

**EFFECTO DEL TRATAMIENTO TERMOMECAÁNICO EN LA
MICROESTRUCTURA DE UN LATÓN C-385**

**AUTOR
DANIEL FRANCISCO PARDO GARCÍA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA
TUNJA 2018**

**EFFECTO DEL TRATAMIENTO TERMOMECAÁNICO EN LA
MICROESTRUCTURA DE UN LATÓN C-385**

DANIEL FRANCISCO PARDO GARCÍA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
METALÚRGICO**

**DIRECTOR
FABIO RAÚL PÉREZ VILLAMIL
INGENIERO METALÚRGICO, MSC. METALURGIA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA
TUNJA 2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 15 de mayo del 2018

La autoridad científica de la facultad de ingeniería reside en ella misma, por tanto, no responde por las opiniones expresadas en este proyecto de investigación.

Se autoriza su uso y reproducción indicando su origen.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a toda mi familia, por siempre creer en mí y por todo su apoyo incondicional, en especial a mis padres Yuner Pardo y Guillermina García quienes se han encargado de educar una persona de bien, que siempre ha querido ser profesional para ampliar su conocimiento y así contribuir de una u otra manera a mejorar la calidad de vida de su amada familia; gracias padres por ser esas personas que siempre están ahí, apoyándome emocional y económicamente, sin ustedes no sería nadie y no creo que hubiera podido lograr esto, ustedes son mi gran ejemplo y motor de vida LOS AMO. También agradecer y reconocer el gran esfuerzo que siempre ha hecho mi hermana para que yo pueda cumplir este sueño TE QUIERO MUCHO, a mi novia que fue un ángel que Dios puso en mi camino para alegrarme la vida y encaminarme hacia el éxito TE AMO.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente al director de mi tesis el ingeniero Fabio Raúl Pérez Villamil por la paciencia y apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de grado, gracias por sacrificar su tiempo y algunos días de descanso.

Gracias a mis amigos que siempre están ahí cuando los necesito, en especial a mis grandes amigos y compañeros de carrera universitaria Cristian Cruz, Edward Rodríguez y Brian Rativa. Gracias al ingeniero Pedro Jaimes por su apoyo y amistad, gracias a la escuela de ingeniería metalúrgica a todos sus docentes y directivos porque de una u otra manera cada uno de ellos ha contribuido en mi formación profesional y personal. Y por último, agradecer a la vida por haberme llevado a esta gran institución de educación superior UPTC, Y a este hermoso departamento de Boyacá lugar donde conocí, gente que nunca voy a olvidar y amigos que no dejare de frecuentar.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
1.1 METALES Y ALEACIONES NO FERROSAS.....	17
1.2 ALEACIONES DE COBRE.....	17
1.3 LATÓN.....	17
1.3.1 Propiedades del latón.....	18
1.3.2 Aplicaciones del latón.....	18
1.3.3 Temperatura de recristalización del latón.....	19
1.3.4 Latón C385.....	19
1.4 TRATAMIENTOS DE LOS MATERIALES PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES.....	21
1.4.1 Tratamientos térmicos.....	21
1.4.2 Tratamientos termoquímicos.....	22
1.4.3 Tratamientos mecánicos.....	23
1.4.4 Tratamientos superficiales.....	23
1.4.5 Tratamientos termomecánicos.....	24
1.5 LAMINACIÓN.....	26
1.5.1 Laminación en caliente.....	26
1.5.2 Laminación en frío.....	26
1.5.3 Unión por laminación acumulada (ARB).....	27
1.5.4 Laminación en caliente de productos planos.....	28
1.6 METALOGRAFÍA.....	28
1.6.1 Micrografía.....	29
1.6.2 Pulido.....	30
1.6.3 Ataque químico.....	31
1.6.4 Observación microscópica.....	32
1.7 TAMAÑO DE GRANO.....	33
1.7.1 Métodos para la medición del tamaño de grano.....	33
1.8 DUREZA.....	35
1.8.1 Dureza Rockwell.....	36
1.8.2 Dureza Brinell.....	36
1.8.3 Microdureza Vickers.....	37

