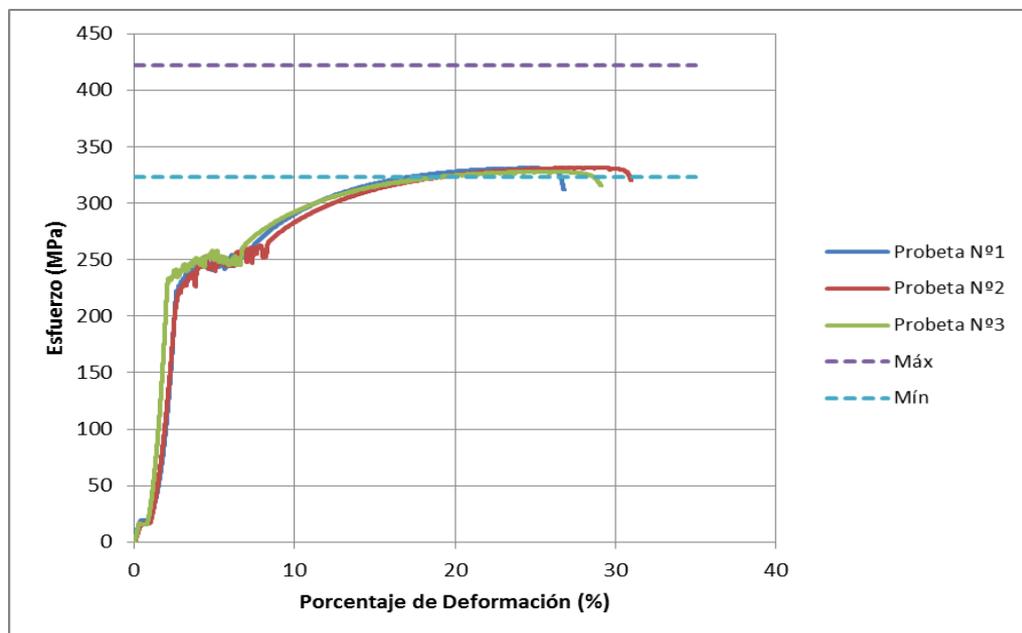


Figura 4.12 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 575 °C durante 1 h.

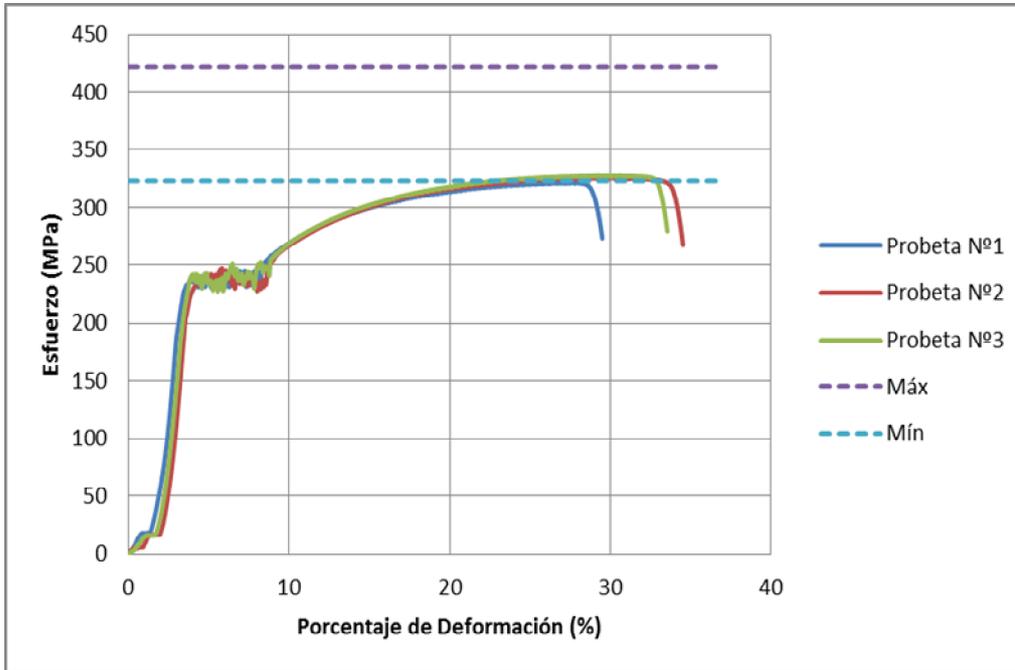


Figura 4.13 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 600 °C durante 1 h.

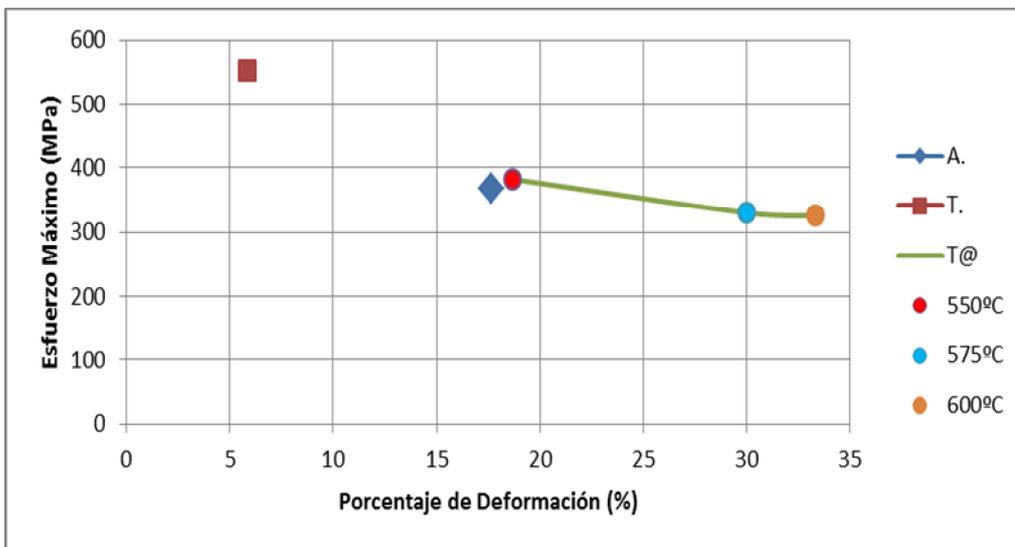


Figura 4.14 Curva Esfuerzo Máximo vs. Porcentaje de Deformación, Material de 7 mm de Diámetro.

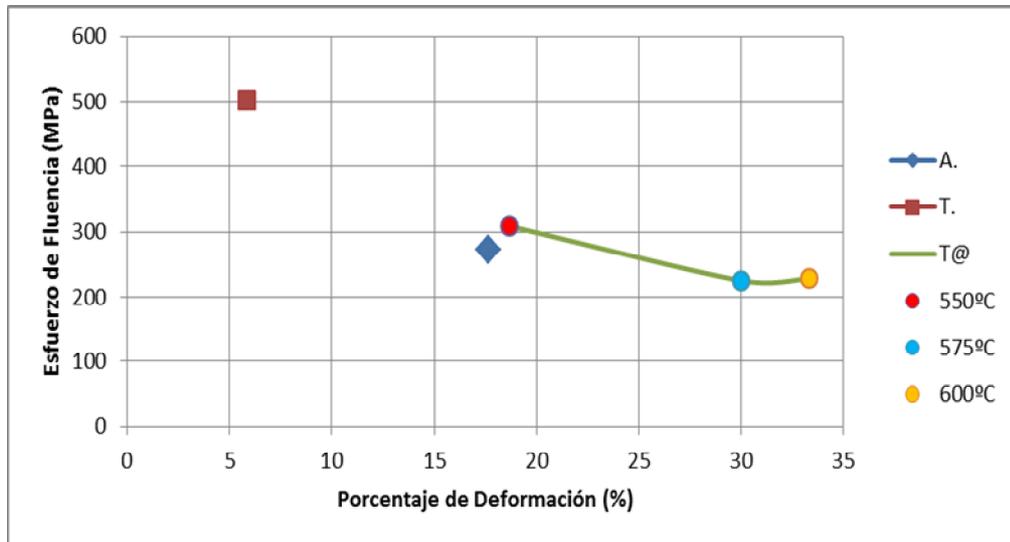


Figura 4.15 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 7 mm de Diámetro.

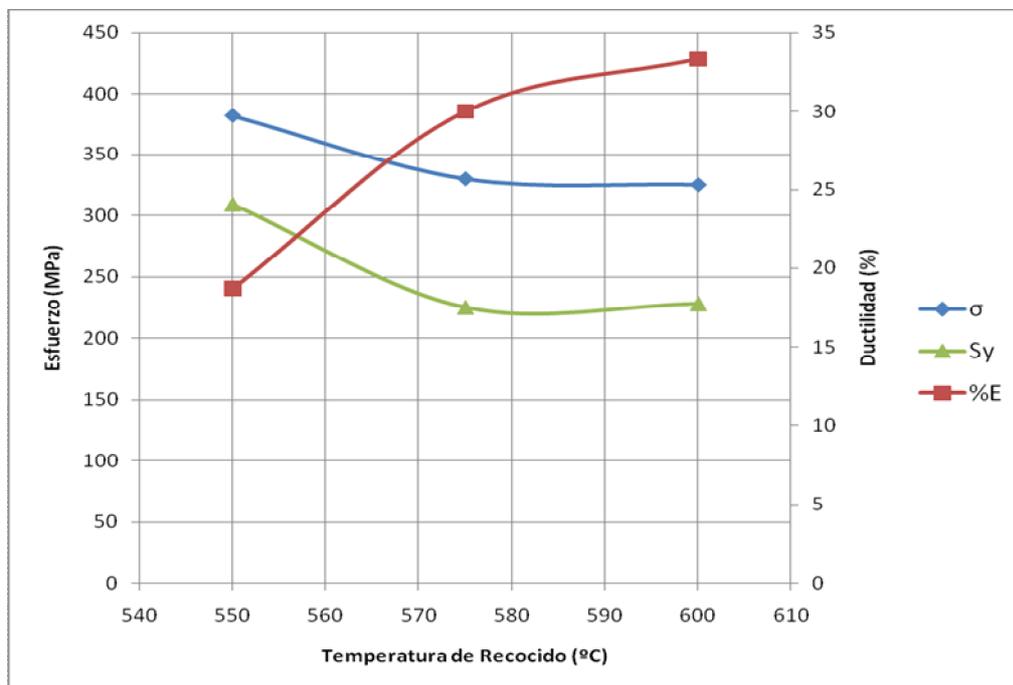


Figura 4.16 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 7 mm de Diámetro.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 8mm, con un porcentaje de deformación en frío de 36 % ver **Tabla 4.1** y posteriormente recocido a 550 °C, 575 °C y 650 °C con tiempo constante de 1 h, según la **Figura 4.22 y 4.23** (para más detalles, ver las Figuras 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21), se observa que a la temperatura de 575 °C se obtiene valores de resistencia a la tracción, esfuerzo de fluencia y porcentaje de deformación promedio de 333,45 MPa, 260 MPa y 28,675 % respectivamente, y aunque el valor de resistencia se encuentra cercano al límite mínimo establecido por la Norma COVENIN 845 (Ver **Tabla 3.3**), se encuentra dentro de los parámetros, lo que permite establecerlo como una opción acertada. De igual forma una temperatura cercana e inferior a esta puede arrojar un resultado más ajustado a los del alambón.

Así mismo se observa según la **Figura 4.24**, que al aumentar la temperatura de recocido desde los 550 °C hasta los 650 °C, la ductilidad alcanza valores cercanos al 35 % mientras que la resistencia a la tracción y a la fluencia disminuye alrededor de 150 MPa, apreciándose un comportamiento relativamente estable, a partir de los 600 °C, esto es indicativo de que se está presentando la fase de recristalización en el material.

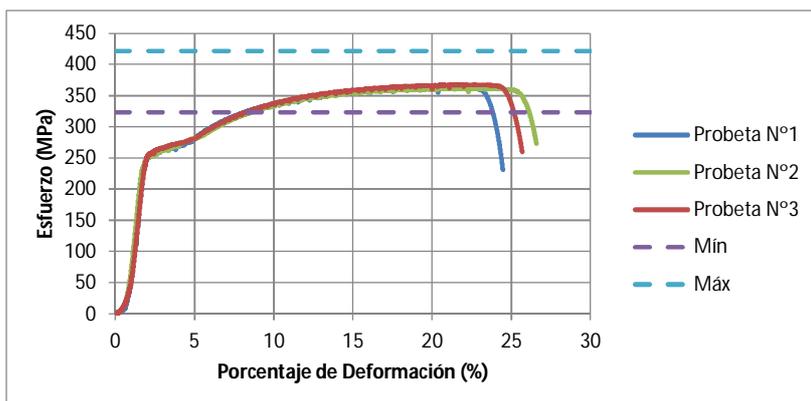


Figura 4.17 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambón de 8 mm de Diámetro.

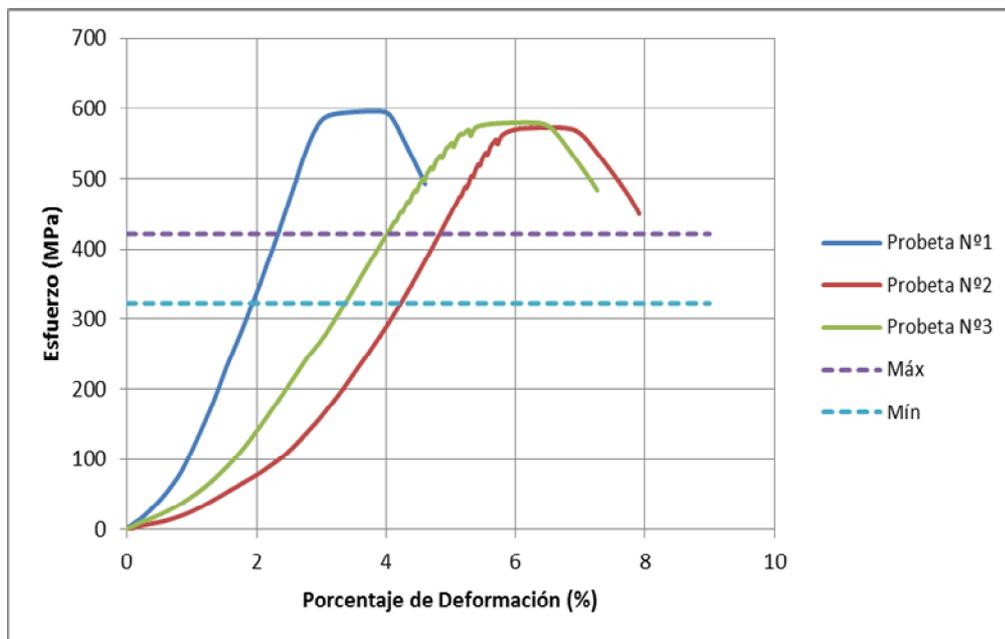


Figura 4.18 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro.

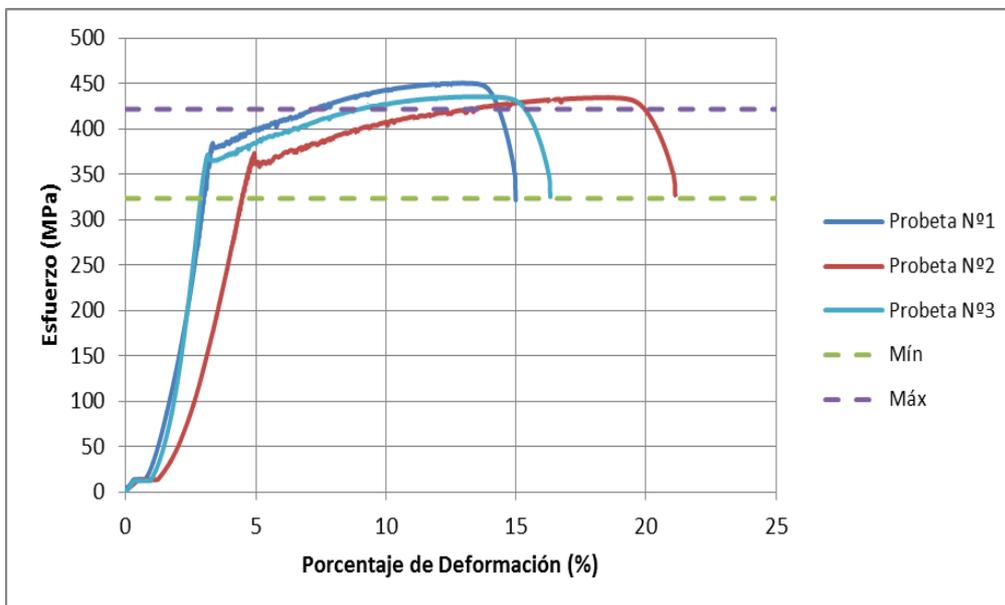


Figura 4.19 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 550 °C durante 1 h.