2. METODOLOGÍA.....	38
2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	38
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS LABORATORIOS DONDE SE DESARROLLÓ EL TRABAJO DE GRADO.....	39
2.3 SELECCIÓN Y ALISTAMIENTO DEL MATERIAL	39
2.4 CALENTAMIENTO Y DEFORMACIÓN POR LAMINACIÓN	39
2.5 CARACTERIZACIÓN METALOGRÁFICA.....	45
2.5.1 Pulido.....	45
2.5.2 Ataque químico	46
2.5.3 Toma fotomicrografías.....	46
2.6 ENSAYOS ADICIONALES.....	47
2.6.1 Prueba microdureza	47
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	49
3.1 FASES PRESENTES EN EL LATON C-385 A LAS DIFERENTES TEMPERATURAS DE TRABAJO.....	49
3.2 TAMAÑO DE GRANO.....	55
3.3 MICRODUREZA VICKERS	67
4. CONCLUSIONES.....	69
5. RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFIA.....	71
ANEXOS.....	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de fases aleación C-385 con 37% Zn	20
Figura 2. Curva enfriamiento aleación C-385 con 37% Zn	20
Figura 3. Esquema de una matriz de ECAP	25
Figura 4. Dibujo esquemático de la técnica de procesamiento por torsión a alta presión	25
Figura 5. Esquema del proceso ARB.	27
Figura 6. Plantilla tamaño de grano procedimiento de comparación	34
Figura 7. Plantilla tamaño de grano procedimiento planimétrico	34
Figura 8. Plantilla tamaño de grano procedimiento de intersección	35
Figura 9. Calculo de Microdureza Vickers	37
Figura 10. Metodología desarrollo del proyecto	38
Figura 11. Ubicación Laboratorios metalurgia	39
Figura 12. Laminadora tipo duo y mufla Labtech	41
Figura 13. Temperatura de trabajo 650°C	42
Figura 14. Temperatura de trabajo 750°C	42
Figura 15. Temperatura de trabajo 850°C	43
Figura 16. Probetas listas para pasar por la laminadora	43
Figura 17. Probeta para laminación	44
Figura 18. Probeta pasando por la laminadora tipo dúo	44
Figura 19. Pulidora mecánica de disco	45
Figura 20. Microscopio óptico XJX-300	46
Figura 21. Microscopio metalográfico invertido (Olympus GX-41)	47

Figura 22. Microdurómetro digital modelo QV-1000DM	48
Figura 23. Resultado prueba dureza probeta base	48
Figura 24. Diagrama de fases aleación C-385 con 37% de Zinc	49
Figura 25. Micrografía longitudinal 1000X probeta base	50
Figura 26. Micrografía longitudinal a 650°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X	50
Figura 27. Micrografía longitudinal a 650°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X	51
Figura 28. Micrografía longitudinal a 650°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X	51
Figura 29. Micrografía longitudinal a 750°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X	52
Figura 30. Micrografía longitudinal a 750°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X	52
Figura 31. Micrografía longitudinal a 750°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X	53
Figura 32. Micrografía longitudinal a 850°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X	53
Figura 33. Micrografía longitudinal a 850°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X	54
Figura 34. Micrografía longitudinal a 850°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X	54
Figura 35. Micrografía longitudinal probeta base 500X	56
Figura 36. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 2 pases por el tren de laminación 500X	57
Figura 37. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 3 pases por el tren de laminación 500X	58

Figura 39. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 6 pases por el tren de laminación 500X	59
Figura 40. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 2 pases por el tren de laminación 500X	60
Figura 41. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 3 pases por el tren de laminación 500X	61
Figura 42. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 6 pases por el tren de laminación 500X	62
Figura 43. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 2 pases por el tren de laminación 500X	63
Figura 44. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 3 pases por el tren de laminación 500X	64
Figura 45. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 6 pases por el tren de laminación 500X	65