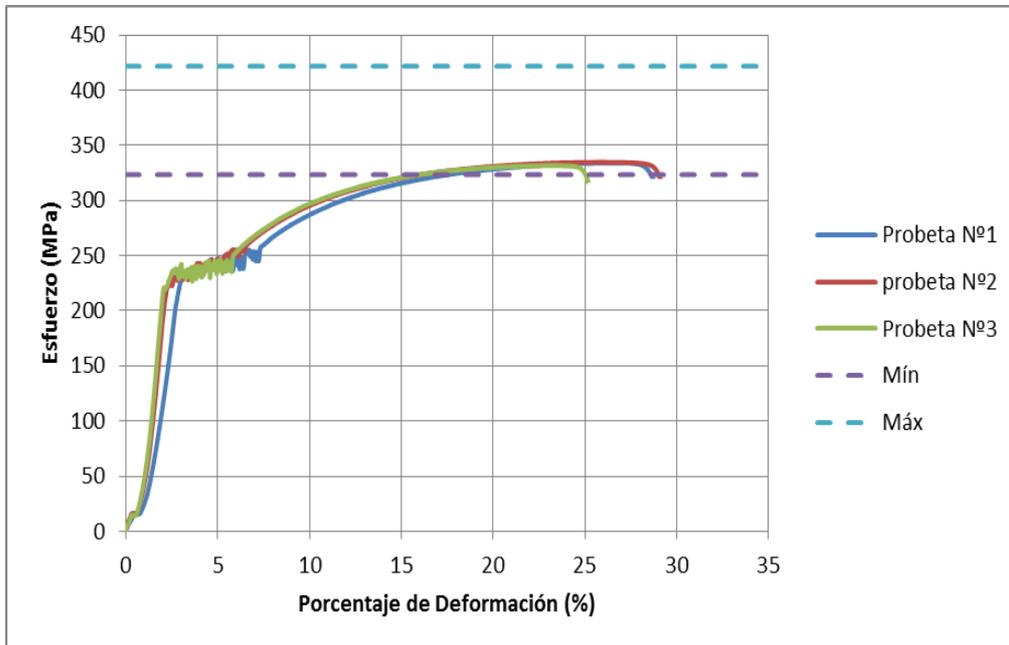


Figura 4.20 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 575 °C durante 1 h.

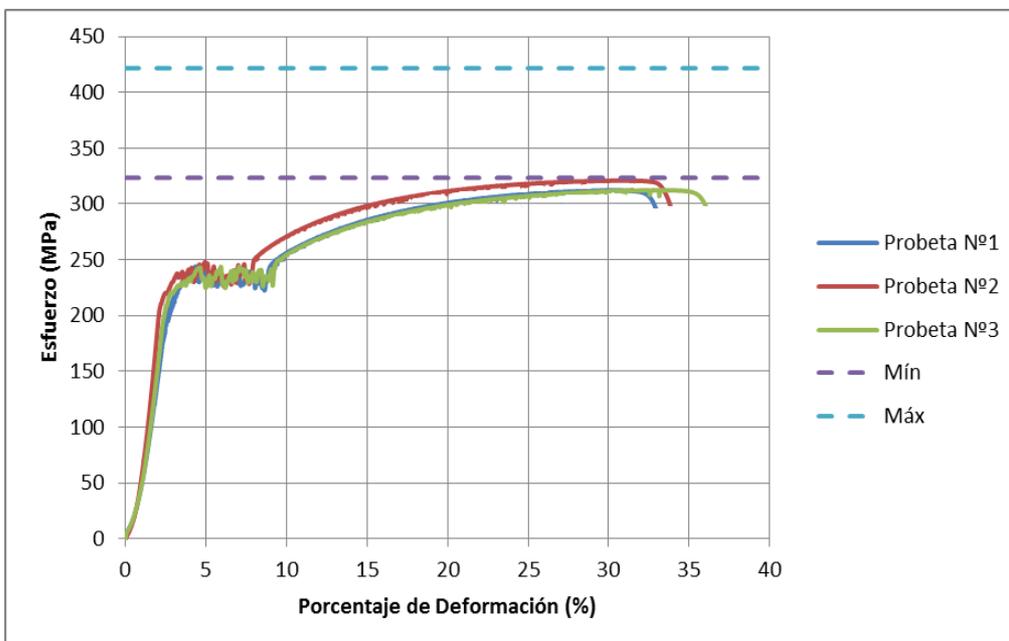


Figura 4.21 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 650 °C durante 1 h.



Figura 4.22 Curva Esfuerzo Máximo vs Porcentaje de Deformación, Material de 8 mm de Diámetro.

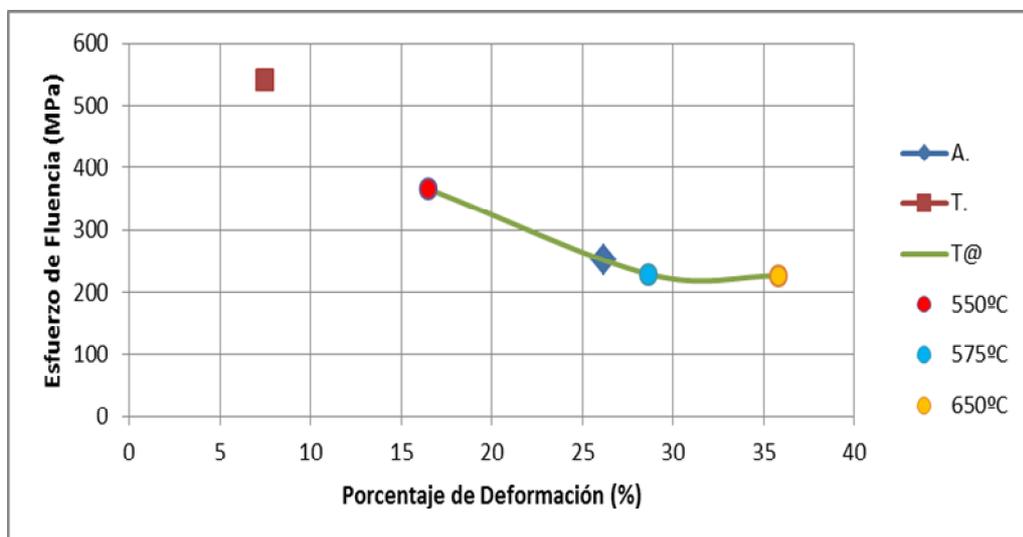


Figura 4.23 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 8 mm de Diámetro.

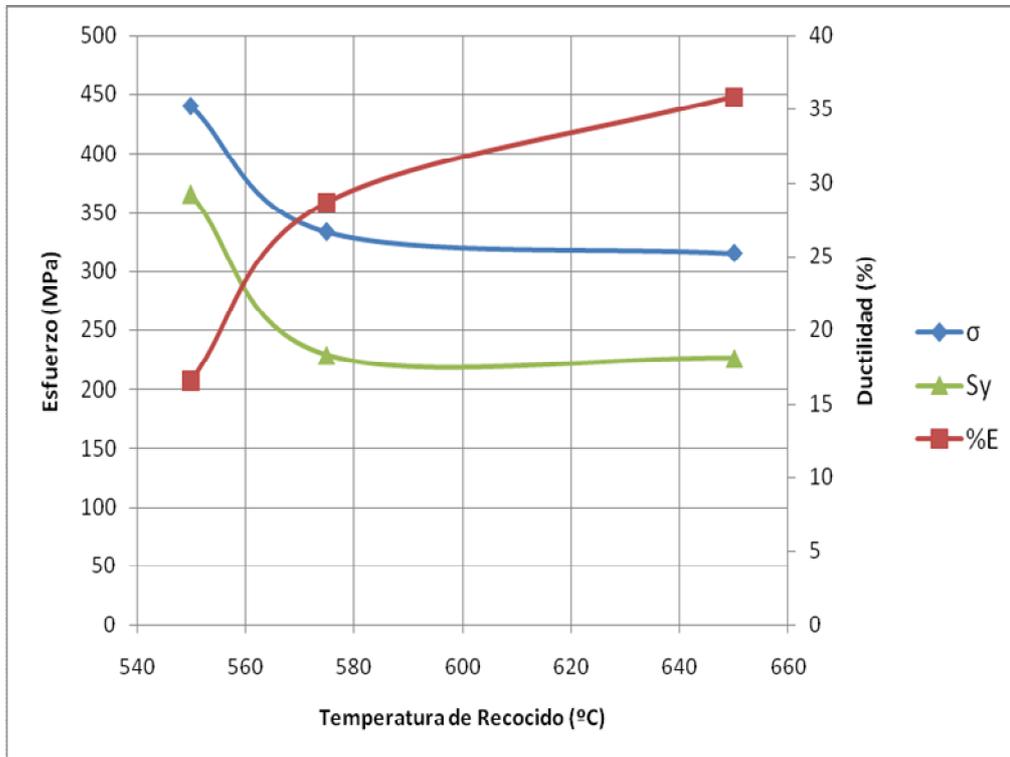


Figura 4.24 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Alambro de 8 mm de Diámetro.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 9 mm, con un porcentaje de deformación en frío de 33,06 % ver **Tabla 4.1** y posteriormente tratado térmicamente a las temperaturas de recocido de 550 °C, 575 °C y 600 °C con tiempo constante de 1 h, según las **Figuras 4.30 y 4.31** (para más detalles, ver las Figuras 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29), se observa que la condición de similitud de las propiedades mecánicas respecto al alambro del mismo diámetro (ver **Figura 4.25**), se encuentra a una temperatura promedio entre 550 °C y 575 °C arrojando valores promedio de 379,84 MPa, 280 MPa y 18,25 % para la resistencia a la tracción, esfuerzo de fluencia y porcentaje de deformación respectivamente.

Así mismo se observa según la **Figura 4.32**, que al aumentar la temperatura de recocido desde los 550 °C hasta los 600 °C, la ductilidad aumenta a valores cercanos al 35 % mientras que la resistencia a la tracción y a la fluencia cerca de 100 MPa, sin apreciarse un comportamiento estable, lo cual indica que aún se encuentra en la etapa de recuperación.

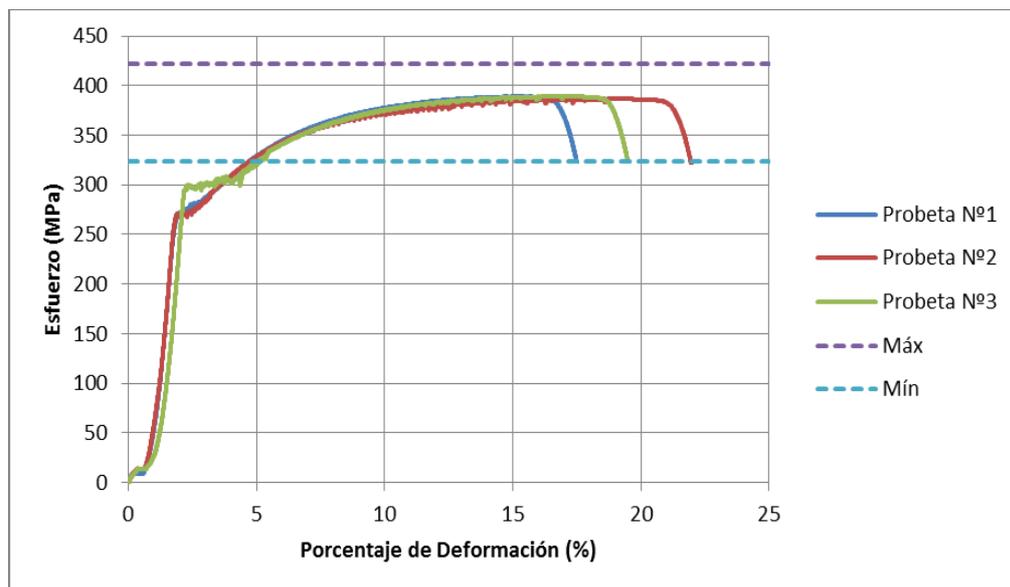


Figura 4.25 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambroón de 9 mm de Diámetro.

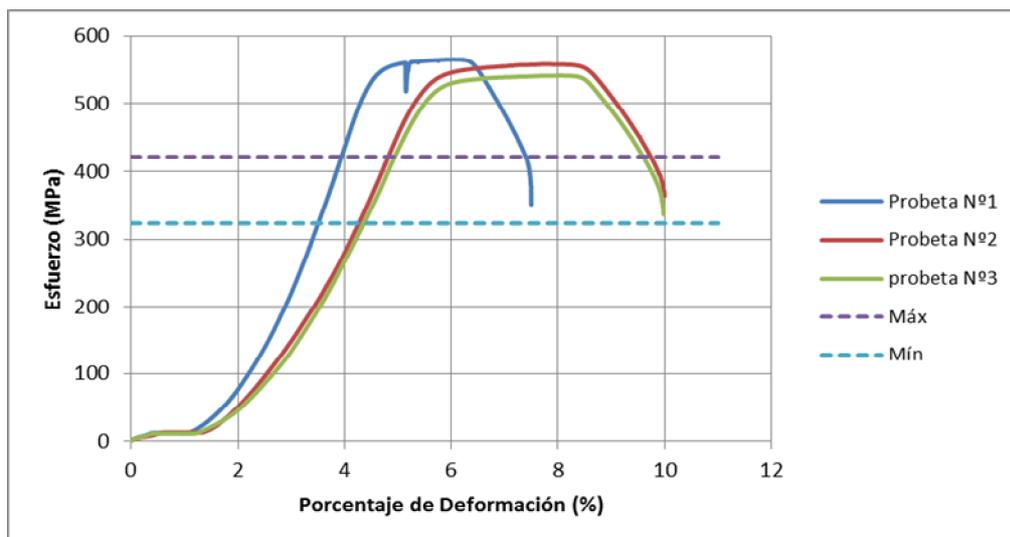


Figura 4.26 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro.

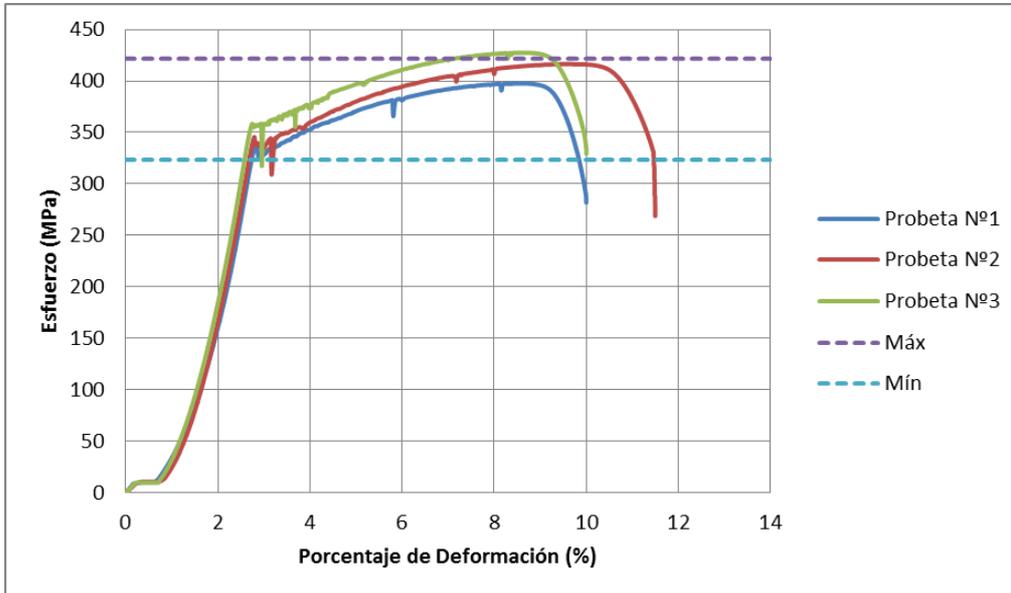


Figura 4.27 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 550 °C durante 1 h.