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas promedio del latón	18
Tabla 2. Temperaturas de recristalización y de fusión para varios metales comunes	19
Tabla 3 (a). Composición química latón C385	19
Tabla 3 (b). Composición química real del latón C-385	20
Tabla 4. Reactivos de ataque para examen microscópico	32
Tabla 5. Temperaturas y número de pases de trabajo	40
Tabla 6. Tamaño de grano probeta base	56
Tabla 7. Tamaño de grano probeta 650°C y 2 pases por el tren de laminación	57
Tabla 8. Tamaño de grano probeta 650°C y 3 pases por el tren de laminación	58
Tabla 9. Tamaño de grano probeta 650°C y 6 pases por el tren de laminación	59
Tabla 10. Tamaño de grano probeta 750°C y 2 pases por el tren de laminación	60
Tabla 11. Tamaño de grano probeta 750°C y 3 pases por el tren de laminación	61
Tabla 12. Tamaño de grano probeta 750°C y 6 pases por el tren de laminación	62
Tabla 13. Tamaño de grano probeta 850°C y 2 pases por el tren de laminación	63
Tabla 14. Tamaño de grano probeta 850°C y 3 pases por el tren de laminación	64
Tabla 15. Tamaño de grano probeta 850°C y 6 pases por el tren de laminación	65
Tabla 16. Tamaño de grano	66

Tabla 17. Resultados microdureza realizada en la UPTC	67
Tabla 18. Resultados microdureza realizada en el SENA	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato toma de durezas	73
ANEXO B. Prueba microdureza SENA CME	78
ANEXO C. Proceso tratamiento termomecánico	89

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Tamaño de grano (G) vs T° y # de pases por el tren de laminación.	66

RESUMEN

TÍTULO: EFECTO DEL TRATAMIENTO TERMOMECAÁNICO EN LA MICROESTRUCTURA DE UN LATÓN C385.

Los metales no ferrosos son aquellos que en su composición química contienen muy bajas cantidades de hierro o no contienen hierro, y poseen un elemento diferente al hierro como elemento principal; el latón es una aleación cobre-zinc principalmente, con presencia de otros elementos en mínimas proporciones, los cuales aportan al mejoramiento de sus propiedades mecánicas. El latón C385 es un metal no ferroso, adecuado para trabajo en caliente y de maquinado libre.

Este trabajo de grado, tiene por objeto realizar un tratamiento termomecánico a un latón C385, con el fin de evaluar el efecto que tiene dicho tratamiento en la microestructura del material y establecer la temperatura óptima de transformación microestructural del mismo, variando las condiciones experimentales de las probetas, como lo son la temperatura y el número de pases de cada una por la laminadora tipo dúo de laboratorio.

El latón, a las diferentes temperaturas, respondió a la deformación y no se presentaron grietas ni defectos de laminación. La dureza obtenida, de acuerdo con los pases, no sufrió alteraciones de consideración y cambio de 121.43 HV a 121.49HV, el tamaño de grano (G) se modificó en las diferentes probetas respecto a la probeta de comparación, en unas aumentando su tamaño y en otras disminuyendo, siendo el grano más fino el que obtuvo la probeta tratada a 850°C y 2 pases por el tren de laminación con un valor de 15,58 respecto a 8,64 de la probeta base. .

Palabras claves: Latón C385, trabajo en caliente, tratamiento termomecánico, microestructura, transformación microestructural, temperatura, numero de pases por la laminadora.

ABSTRACT

Title: Effect of thermomechanical treatment on the microstructure of a C385 brass.

Non-ferrous metals are those that in their chemical composition contain very low amounts of iron or do not have iron and they have a different element to iron as the main element, the brass is a copper-zinc alloy mainly although it has other elements in minimal proportions, these contribute to improve their mechanical properties. The C385 brass is a non-ferrous alloy suitable for work in hot and free machining.

This degree work aims to make a thermomechanical treatment of a C385 brass with the purpose of evaluate the effect that this treatment has in the material microstructure and set up the optimal microstructural transformation temperature of the C385 brass, varying the working conditions of the test tubes like temperature and the number of each one by the lauder type duo laboratory.

The brass in the different temperatures responded to the deformation and there were no cracks or lamination defects. The hardness obtained according to the passes did not suffer alterations of consideration and change from 121.43 HV, the grain size (G) was modified in the different specimens with respect to the comparison specimen, in some increasing its size and in others decreasing, the finest grain being the one that obtained the treated specimen at 850 ° c and 2 passes through the train of lamination with a value of 15.58 with respect to 8.64 of the base specimen.