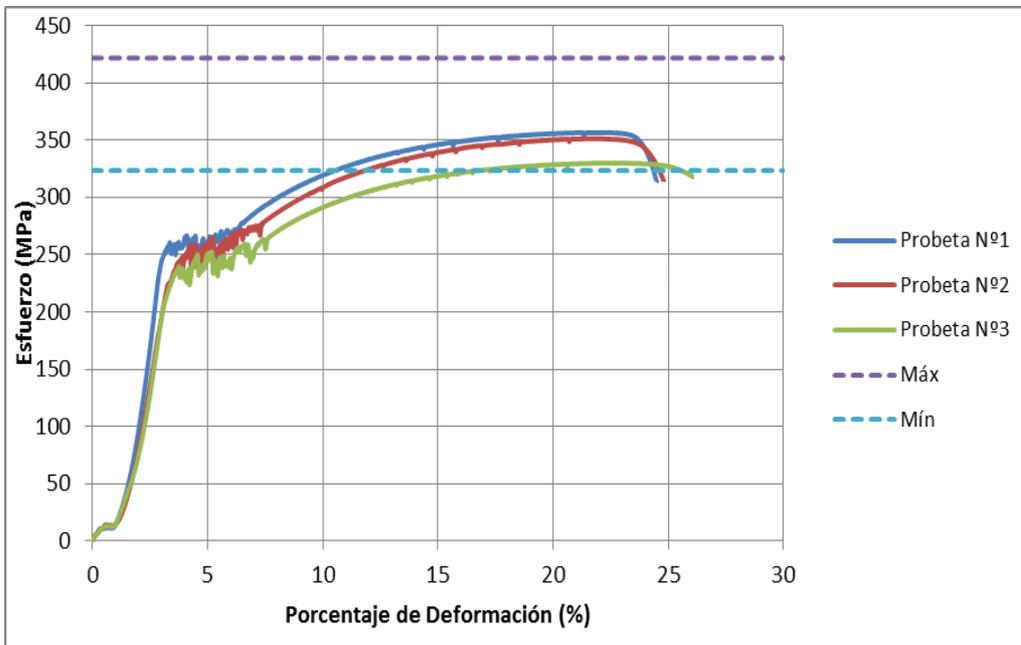


Figura 4.28 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 575 °C durante 1 h.

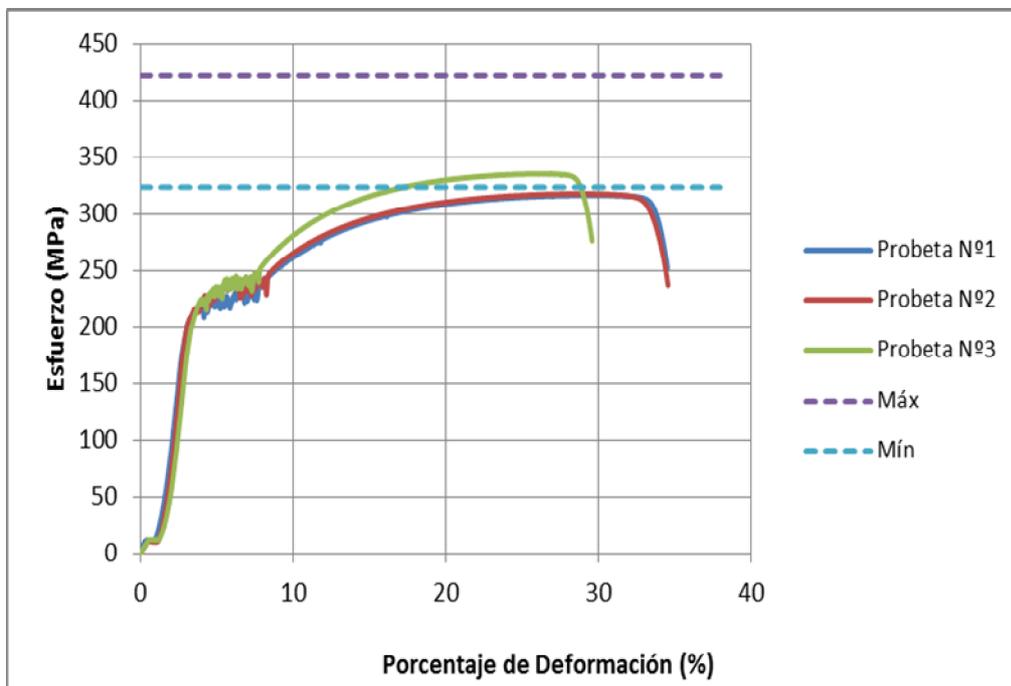


Figura 4.29 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 600 °C durante 1 h.

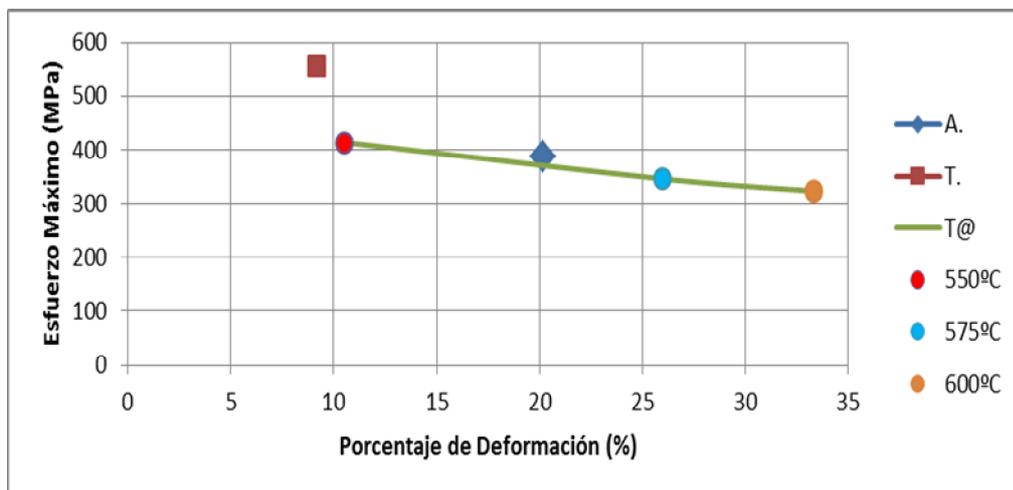


Figura 4.30 Curva Esfuerzo Máximo vs. Porcentaje de Deformación, Material de 9 mm de Diámetro.

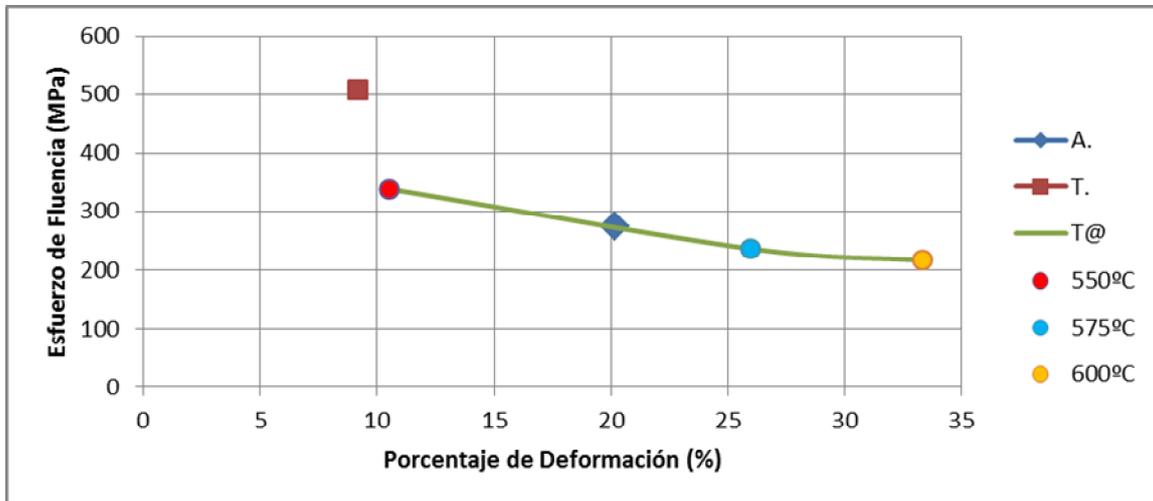


Figura 4.31 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 9 mm de Diámetro.

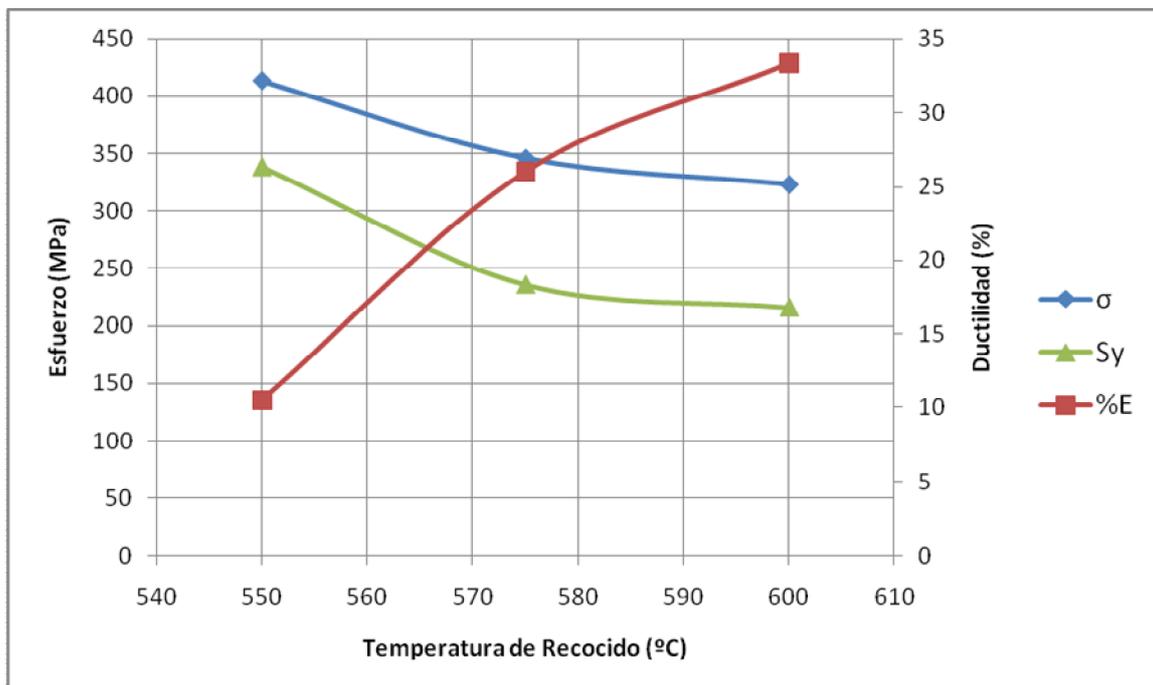


Figura 4.32 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 9 mm de Diámetro.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 10 mm, con un porcentaje de deformación en frío de 30,56 % ver **Tabla 4.1** y posteriormente recocido a 550 °C, 575 °C, 600 °C y 650 °C con tiempo constante de 1 h, según la **Figuras 4.39 y 4.40** (para más detalles, ver las Figuras 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37 y 4.38), se observa que se debe aplicar una temperatura superior a los 575 °C pero inferior a los 600 °C para obtener propiedades mecánicas similares a las del alambroón del mismo diámetro, sin embargo, los valores promedio de 388 MPa, 290 MPa y 18,33 % de la resistencia a la tracción, esfuerzo de fluencia y el porcentaje de deformación respectivamente para la temperatura de 575 °C se encuentra de manera aceptable dentro de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 845 para su utilización como materia prima.

Así mismo se observa según la **Figura 4.41** que al aumentar la temperatura de recocido desde los 550 °C hasta los 600 °C, la ductilidad aumenta en 20 % hasta los 600 °C para luego mantenerse constante, mientras que la resistencia disminuye en 200 MPa y de igual manera se estabiliza. En esta etapa se puede apreciar de forma más clara la poca variación de las propiedades mecánicas lo que es representativo de la recristalización del material.

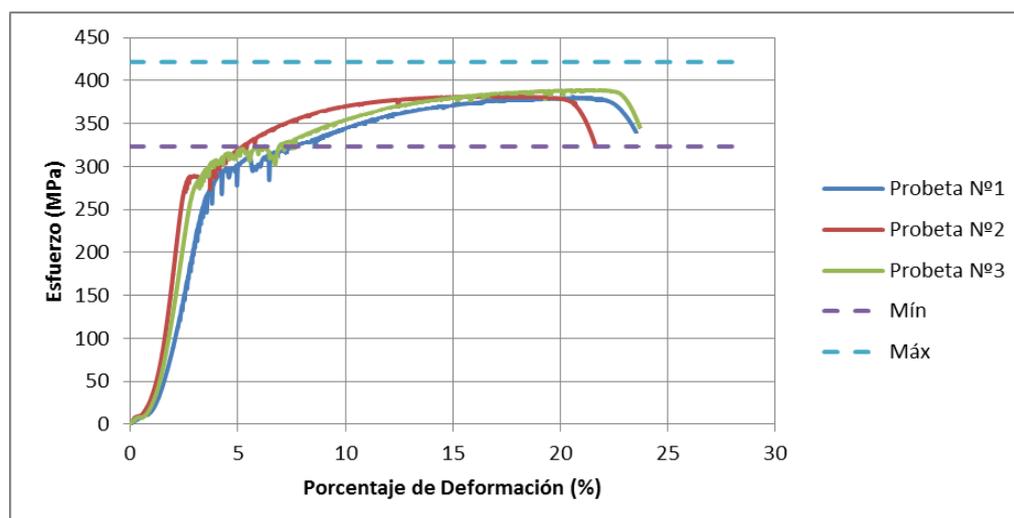


Figura 4.33 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambroón de 10 mm de Diámetro.

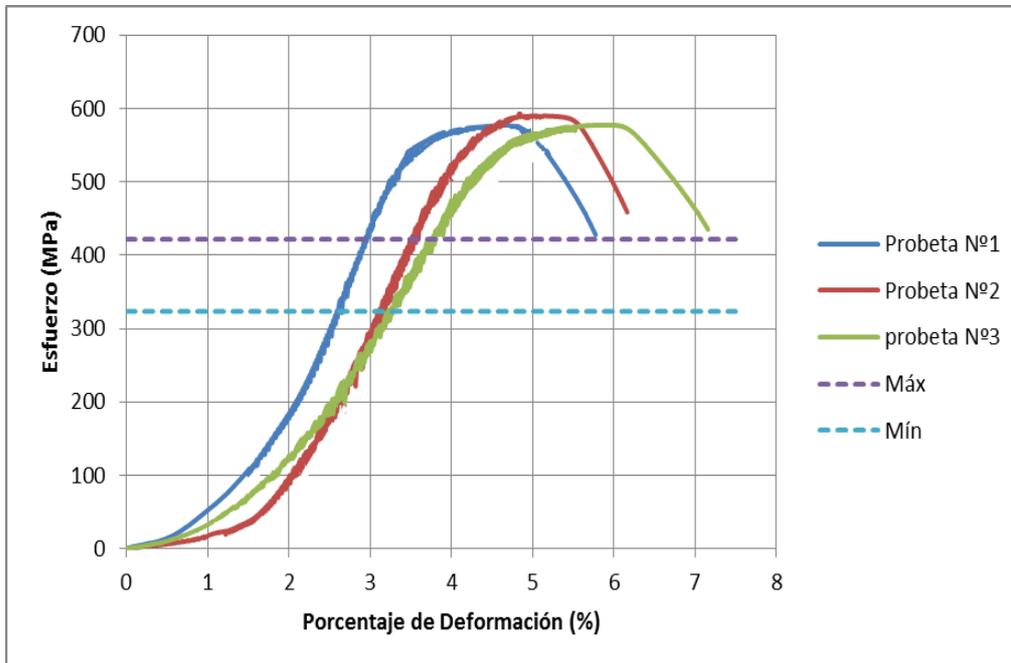


Figura 4.34 Curva Esfuerzo vs. Deformación, Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro.

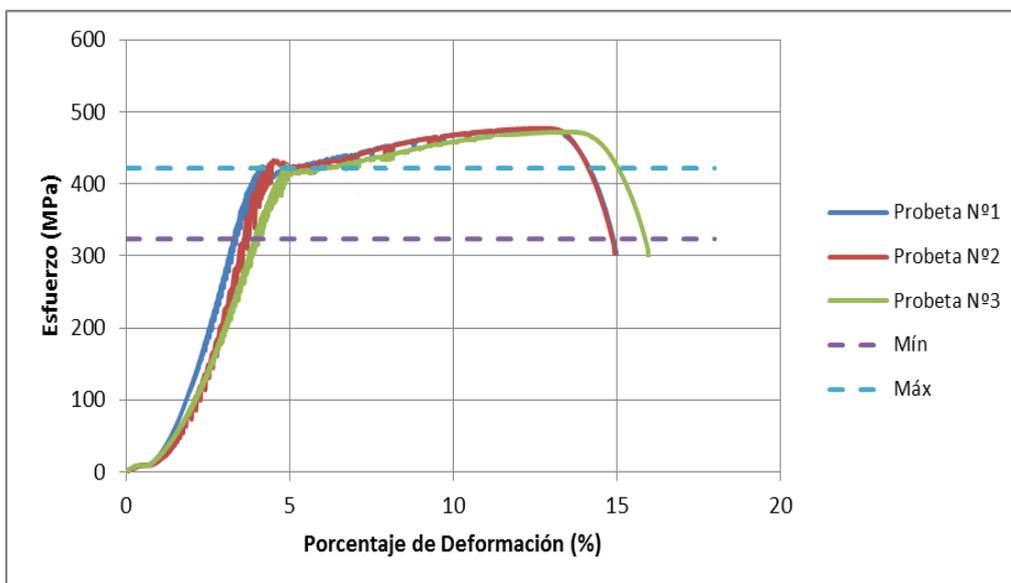


Figura 4.35 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 550 °C durante 1 h.

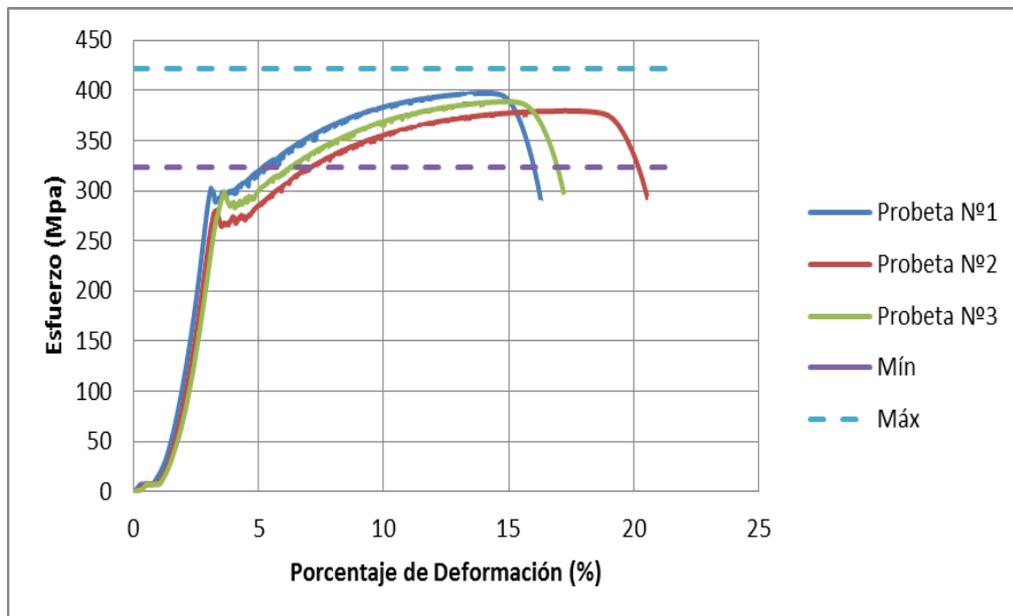


Figura 4.36 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 575 °C durante 1 h.

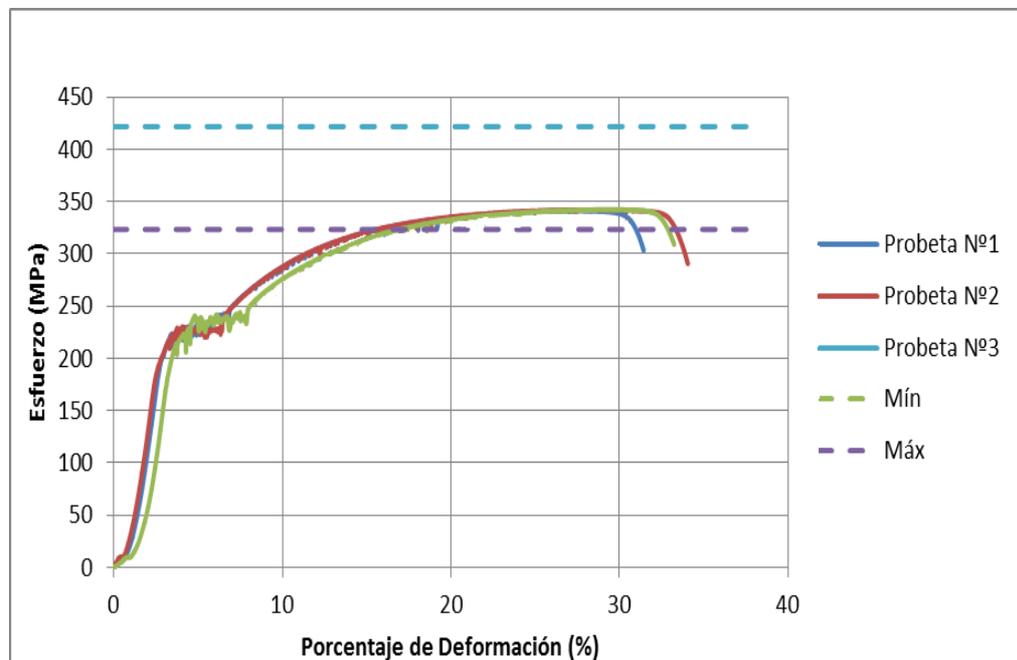


Figura 4.37 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 600 °C durante 1 h.

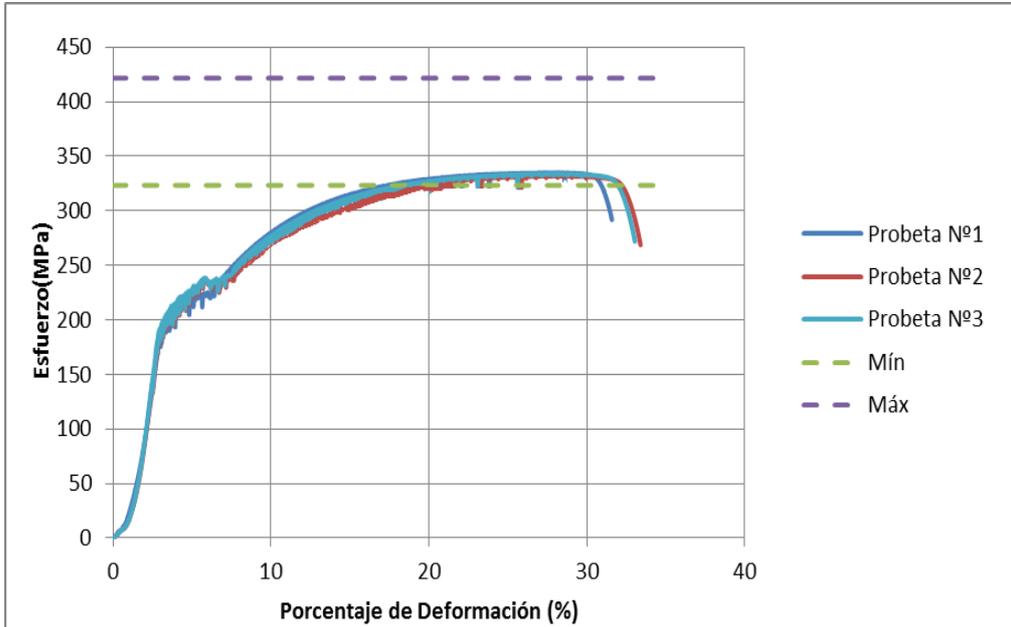


Figura 4.38 Curva Esfuerzo vs. Deformación del Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro tratado Térmicamente a 650 °C durante 1 h.

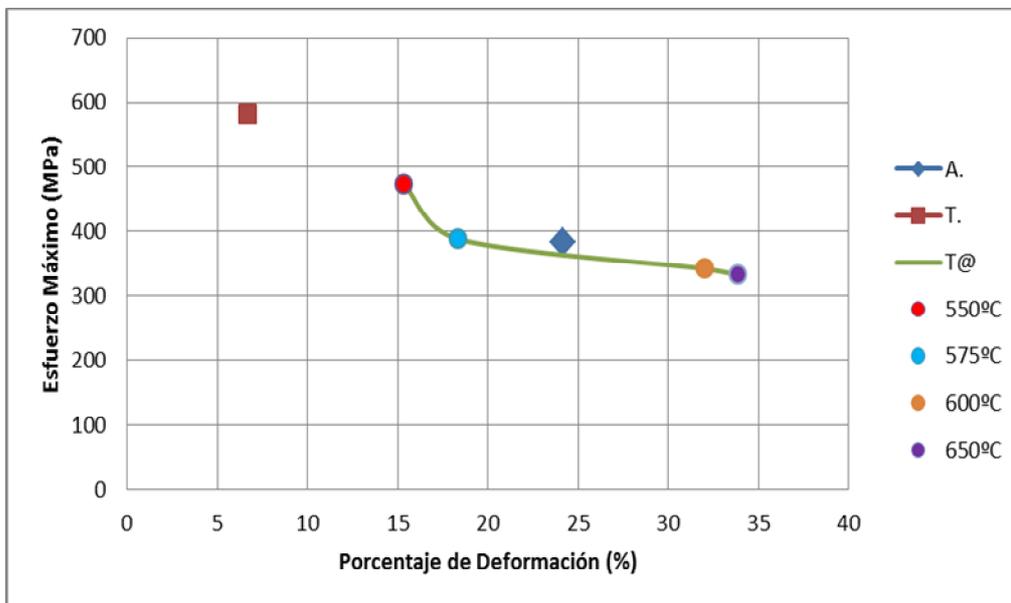


Figura 4.39 Curva Esfuerzo Máximo vs. Porcentaje de Deformación, Alambres de 10 mm de Diámetro.

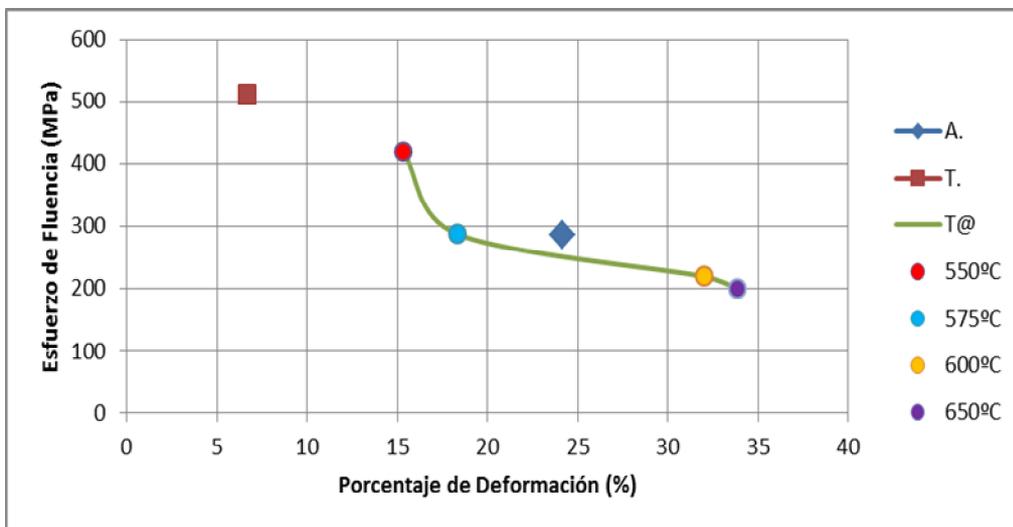


Figura 4.40 Curva Esfuerzo de Fluencia vs Porcentaje de Deformación, Material de 10 mm de Diámetro.

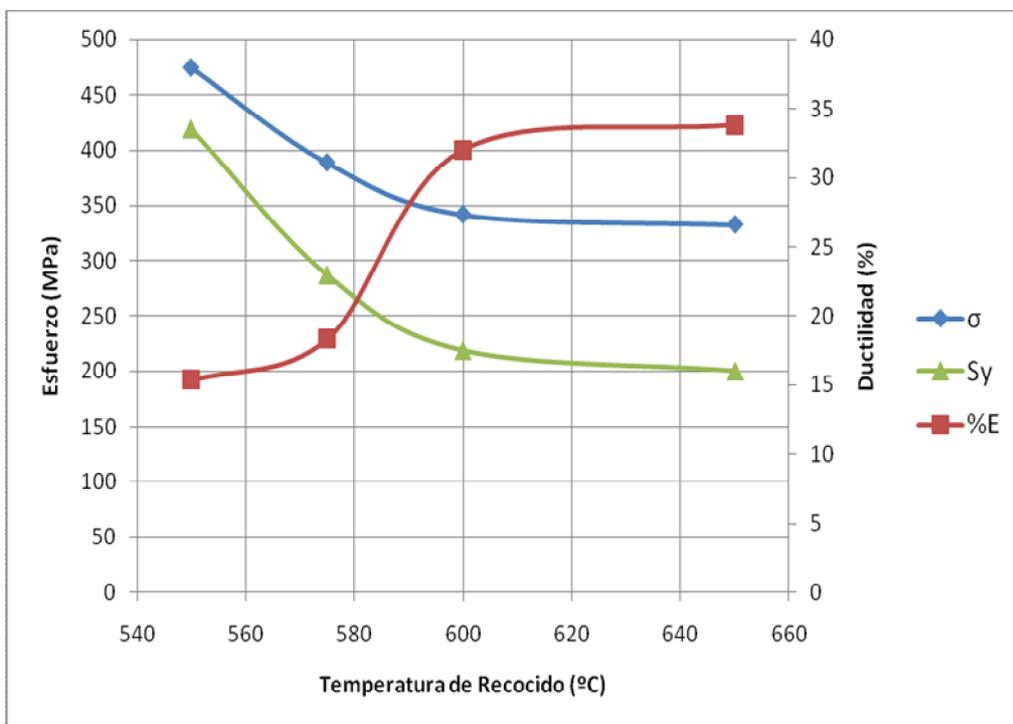


Figura 4.41 Curva Variación de las Propiedades Mecánicas en Función de la Temperatura de Recocido, Material de 10 mm de Diámetro.

Aunque teóricamente debería apreciarse que un mayor porcentaje de deformación proporciona una mayor recuperación de las propiedades mecánicas para una temperatura de recocido determinada, como se puede ver en las **Figuras 4.42, 4.43 y 4.44**, no se observa una separación clara entre las propiedades de esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y ductilidad al de los distintos diámetros de alambre trefilado al ser tratado térmicamente. Esto se debe principalmente a que el porcentaje de deformación en frío para los distintos diámetros (ver **Tabla 4.1**), poseen valores similares, además estos valores presentan un margen de error debido a que están basados en el diámetro nominal.