Key words: C385 brass, hot work, thermomechanical treatment, microstructure, microstructural transformation, temperature, number of passes through the laminator.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se basó en el estudio del comportamiento microestructural de un latón C385, al someterlo a un tratamiento termomecánico.

Los materiales no ferrosos, son aquellos en los cuales el metal base no es el hierro, pues si lo contienen, lo es en cantidades mínimas. El latón es una aleación no ferrosa básicamente de cobre y zinc; es la aleación a base de cobre de mayor uso. El latón C385 o latón plomado, como se le conoce, permite un mecanizado 100%, lo que permite su aplicación a procesos termomecánicos y de trabajado en caliente; igualmente se lo denomina de maquinado libre, por su excelente comportamiento en la obtención de piezas por arranque de viruta.

Una vez efectuado el tratamiento termomecánico en el latón C385, se estudió el comportamiento del material en dicho proceso, se evaluaron las modificaciones microestructurales (tamaño de grano) y se estableció su temperatura óptima de transformación microestructural. Para tal fin, se utilizó la siguiente metodología de trabajo: Selección y alistamiento del material, calentamiento y deformación por laminación, estudio metalográfico, toma de fotomicrografías, ensayos, procesos adicionales, y análisis de resultados.

Esta metodología garantizó operaciones técnicas y confiables, se tuvo un control muy estricto y exacto de las condiciones de calentamiento y pases de cada probeta por el laminador tipo dúo (ubicado en los laboratorios de metalurgia de la UPTC). Con este trabajo se abre un espacio de investigación, que abarca el procesamiento metalmeccánico de materiales no ferrosos por tratamientos termomecánicos, y si es el caso, de la deformación por laminación acumulada.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

1.1 METALES Y ALEACIONES NO FERROSAS

Los materiales no ferrosos, son aquellos que poseen algún elemento diferente al hierro como elemento principal. El grueso de los materiales no ferrosos está formado por las aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, níquel, estaño, plomo y zinc. Otros metales y aleaciones no ferrosas que se utilizan con menor frecuencia incluyen cadmio, molibdeno, cobalto, zirconio, berilio titanio, tantalio, los metales preciosos como oro, plata y el grupo platino.¹

1.2 ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre comerciales más importantes, se pueden clasificar como sigue según su porcentaje en peso:

-Latones: Aleaciones de cobre y zinc.

#Latones alfa: Aleaciones que contienen hasta 36% de zinc.

*Latones amarillos alfa: 20 a 36% de zinc.

*Latones rojos: 5 a 20% de zinc.

#Latones alfa más beta: 54 a 62% de cobre.

-Bronces: Aleaciones de cobre con hasta 12% de elemento de aleación.

#Bronces al estaño.

#Bronces al silicio.

#Bronces al aluminio.

#Bronces al berilio.

-Cuproníqueles: Aleaciones de cobre y níquel.

-Platas níquel: Aleaciones de cobre, níquel y zinc.¹

1.3 LATÓN

El latón es una aleación de cobre y zinc, de múltiples aplicaciones industriales. Este material es fácil de mecanizar, grabar y fundir. Es resistente a la oxidación, a las condiciones salinas y es dúctil, por lo que puede transformarse por varios procesos.²

¹SYDNEY H. AVNER. Introducción a la metalurgia física. Parte XII. Pág. 457, 460, 461.

²EMAC COMPLEMENTOS S.L.2010. Ficha técnica latón. Emac América Iic. España.

1.3.1 Propiedades del latón

El latón generalmente presenta las siguientes propiedades físicas y mecánicas, que le permiten ser considerado después del acero como un material de ingeniería y en especial con aplicaciones ligadas a comportamientos químicos moderados en ambientes corrosivos. La tabla 1 presenta las principales propiedades de la aleación latón C385.

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas promedio del latón.

Mecánicas

Ductilidad	Elevada
Resistencia mecánica	Buena
Resistencia a tracción	350 Mpa (N/mm ²)
Resistencia a la corrosión	Elevada
Límite de elasticidad (0,2%)	240 Mpa (N/mm ²)
Resistencia a compresión	120 Mpa (N/mm ²)
Elongación	20%
Deformación	100% en flexión en caliente 300% en flexión en frío
Resiliencia	Aprox. 3 daj/cm ³

Físicas

Densidad	8,4 g/cm ³
Resistencia al fuego	NO según UNE 23-727-90 ni combustible frente a acción térmica
Propiedades antibacterianas	Sí
Temperatura de trabajo	-100/+200°C
Reciclable	Sí

Fuente. El autor a partir de Emac América²

1.3.2 Aplicaciones del latón

El latón es un material de múltiples usos en la industria. Sus buenas propiedades físico-mecánicas y su característico color, hacen que se use en distintas aplicaciones, como por ejemplo, para la fabricación de bisutería, de artículos de decoración, productos industriales, piezas de uso naval, instrumentos musicales, etc.

El latón, en contacto con el aire de forma natural, adquiere un color marrón apagado. Para su limpieza, existen varios productos en el mercado que se pueden utilizar, si bien en algunas ocasiones, puede hacerse con ácido cítrico natural frotando con pulpa de limón con sal. Algunos productos son:

-Lustradores: Mantienen el brillo del latón, estos productos no dejan olor en las manos y son muy sencillos de utilizar. Para su aplicación, se humedece un paño con el producto y se frota la pieza hasta que se haya eliminado la capa superficial decolorada y a continuación se pasa un paño seco.

-Abrillantadores: Recuperan el brillo de las piezas de latón parcialmente oxidadas. Dado que pueden ennegrecer las manos, es necesario seguir las instrucciones detalladas de utilización del producto. Existen versiones con alto contenido de silicio que son más efectivas que las habituales.

-Desoxidantes: Recuperan piezas muy oxidadas o engrasadas. Son productos bastante fuertes y corrosivos cuyas instrucciones de uso debe seguirse de forma estricta. Se recomienda el uso combinado de lana de acero fina para ayudar a desincrustar, procurando no ejercer mucha presión para no rayar el material. Tras la aplicación del producto se puede aplicar abrillantador o lustrador para un mejor acabado.

-Barnices: Son productos específicos para estos metales que recubren el material para evitar el deterioro de su aspecto por oxidación.²

1.3.3 Temperatura de recristalización del latón

La temperatura de recristalización, es la temperatura a la cual, los granos de la microestructura comienzan a transformarse en nuevos granos sin dislocación.³ En la tabla 2, se observa la comparación del latón, con otros materiales relacionados con la temperatura de recristalización, esta propiedad permite a este material ser usado en procesos de deformación y la obtención de piezas por esa vía.

Tabla 2. Temperaturas de recristalización y de fusión para varios metales comunes.

<i>Metal</i>	<i>Recrystallization Temperature</i>		<i>Melting Temperature</i>	
	<i>°C</i>	<i>°F</i>	<i>°C</i>	<i>°F</i>
Lead	-4	25	327	620
Tin	-4	25	232	450
Zinc	10	50	420	788
Aluminum (99.999 wt%)	80	176	660	1220
Copper (99.999 wt%)	120	250	1085	1985
Brass (60 Cu-40 Zn)	475	887	900	1652
Nickel (99.99 wt%)	370	700	1455	2651
Iron	450	840	1538	2800
Tungsten	1200	2200	3410	6170

Fuente. CALLISTER, William. "Materials science and Engineering an introduction" John Wiley & Sons. Inc. México, 2007.

1.3.4 Latón C385

Latón de fácil maquinado, utilizado para aplicaciones donde la producción en serie requiere de un material muy maquinable. Presenta resistencia a la corrosión entre adecuada y excelente.²

Tabla 3 (a). Composición química relativa del latón C-385 para su ubicación en el diagrama de fases.

Cu	63%
Zn	37%

Fuente. El autor a partir de EMAC COMPLEMENTOS S.L.2010. Ficha técnica latón. Emac América Iic. España.

²EMAC COMPLEMENTOS S.L.2010. Ficha técnica latón. Emac América Iic. España.