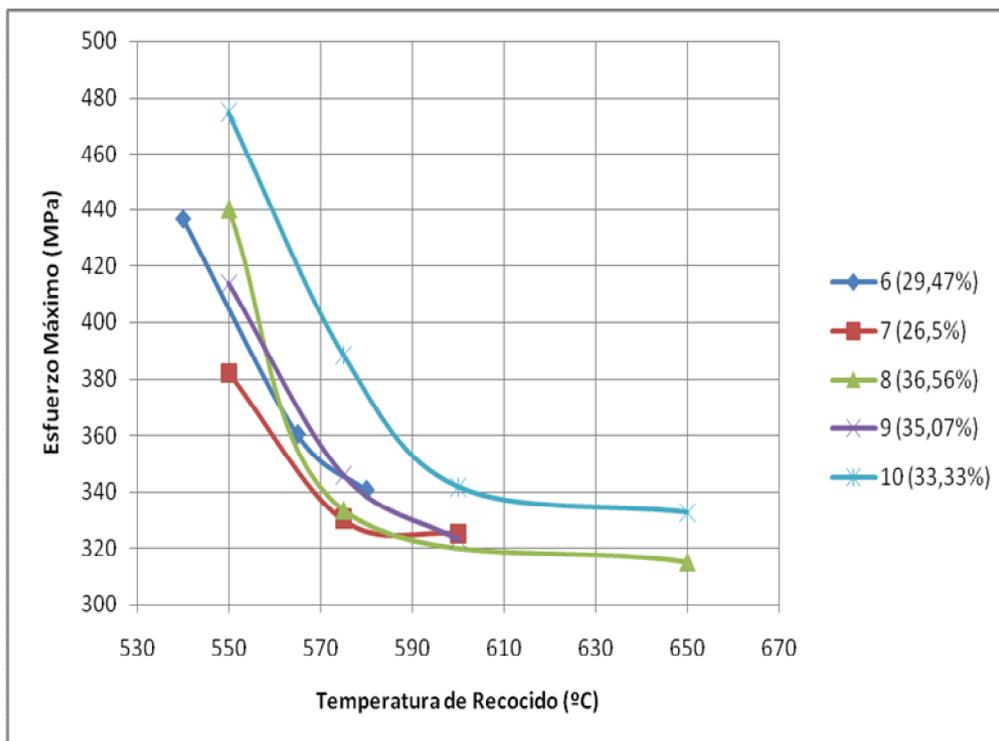


Figura 4.42 Curva Influencia del Porcentaje de Deformación en frío y la Temperatura de Recocido sobre el Esfuerzo Máximo.

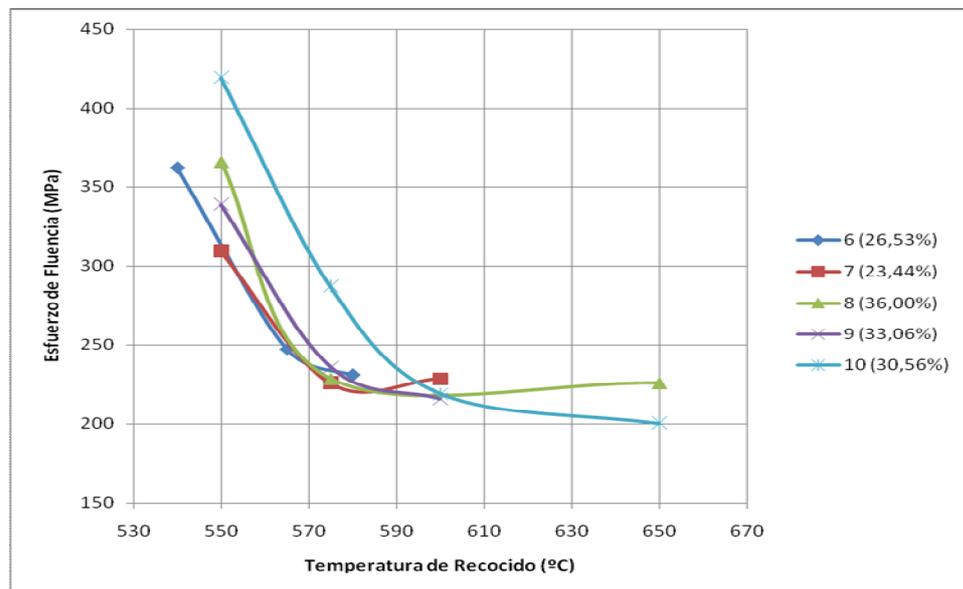


Figura 4.43 Curva Influencia del Porcentaje de Deformación en frío y la Temperatura de Recocido sobre el Esfuerzo de Fluencia.

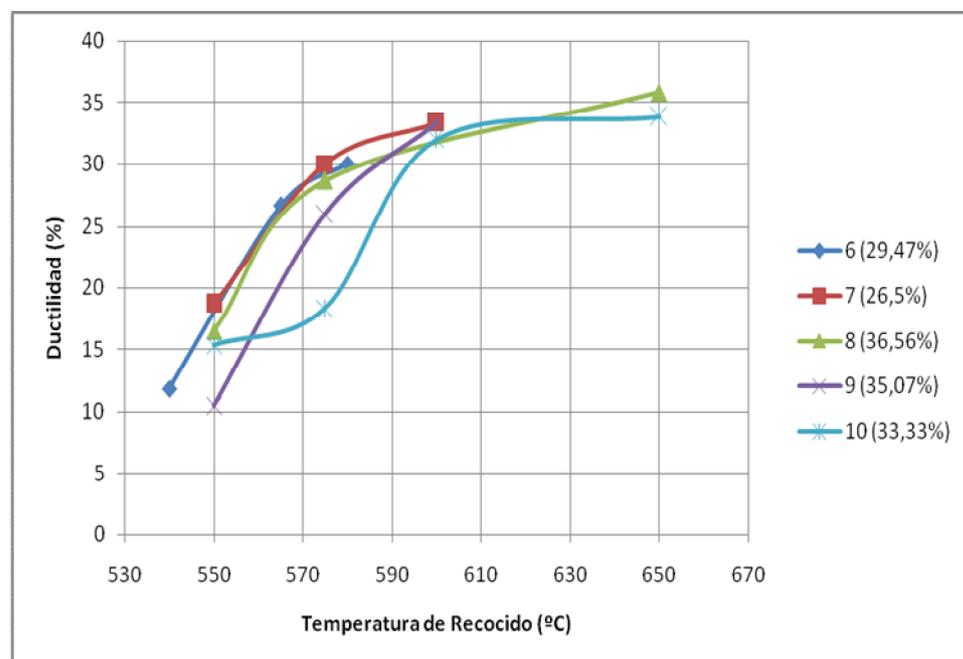


Figura 4.44 Curva Influencia del Porcentaje de Deformación en frío y la Temperatura de Recocido sobre la Ductilidad.

El material en condición de trefilado (alambre trefilado) como se observa en las **Figuras 4.2, 4.10, 4.18, 4.26 y 4.34** presentan un valor de resistencia a la tracción en promedio superior a los 550 MPa, esfuerzo de fluencia en promedio superior a los 500 MPa y un porcentaje de deformación superior al 5 %. Estos valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 505 para la comercialización de alambre para refuerzo estructural.

El material en condición de alambrón como se observa en las **Figuras 4.1, 4.9, 4.17, 4.25 y 4.33**, presentan un valor de resistencia a la tracción comprendido entre 363,66 MPa y 389,07 MPa, esfuerzo de fluencia en promedio de 300 MPa y un porcentaje de deformación que en promedio supera el 20 %. Estos valores y con el respaldo de los certificados químicos entregados por SIDOR (Ver **Anexos**), se ubican dentro de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 845 (ver **Tabla 3.2 y 3.3**) para la fabricación del alambre trefilado.

La curva de esfuerzo-deformación del alambrón en sus distintos diámetros se caracteriza por tener un punto claro de fluencia y una amplia zona de plasticidad en comparación con el alambre trefilado, lo cual es característico de un elemento dúctil y apto para trabajo en frío. Al igual que el alambrón, todos los alambres trefilados que han sido tratados térmicamente, presentan un comportamiento con tendencia similar, y que se observa con mayor claridad a medida que aumenta la temperatura de recocido.

Por otra parte la curva esfuerzo-deformación del alambre trefilado en sus distintos diámetros evaluados, no presenta de manera clara el límite de fluencia, bajo porcentaje de elongación y una reducida zona de plasticidad, lo cual es representativo de un material frágil.

4.2 Microscopia Óptica.

La microscopia óptica, permitió comprobar los microconstituyentes claramente diferenciables entre sí, los cuales son ferrita y perlita, con una composición de 10 % de perlita y 90 % de ferrita deducido por observación (Ver **Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7**) en donde el primero es de apariencia clara y mucho más abundante que el segundo, el cual es de apariencia oscura. Esta última, es decir la perlita es una combinación de ferrita y el compuesto intermetálico denominado cementita, que el material está conformado por dos constituyentes. Cabe destacar además que la microestructura se mantiene invariable en todas las condiciones del material, en cuanto a los tipos de constituyentes presentes en el acero.

A nivel general se aprecia que la microestructura del alambraón se caracteriza por tener una morfología regular y sin deformación, mientras que en las condiciones de alambres trefilados, se observa claramente el alargamiento granular producto del proceso de trefilado, dicho alargamiento se manifiesta significativamente en la orientación longitudinal. Este alargamiento se conoce como el efecto de banda. Este efecto produce un incremento de la energía presente en los límites de grano por ende incrementa las propiedades mecánicas del material.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 6 mm con un porcentaje de deformación de 23,56 % y posterior recocido (ver **Figura 4.45**), se observa que para las temperaturas de 540 °C y 565 °C aún se mantiene el efecto de banda ya que la perlita se muestra alargada localmente, mientras que para la temperatura de 580°C se observa un presumible crecimiento de grano, lo cual viene a ser complemento del fenómeno de recristalización.

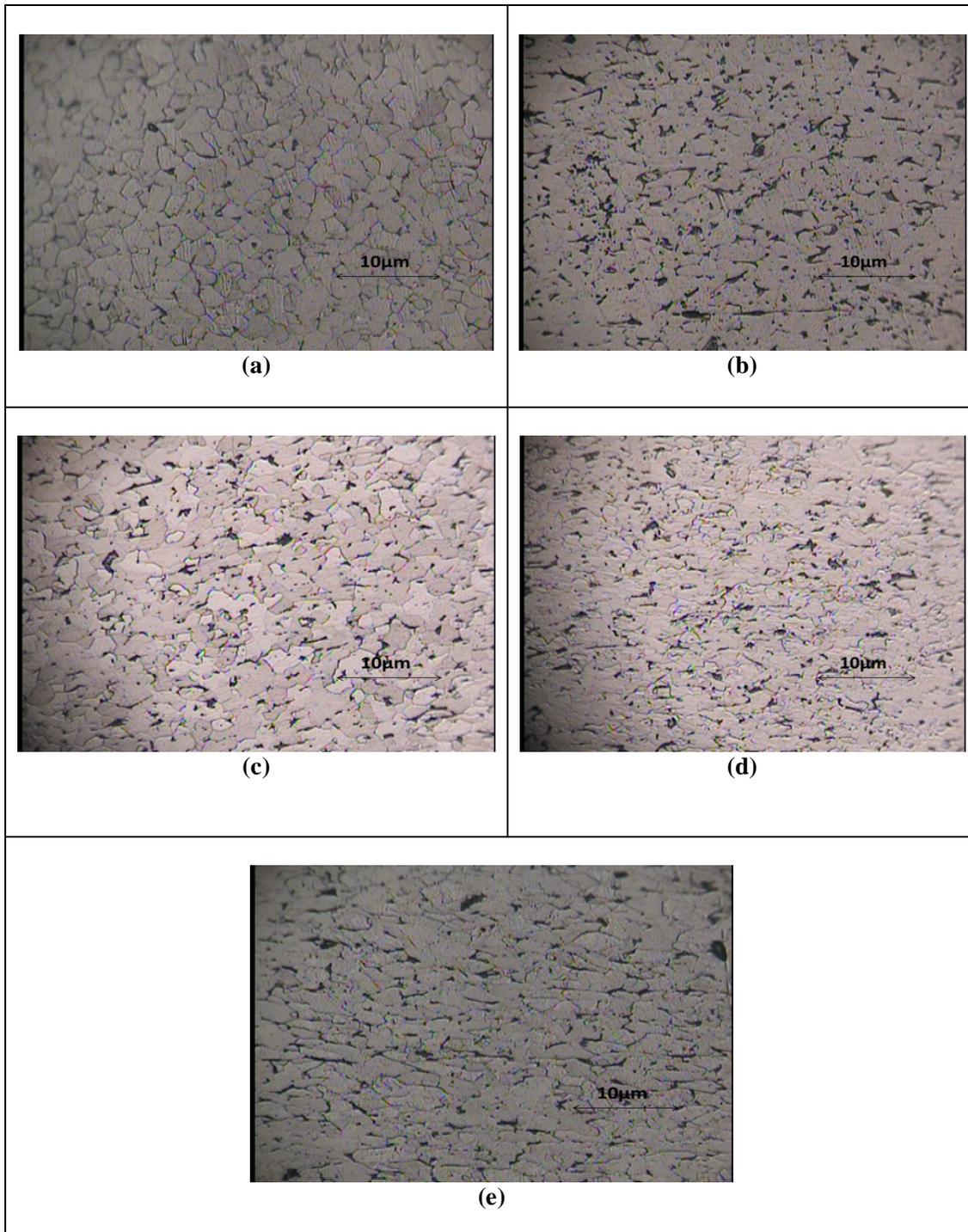


Figura 4.45. Microestructura Observada a 200X, de Alambión (a) y Alambre Trefilado de 6 mm de Diámetro (b) y posterior Recocido a 580 °C (c), 565 °C (d) y 540 °C (e) con Tiempo Constante de 1h.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 7 mm con un porcentaje de deformación en frío de 23,44 % y posterior recocido (ver **Figura 4.46**) se observa que para las temperaturas de 550 °C y 575 °C de igual manera se mantiene el efecto de banda en los granos, lo cual ratifica que en el material no se ha producido una recristalización total u homogénea que permita una mayor reacomodo granular. A partir de la temperatura de 600 °C se observa al igual que la muestra anterior un crecimiento de grano aislado y forma menos alargada, lo cual es indicativo del inicio de la etapa de recristalización.

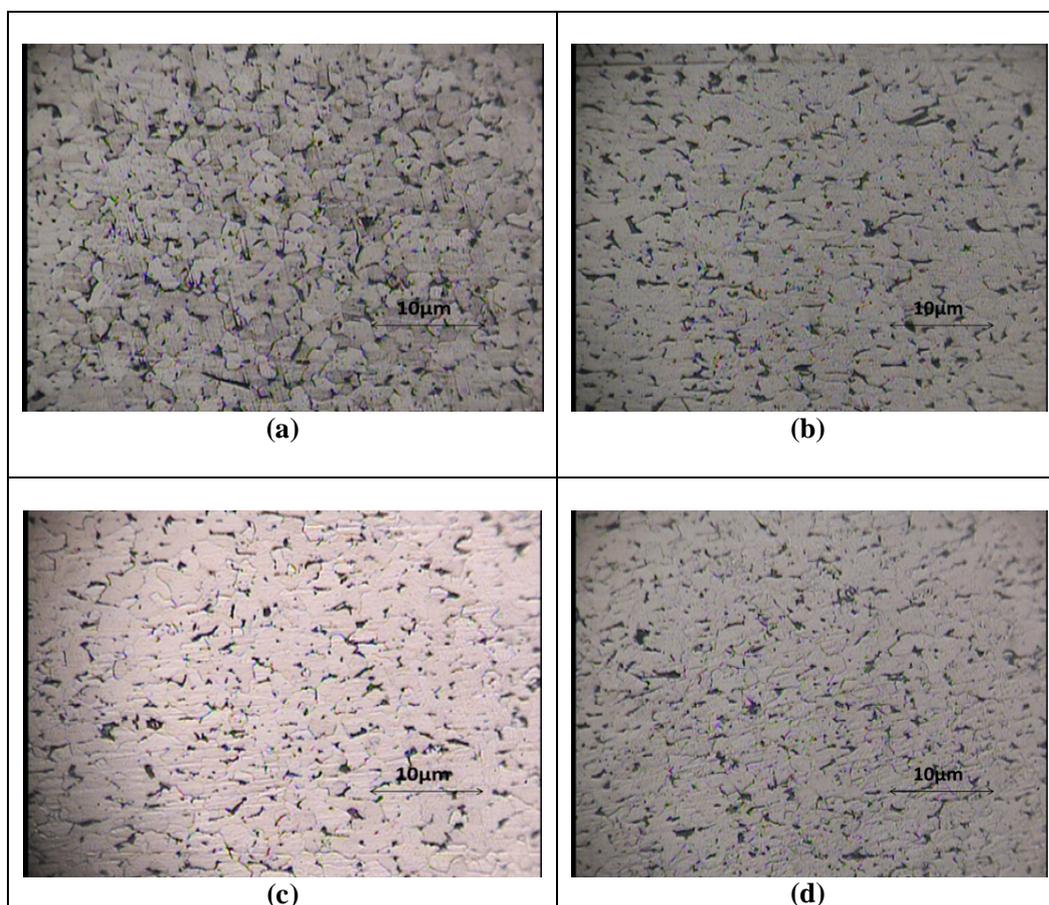
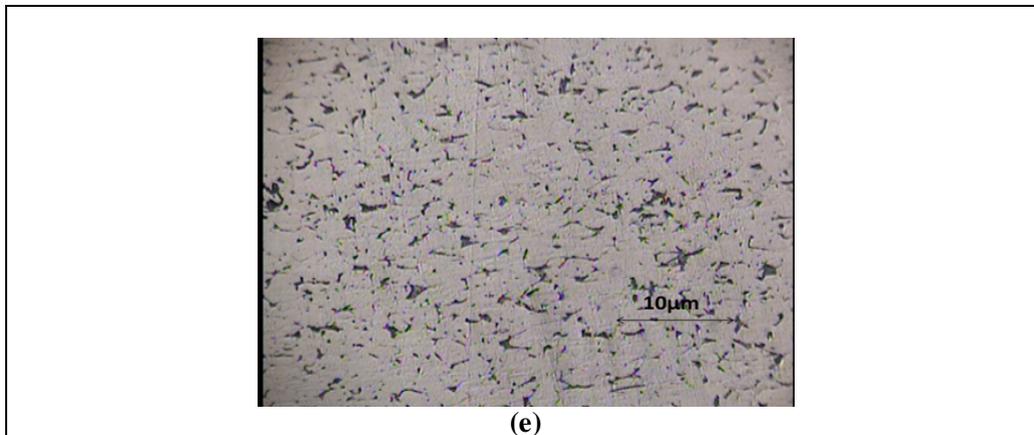


Figura 4.46. Microestructura Observada a 200X de Alambrón (a) y Alambre Trefilado de 7 mm de Diámetro (b) y posterior Recocido a 600 °C (c), 575 °C (d) y 550 °C (e) con Tiempo Constante de 1h.



Microestructura observada a 200X. (Continuación de la **Figura 4.46**)

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 8 mm con un porcentaje de deformación en frío de 36,0 % y posterior recocido (ver **Figura 4.47**) se observa que para las temperaturas de 550 °C y 575 °C al igual que las muestras anteriores se presenta en el grano el efecto de banda atribuido a la deformación en frío, mientras que para la condición de 650 °C se puede observar una configuración, forma y tamaño de grano similar al alambón, lo cual indica que se ha logrado la recristalización.

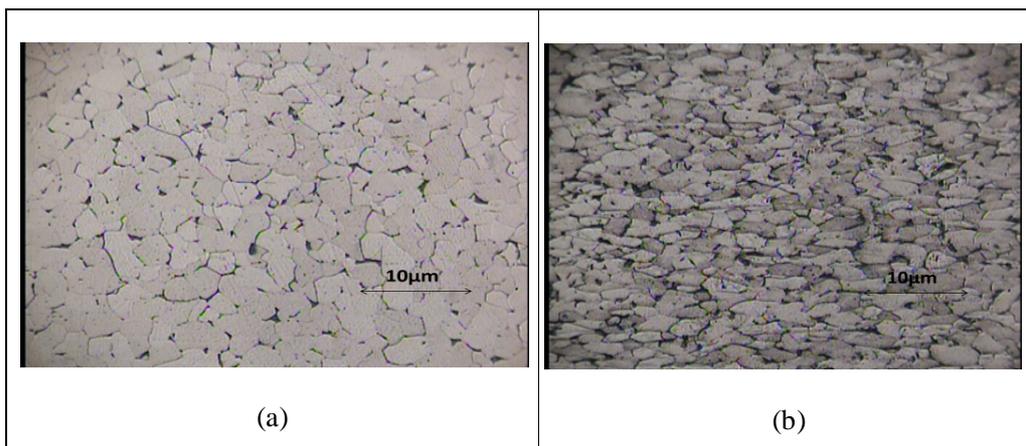
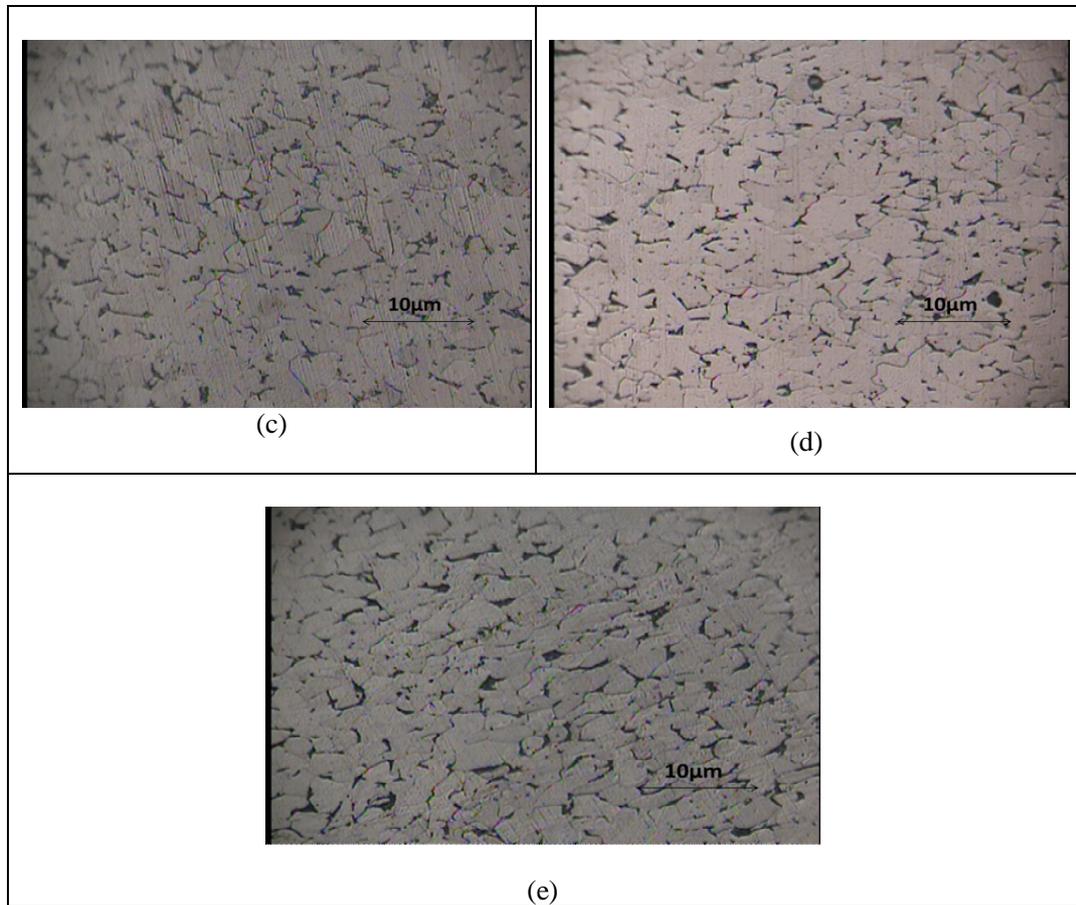


Figura 4.47. Microestructura Observada a 200X de Alambón (a) y Alambre Trefilado de 8 mm de Diámetro (b) y posterior Recocido a 650 °C (c) , 575 °C (d) y 550 °C (e) con Tiempo Constante de 1h.



Microestructura observada a 200X. (Continuación de la Figura 4.5)

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 9 mm con un porcentaje de deformación en frío de 33,06 % y posterior tratado térmicamente (ver **Figura 4.46**) se observa que para la temperaturas de recocido de 550 °C y 575 °C se presenta el efecto de banda sobre los granos aunque en menor proporción para la temperatura de 575 °C. Para la temperatura de 600 °C se observa con más claridad una forma de grano homogénea y un aparente crecimiento, lo cual es indicativo de que el material se encuentra dentro de la etapa de la recristalización.

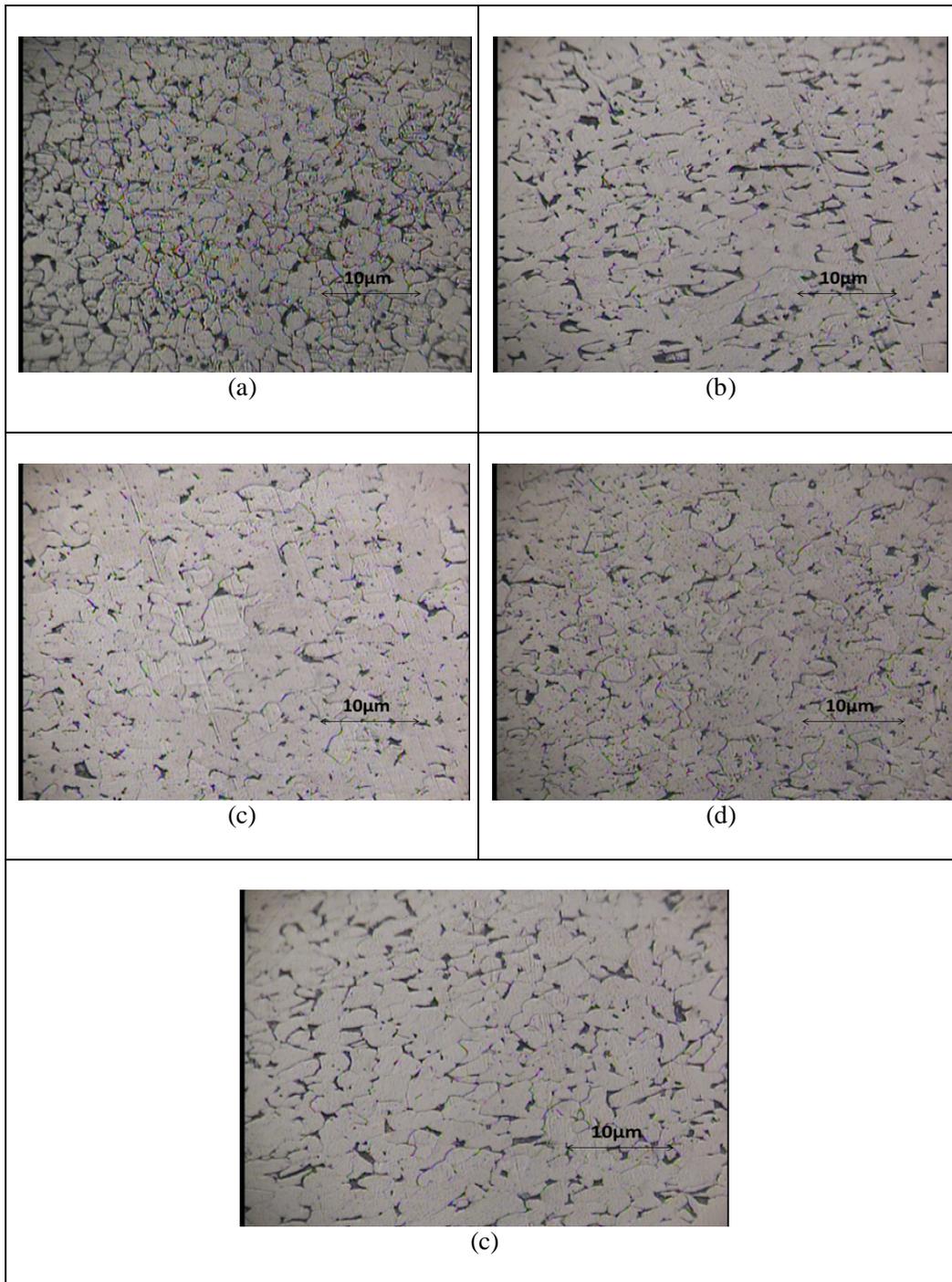


Figura 4.48. Microestructura Observada a 200X de Alambión (a) y Alambre Trefilado de 9 mm de Diámetro (b) y posterior Recocido a 600 °C (c) , 575 °C (d) y 550 °C (e) con Tiempo Constante de 1h.

Para la condición de alambre trefilado de diámetro 10mm con un porcentaje de deformación en frío de 30,56 % y posterior recocido (ver **Figura 4.49**) se observa al igual que los diámetros anteriores que para temperaturas de 550 °C y 575 °C aún se presenta el efecto de banda en los granos, mientras que para la temperatura de 600 °C se observa un grano más reacomodado y finalmente para la temperatura de 650 °C el tamaño de grano regular y similar al del alambroón, lo cual es indicativo que se alcanzó la recristalización del material.

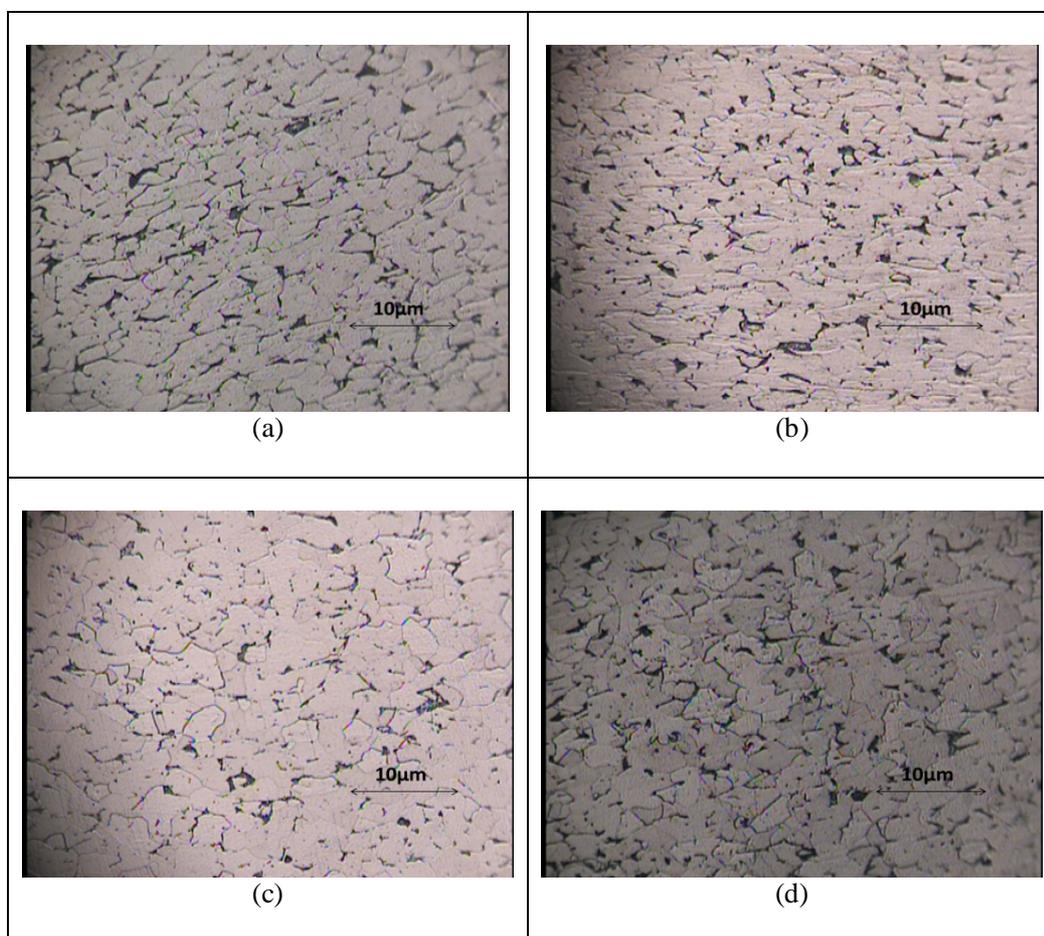
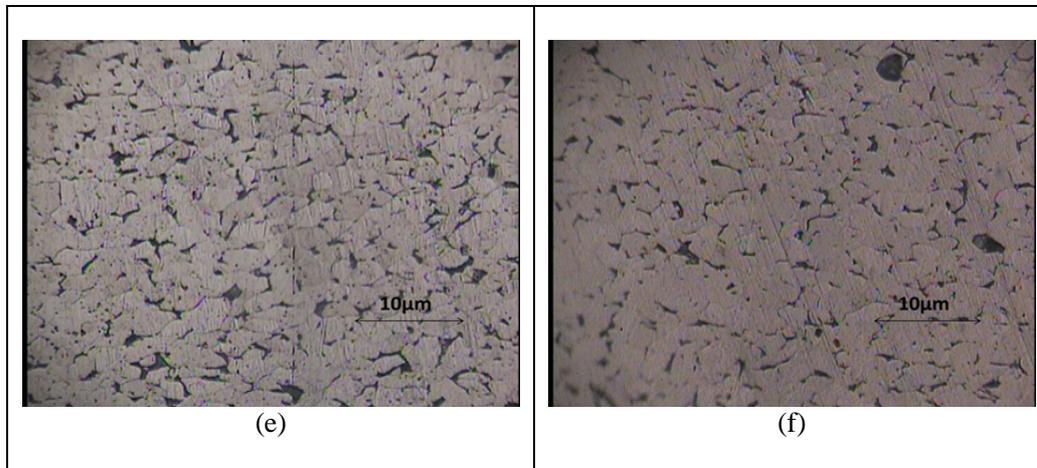


Figura 4.49. Microestructura Observada a 200X de Alambroón (a) y Alambre Trefilado de 10 mm de Diámetro (b) y posterior Recocido a 650 °C (c), 600 °C (d), 575 °C (e) y 550°C (f) con Tiempo Constante de 1h.



Microestructura observada a 200X. (Continuación de la **Figura 4.49**)

4.2.1 Forma y Tamaño de Grano.

La determinación del tamaño de grano obtenido, se realizó comparando los resultados obtenidos con la estructura de grano de una serie de imágenes graduadas que se indican en la Norma ASTM E-112; dando como resultado para los alambrones un patrón de 7 y 8 en los distintos diámetros (ver **Tabla 4. 2** ó para mayor detalle ver **Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7**)

Respecto a las condiciones tratadas térmicamente (Ver **Tabla 4.2** ó para mayor detalle ver las **Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7**), se tiene que el número ASTM del tamaño de grano, se mantiene de igual manera entre 7 y 8 para los distintos diámetros, no obstante se observan granos deformados y granos grandes para las temperaturas entre 550 °C y 575 °C, mientras que para las temperaturas superiores a 600 °C se observa una forma de grano sin deformación y similar a las del alambón.

4.3 Fractografía.

Con la macroscopía de la zona de fractura se destaca en el material, características que permiten definir el tipo de fractura.

Para las condiciones de alambre trefilado de 8 mm y 10 mm de diámetro, representadas en las siguientes **Figuras 4.50 y 4.51**, busca orientar que en los ensayos realizados, se observaron en su periferia un mayor brillo, lo cual evidenciaron de forma cualitativa un cierto grado de fragilidad en la zona de estricción que se atribuye a la deformación plástica generada por dicho proceso. Este tipo de fractura es la que se conoce como moderadamente frágil.

Los alambres de 8 mm y 10 mm de diámetro, observados en las **Figuras 4.50 y 4.51**, se aprecia la estricción con una considerable reducción de área; además se destaca la presencia de cavidades con ciertos niveles de profundidad ubicados en la sección transversal del cuello, y la forma de propagación de la grieta a aproximadamente 45°, lo cual da indicios de ser una fractura de tipo “Copa-Cono” (predominantemente dúctil).

Los alambres trefilados de 8 mm y 10 mm de diámetro, recocidos a las temperaturas de 550 °C y 650 °C observados en las **Figuras 4.50 y 4.51**, de igual manera se notó una fractura con tendencia de tipo dúctil, que presenta de forma más clara las características típicas de esta fractura a medida que aumenta la temperatura de recocido.

De esta manera las condiciones apreciadas en los alambres y en los alambres trefilados y tratados térmicamente reiteran que este material presenta una considerable capacidad para ser deformado en frío.

Es importante destacar que estos resultados se presentan de manera similar en los otros diámetros evaluados (6 mm, 7 mm y 9 mm), por lo que no se han considerado relevante presentar las imágenes.

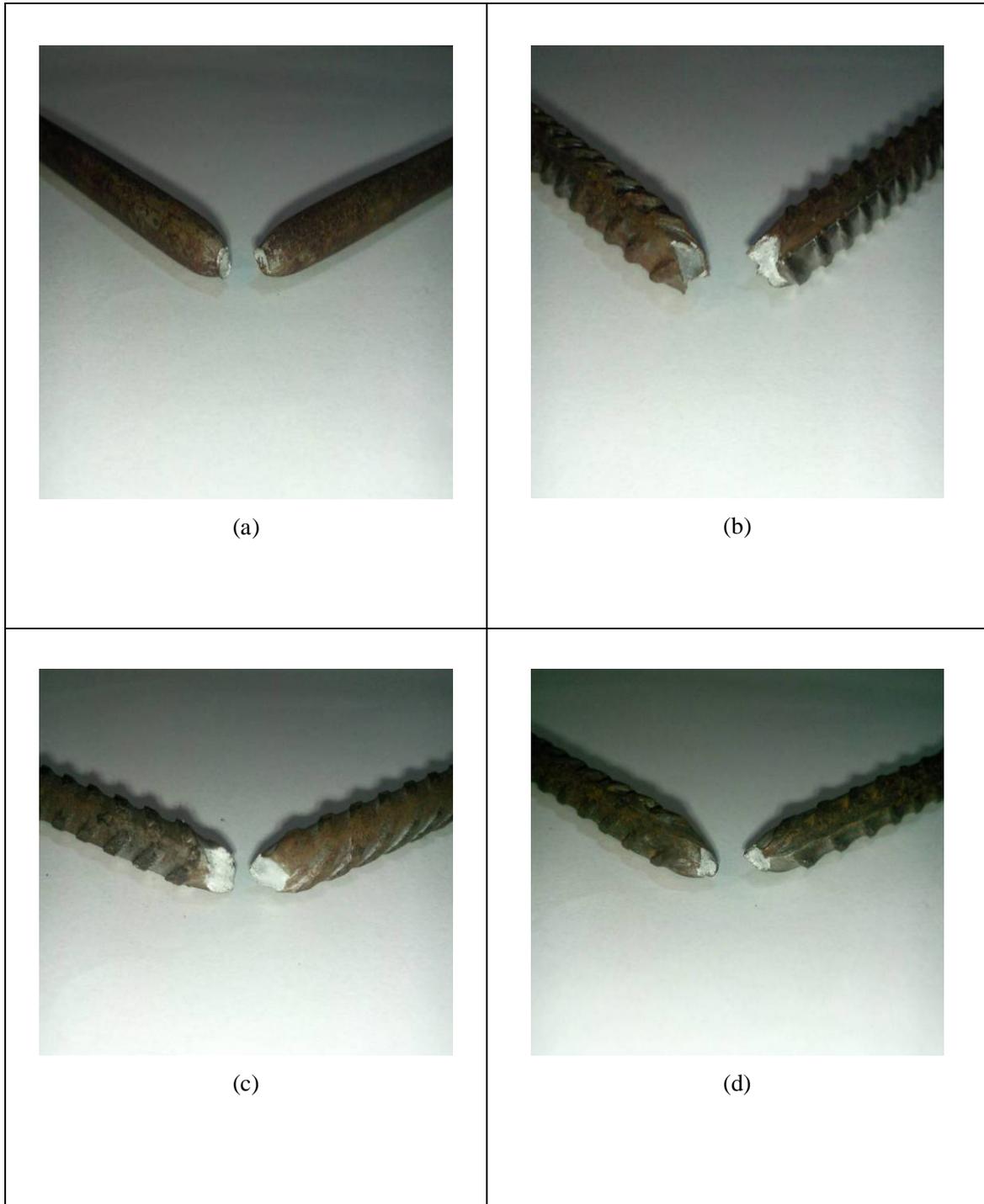


Figura 4.50. Fracturas de las Probeta a Tracción de Alambrón (a) y Alambre Trefilado de Diámetro 8 mm (b) y posterior Recocido 550 °C (c) y 650 °C (d).

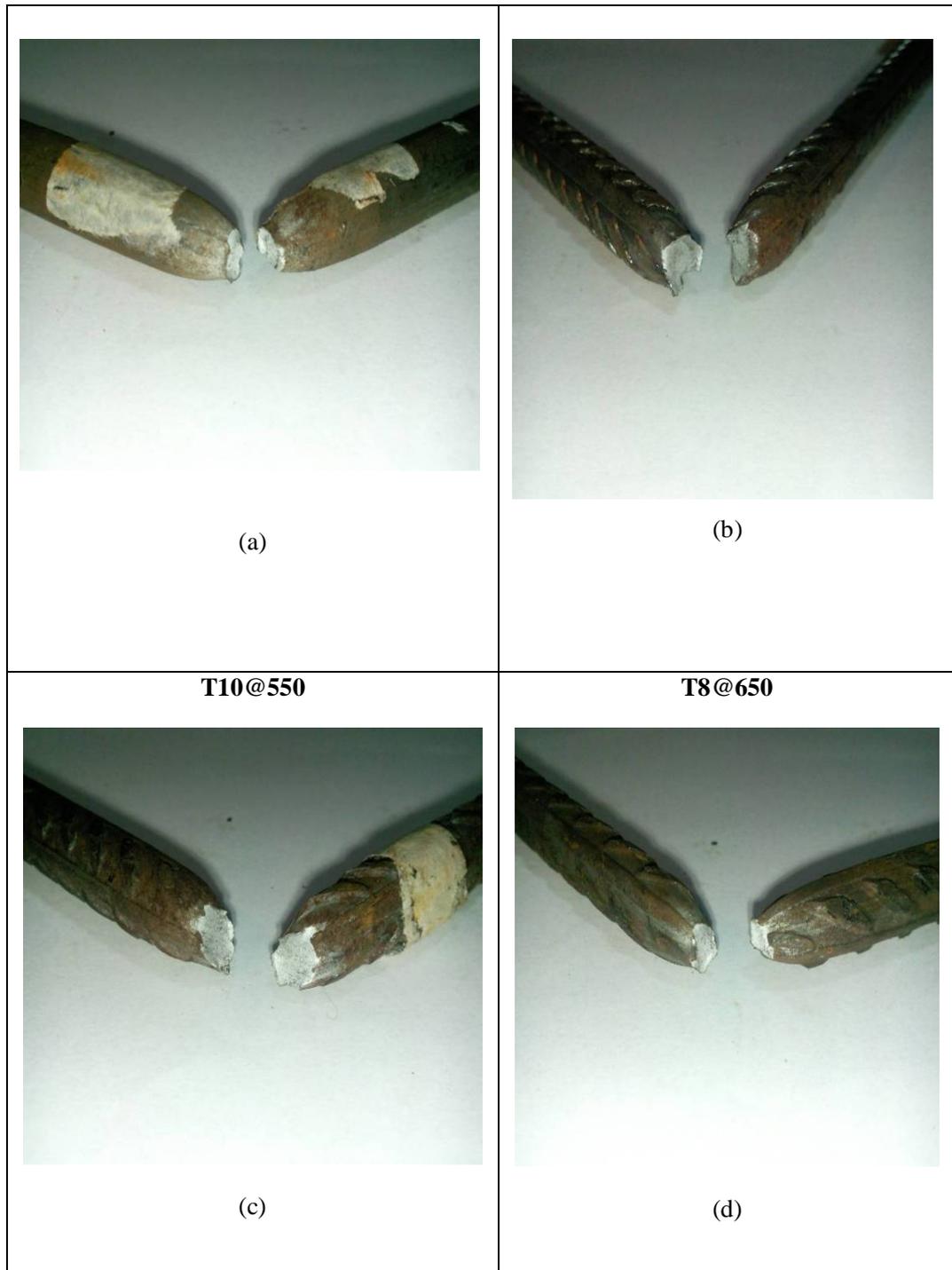


Figura 4.51. Fracturas de las Probeta a Tracción de Alambrón (a) y Alambre Trefilado de Diámetro 10 mm (b) y posterior Recocido 550 °C (c) y 650 °C (d).

Finalmente a través del ensayo de tracción, microscopía y macroscopía óptica del material evaluado, se logró observar:

El alambroón de acero de bajo carbono presenta una curva con un punto claro de fluencia, una amplia zona de plasticidad y un alto porcentaje de deformación, además presenta una forma de grano homogénea y sin ningún tipo de deformación, así como se aprecia la estricción y una considerable reducción de área en la forma de la fractura. Todos estos resultados son característicos de un material dúctil, que posee una gran capacidad para ser deformado en frío.

Por otra parte el alambre trefilado presenta una curva con un bajo porcentaje de plasticidad, con un alto valor de esfuerzo de fluencia y de rotura, pero con un bajo porcentaje de elongación, un grano alargado y una fractura sin una reducción de área aparente. Estos resultados son indicativos de un material frágil debido a la deformación en frío que ha experimentado.

En efecto, los alambres trefilados y tratados térmicamente, se logró restablecer las propiedades mecánicas (esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y porcentaje de alargamiento) antes de ser deformado en frío, al aplicarle un tratamiento térmico de recocido a temperaturas entre 550 °C y 575 °C durante 1 hora, en cualquiera de los diámetros evaluados, sin embargo a nivel de la microscopía se evidenció que todos las formas de granos aún se encuentra alargado, esto es indicativo que no se ha alcanzado la total recristalización del material, mientras que para las temperaturas por encima de 600 °C si se observa un grano similar al del alambroón aunque las propiedades mecánicas se encuentran por debajo de los parámetros mínimos establecidos en la norma para ser utilizado en la fabricación del alambre para refuerzo estructural.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las propiedades mecánicas (esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y porcentaje de deformación) obtenidas de los distintos diámetros de alambón evaluados, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 845, para ser utilizado como materia prima en la producción de alambre para refuerzo estructural.

Las propiedades mecánicas (esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y porcentaje de deformación) obtenidas por los distintos diámetros de alambre trefilado evaluado, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma COVENIN 505, para ser comercializado como alambre para refuerzo estructural.

En las dos condiciones de alambre trefilado que fueron tratadas térmicamente a 650 °C, se observa en su microscopía óptica con mayor claridad, una forma y tamaño de grano similar al del alambón, lo cual es indicativo que el material se encuentra dentro de la fase de recristalización, sin embargo, el esfuerzo de rotura obtenido se encuentra por debajo del parámetro mínimo establecido por la Norma COVENIN 845 para la producción del alambre trefilado.

Con el alambre trefilado en sus distintos diámetros y las condiciones de tratamiento térmico de recocido establecidos (temperatura entre 550 °C y 575 °C con tiempo constante de 1 h), se logra el restablecimiento de propiedades

mecánicas similares a las del alambión, aunque cabe destacar que para esta temperatura no se alcanza la recristalización total del material.

El estudio realizado permite establecer que la aplicación del trefilado y del tratamiento térmico de recocido de manera sucesiva en el alambión de 12 mm de diámetro, ofrece la posibilidad de utilizarlo como sustituto del alambión de 10 mm, 9 mm, 8 mm, 7 mm y 6 mm de diámetro y adicionalmente otros diámetros como 8.50 mm, 6.50 mm y 5.50 mm, lo cuales son utilizados para la producción del alambre para refuerzo estructural.

5.2 Recomendaciones

Evaluar el efecto del grano deformado sobre las propiedades mecánicas, al trefilar el alambre para refuerzo estructural que previamente ha sido tratado térmicamente a temperaturas entre 550 °C y 575 °C.

Realizar una simulación experimental y numérica que permita determinar las propiedades mecánicas al trefilar el alambre que previamente ha recibido un tratamiento térmico de recocido.

Evaluar el modo en que se ven afectadas las propiedades mecánicas a lo largo del alambre trefilado, cuando es tratado térmicamente en forma de rollo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Askeland D.R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. Editorial Thomson Editores. Madrid, España.
- [2] ASTM METALS HANDBOOK. (1990). Volume 1. Properties and selection, Iron, Steels and High Performance Alloys, Tenth Edition.
- [3] ASTM METALS HANDBOOK. (2006). Volume 4. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. Second Edition.
- [4] Belyakov, A., Sakai, T., Miu.ra, H., Kaibyshev, R., Tsuzaki, K (2002). Continuous recrystallization in austenitic stainless steel after large strain deformation. *Acta Materialia* 50.1547–1557
- [5] Callister JR, W. (1997). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.
- [6] Contieri, R.J., Zanotello, M. (2010). Caram. Recrystallization and grain growth in highly cold worked CP-Titanium. *Materials Science and Engineering A* 527. 3994–4000

[7] <http://aceroparalaconstruccion.wordpress.com/2008/08/06/alambron-de-acer/> (Julio – 2010)

[8] http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm (Julio - 2010)

[9] Kucher A. (1989). *Tecnología de los Metales*. Editorial Mir. Moscú, Rusia.

[10] Larouk, Z., Bouhalais, H.(2009). Recrystallization behavior of a low carbon steel wire. *Physics Procedia* 2.1223-1229.

[11] Li, H., Lin, J., Dean, T.A., Wenc, S.W., Bannister, A.C. (2009). Modelling mechanical property recovery of a linepipe steel in annealing process. *International Journal of Plasticity* 25. 1049–1065

[12] Martinez de-Guerenu, A., Arizti, F., Diaz-Fuentes, M., Gutierrez, I. (2004) Recovery during annealing in a cold rolled low carbon steel. Part I: Kinetics and microstructural characterization. *Acta Materialia* 52. 3657–3664

[13] Oguzhan, K., Halidun Kelestemur, M., Servet, Y. (2009). Improvement of Mechanical Properties of Reinforcing Steel Used in the Reinforced Concrete Structures. *JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL*. 16(3): 55-63

[14] Pero-Sanz, J.(2000). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. CIE Inversiones Editoriales. Cuarta Edición. España.

[15] Smith, W.F. (1998). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial Mc. Graw Hill. Segunda edición. España.

[16] Sturla, A.(2002) *Tratamiento Térmico de los Aceros*. Editorial Nueva Librería SRL. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina.

ANEXOS



Sidor C.A.
 Av. Esmeralda Edif. General Piso 7, Urb. Chuao, Caracas, Venezuela
 Teléfono: (0212) 600.38.05 - 600.36.02 - Apartado N° 11811
 Domicilio Fiscal: Autopista Pto Ordaz - Ciudad Bolívar Edif. Administrativo I, Piso 4,
 Zona Industrial Melánzias Pto Ordaz zona postal 6050
 Ciudad Guayana, Estado Bolívar, Venezuela
 Teléfonos: (66) (0286) 600.70.41 / Fax: (0286) 600.70.42 - Fax: (0286) 600.79.75
 Capital Social Bs.F.: 312.267.100,00 / RIF: J-00041391-6, NIT: 0059452449

CERTIFICADO DE CALIDAD

CERTIFICADO N° / CERTIFICATE N°	500147	GUÍA DE DESPACHO	505970	PEDIDO / SALES ORDER	451294	MEDIO DE TRANSPORTE / MEANS OF TRANSPORT	TERRESTRE	FECHA EMISIÓN / DATE OF ISSUE	09/12/2010
CLIENTE N° / CUSTOMER N°	103366	CLIENTE / CUSTOMER	SIDERURGICA DEL TURBIO, S.A.	ORDEN DE COMPRA / PURCHASE ORDER		CLIENTE FINAL / FINAL CUSTOMER		ORDEN DE COMPRA / PURCHASE ORDER	
DESCRIPCIÓN DE LA MERCADERÍA / GOODS DESCRIPTION	ALAMBRON								
POSICIÓN N° / ITEM N°	10	NORMA / NORMA	SAE J403	NORMA EQUIVALENTE	COVENIN 845	SUBNORMA / SUBNORMA		GRADO / DEGREE	1008
ESPESOR / THICKNESS	DIÁMETRO / DIAMETER		ANCHO / WIDTH		LONGITUD / LENGTH		RECUBRIMIENTO		
	10,000 mm								

ANÁLISIS QUÍMICO

COLADA / REZA	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
HEAT	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	50	30	50						
305994	C	7	34	18	6	79	1	2	8	1

SIDERURGICA DEL TURBIO, S.A.
 TURBIO
 16 DIC 2010
 PLANTA VALENCIA
 DESPACHO

Sidor C.A.
 Protección de Placas
 SALIDA DE MATERIA

Notas / Notes:
LOS RESULTADOS DE ENSAYOS HAN SIDO APROBADOS POR PERSONAL AUTORIZADO DEL LABORATORIO.
 Leyenda: C-QUÍMICA DE COLADA

Responsible de Calidad
 Quality Responsible

Certificamos que el material aquí descrito ha sido inspeccionado y ensayado por personal autorizado independiente del área de manufactura, con resultados satisfactorios en concordancia con la norma arriba descrita.
 We here by certify that the material described here in has been tested and inspected by authorized personnel independent of the manufacturing department with satisfactory results, in accordance with requirements of the above specification

SIDOR

Sidor C.A.
 Av. La Estancia, Edif. General, Piso 7, Urb. Chuao, Caracas, Venezuela
 Telefonos: (0212) 600.38.00 - 600.38.02 - Aparado N° 11511
 Domicilio Fiscal: Autopista Pto Ordaz - Cdad Bolivar Edif. Administrativo 1, Piso 4,
 Zona Industrial Matanzas Pto Ordaz zona postal 8050
 Ciudad Guayana, Estado Bolivar, Venezuela
 Telefonos: (68) (0286) 600.70.41 / Fax: (0286) 600.70.42 - Fax: (0286) 600.79.75
 Papeal Social Bs.F.: 318.267.100.007 RIF.: J-00041391-6, NIT.: 0005452449

Hoja/Page 1 de/of 1
 ORIGINAL

CERTIFICADO DE CALIDAD

CERTIFICADO N° / CERTIFICATE N°	524014	GUIA DE DESPACHO	528856	PEDIDO / SALES ORDER	453815	MEIO DE TRANSPORTE / MEANS OF TRANSPORT	TERRESTRE	FECHA EMISION / DATE OF ISSUE	28/03/2011
CLIENTE N° / CUSTOMER N°	103366	CLIENTE / CUSTOMER	SIDERURBEICA DEL TURBIO, S.A.			CLIENTE FINAL N° / FINAL CUSTOMER N°		CLIENTE FINAL / FINAL CUSTOMER	
DESCRIPCION DE LA MERCADERIA / GOODS DESCRIPTION	ALAMBROON								
POSICION N° / ITEM N°	10	NORMA / NORM	SAE J403			NORMA EQUIVALENTE	COVENIN 845	SUBNORMA / SUBNORM	
ESPESOR / THICKNESS	9,000 mm		DIAMETRO / DIAMETER	9,000 mm		LONGITUD / LENGTH		GRADO EQUIVALENTE	1008
			ANCHO / WIDTH					GRADO / DEGREE	1008
								RECURRIMIENTO	

ANALISIS QUIMICO

COILADA / PREZA N° HEAT	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cu %	Ni %	Gr %	Mo %	Al %	ANALISIS QUIMICO	
											Analisis	Analisis
115573	5	34	10	4	71	2	0	11	0	1		
115634	5	33	13	4	75	6	3	11	0	2		
315664	6	33	18	5	66	3	3	16	0	2		

SIDOR CA
 Protección de Planta
 SALIDA DE MATERIA

Fecha: 28/03/2011
 Verificación: [Firma]

ℓ

Sidor CA
 Dirección: Caracas, Venezuela
 Calle: [Firma]
 Teléfono: [Firma]

Notas / Notes:
 LOS RESULTADOS DE ENSAYOS HAN SIDO APROBADOS POR PERSONAL AUTORIZADO DEL LABORATORIO.

Leyenda: C-QUIMICA DE COLADA

Certificamos que el material aquí descrito ha sido inspeccionado y ensayado por personal autorizado independiente del área de manufactura, con resultados satisfactorios en concordancia con la norma arriba descrita.
 We hereby certify that the material described here in has been tested and inspected by authorized personnel independent of the manufacturing department with satisfactory results in accordance with requirements of the above specification

Responsable de Calidad
 Quality Responsible



Sidor C.A.
 7ma. Estación Edif. General, Piso 7, Urb. Chuao, Caracas, Venezuela
 Teléfonos: (0212) 600.3800 - 600.3602 - Aparado N° 11511
 Domicilio Fiscal: Autopista Pto Ordaz - Cdad Bolívar Edif. Administrativo 1, Piso 4,
 Zona Industrial Melanzas Pto. Ordaz zona postal 8050
 Ciudad Guayana, Estado Bolívar, Venezuela
 Teléfonos: (58)(0286) 600.70.41 / Fax: (0286) 600.70.42 - Fax: (0286) 600.79.75
 Capital Social BS.F.: 3.18.267.100.00 / RIF.: J-00041391-6, NIT.: 000645249

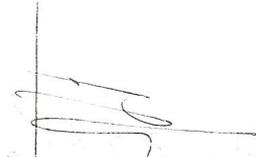
CERTIFICADO DE CALIDAD

CERTIFICADO N° / CERTIFICATE N°	GUÍA DE DESPACHO	PREDDO / SALES ORDER	MEDIO DE TRANSPORTE / MEANS OF TRANSPORT	FECHA EMISIÓN / DATE OF ISSUE
515615	520922	452049	TERRESTRE	24/02/2011
CLIENTE N° / CUSTOMER N°	CLIENTE / CUSTOMER	CLIENTE FINAL / FINAL CUSTOMER		
103366	SIDERURGICA DEL TURBIO, S.A.	ENERO		
DESCRIPCIÓN DE LA MERCADERÍA / GOODS DESCRIPTION	ORDEN DE COMPRA / PURCHASE ORDER			
ALAMBRO	GRADO / DEGREE			
POSICIÓN N° / ITEM N°	NORMA / NORM	SUBNORMA / SUBNORM	RECURRIMIENTO	
10	SAE J403	COVENIN 845	1008	
ESPESOR / THICKNESS	DIAMETRO / DIAMETER	ANCHO / WIDTH	LONGITUD / LENGTH	
	8,000 mm			

ANÁLISIS QUÍMICO

COLADA / PIEZA	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
HEAT	$\times 10E2$	$\times 10E2$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$	$\times 10E3$
Min	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	7	32	22	4	68	5	2	12	1	1
115434	C	7	32	22	4	68	5	2	12	1

Sidor C.A.
 Protección de Planta
SALIDA DE MATERIAL

Fecha: _____
 Verificado por: 

Notas / Notes:
LOS RESULTADOS DE ENSAYOS HAN SIDO APROBADOS POR PERSONAL AUTORIZADO DEL LABORATORIO.
 Leyenda: C-QUÍMICA DE COLADA

Responsible de Calidad
 Quality Responsible

Responsible de Calidad
 Quality Responsible

SIDOR

Sidor C.A.
Av. U.E. Estrella Edif. General Pisos 7 Uth. Chuao, Caracas, Venezuela
Teléfonos: (0212) 600.38.08 - 600.36.02 - Apartado N° 11511

Domicilio Fiscal: Autopista Pto Ordaz - Ciudad Bolívar Edif. Administrativo I, Piso 4,
Zona Industrial Matanzas Pto Ordaz zona postal 8050
Ciudad Guayana Estado Bolívar, Venezuela
Teléfono: (0286) 800.76.42 - Fax: (0286) 800.79.75
Teléfono: (0286) 800.79.75 - E-mail: sidor@sidor.com.ve
Capital Social Bs.F.: 318.287.100,00 / RIF.: J-00041391-6, NIT.: 0035462449

CERTIFICADO DE CALIDAD

CERTIFICADO N° / CERTIFICATE N°: 525138	REGIÓN / SALES ORDER: 454770	MEDIO DE TRANSPORTE / MEANS OF TRANSPORT: TERRESTRE	FECHA EMISIÓN / DATE OF ISSUE: 31/03/2011
CLIENTE N° / CUSTOMER N°: 103366	CLIENTE / CUSTOMER: SIDERURGICA DEL TURBIO, S.A.	CLIENTE FINAL N° / FINAL CUSTOMER N°:	CLIENTE FINAL / FINAL CUSTOMER:
DESCRIPCIÓN DE LA MERCADERÍA / GOODS DESCRIPTION: ALAMBRO	NORMA EQUIVALENTE / EQUIVALENT STANDARD: COVENIN 845	ORDEN DE COMPRA / PURCHASE ORDER: JUNIO	GRADO EQUIVALENTE / EQUIVALENT GRADE: 1008
POSICIÓN N° / ITEM N°: 10	NORMA / NORMA: SAE J403	GRADO / DEGREE: 1008	RECLUBIMIENTO: 1008
ESPAESOR / THICKNESS: 7,000 mm	ANCHO / WIDTH: 7,000 mm	LONGITUD / LENGTH:	

ANALISIS QUIMICO

COQUETE / PIEZA / HEAT	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	x10E2	x10E3								
115637	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
315672	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0

Sidor C.A.
Socio-Responsable
DE CALIDAD
Firma: _____
Nombre: _____

Notes / Notas: 020374 20060806;00900001335901001;562288
LOS RESULTADOS DE ENSAYOS HAN SIDO APROBADOS POR PERSONAL AUTORIZADO DEL LABORATORIO.
Leyenda: C: QUIMICA DE COLADA

Certificamos que el material descrito ha sido inspeccionado y ensayado por personal autorizado independiente del área de manufactura, con resultados satisfactorios en concordancia con la norma arriba descrita.
We hereby certify that the material described here in has been tested and inspected by authorized personnel independent of the manufacturing department with satisfactory results in accordance with requirement of the above specification.

Responsible de Calidad
Quality Responsible



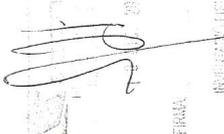
Sidor C.A.
 Av. La Estancia, Edif. General, Piso 7, Urb. Chusao, Caracas, Venezuela
 Telefonos: (0212) 600.38.05 - 600.36.02 - Apartado N° 11511
 Domicilio Fiscal: Autopista Pto. Ordaz - Cdad. Bolívar Edif. Administrativo I, Piso 4,
 Zona Industrial Manzanas Pto. Ordaz zona postal 8050
 Caracas, Venezuela
 Telefonos: (69) (02869) 600.70.41, Fax: (0286) 600.70.42 - Fax: (0286) 800.79.75
 Capital Social Bs.F. 3.182.267.100,00 / RIF.: J-00041391-6, NIT.: 0005432449

CERTIFICADO DE CALIDAD

CERTIFICACION / CERTIFICATION N°	500031	GUIA DE DESPACHO	505856	FECHAS DE TRANSPORTE / MEANS OF TRANSPORT	TERRESTRE	FECHA EMISION / DATE OF ISSUE	09/12/2010
CLIENTE N° / CUSTOMER N°	103366	CLIENTE / CUSTOMER	SIDERURGICA DEL TURBICO, S.A.	CLIENTE FINAL N° / FINAL CUSTOMER N°		CLIENTE FINAL / FINAL CUSTOMER	
DESCRIPCION DE LA MERCADERIA / GOODS DESCRIPTION	ALAMBRO						
POSICION N° / ITEM N°	10	SAE / SAE	4403	NORMA EQUIVALENTE	COVENINI 845	SUBNORMA / SUBNORMA	
ESPESOR / THICKNESS		DIAMETRO / DIAMETER	6,000 mm	ANCHO / WIDTH		LONGITUD / LENGTH	
						GRADO EQUIVALENTE	1008
						GRADO / DEGREE	1008
						DICIEMBRE	
						ORDEN DE COMPRA / PURCHASE ORDER	
						RECUBRIMIENTO	

ANALISIS QUIMICO

CC/ADA / PIEZA	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Al		
HEAT	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Min	0	30	0	0	0	0	0	0	0		
Max	10	50	30	50	50	3	12	0	2		
306369	C	6	31	6	4	67	7	3	12	0	2


Sidor C.A.
 Produccion de Plomo
SALIDA DE MATERIAL
 09/12/10 16:30
 Sidor C.A.

Notes / Notas:
LOS RESULTADOS DE ENSAYOS HAN SIDO APROBADOS POR PERSONAL AUTORIZADO DEL LABORATORIO.
 Leyenda: C: QUIMICA DE COLADA

Responsible de Calidad
 Quality Responsible

Sidor C.A.
 Director, Gestion de Operaciones y Logística
 Dpto. Transportes (Logística)
 Sector Logística (Transporte)
 Dpto. de Producción (Producción)
 Dpto. de Mantenimiento (Mantenimiento)

Certificamos que el material aquí descrito ha sido inspeccionado y aceptado por personal capacitado independiente del área de manufactura, con estándares aplicables en concordancia con la norma arriba descrita.
 We hereby certify that the material described here in has been tested and inspected by authorized personnel independent of the manufacturing department with satisfactory results in accordance with requirements of the above specification.