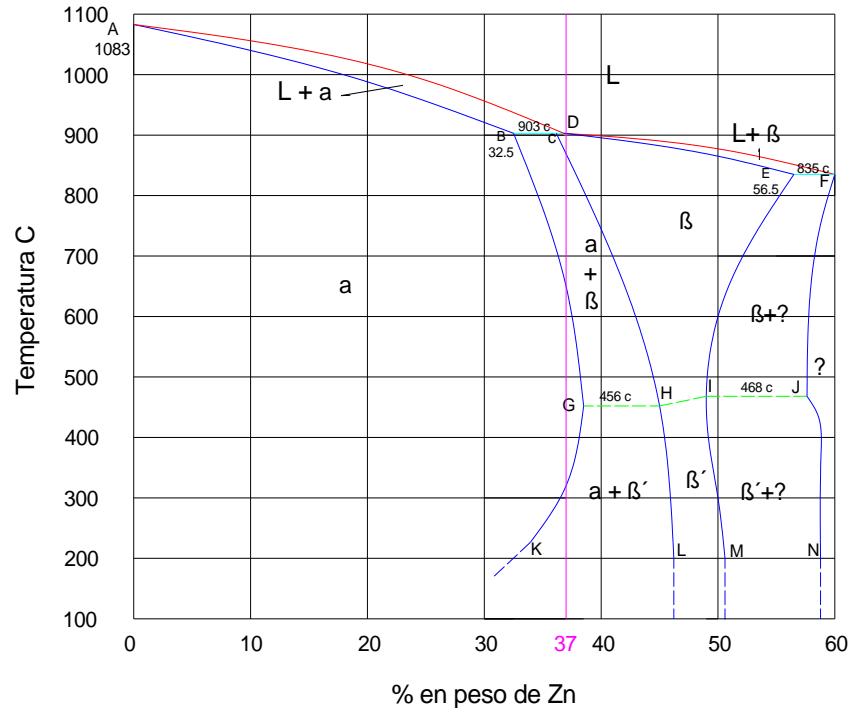
³. CALLISTER, William. "Materials science and Engineering an introduction" John Wiley & Sons. Inc. México, 2007

Tabla 3 (b) Composición química real del latón C-385

Cu	60-63%
Zn	35.5%
Pb	2.5-3.7%
Fe	0.35% máx.

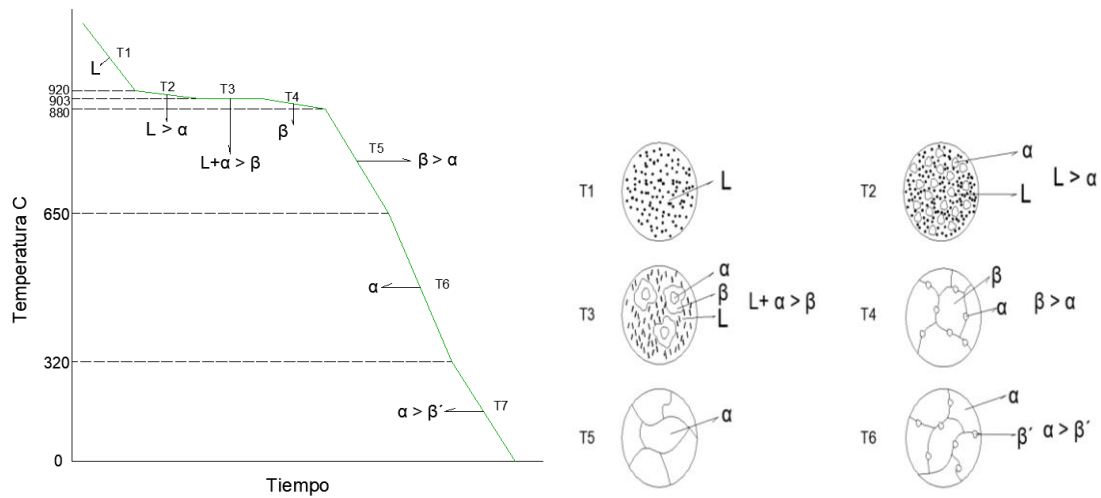
Fuente. El autor a partir de EMAC COMPLEMENTOS S.L.2010. Ficha técnica latón. Emac América Ilc. España.

Figura1. Diagrama de fases Cu-Zn con la composición relativa del latónC-385 con (37% Zn)



Fuente. Autor (Puesto que EL Pb es insoluble tanto en el Cu como el Zn, se segrega en los límites de grano, por lo tanto no se tiene en cuenta para su ubicación en el diagrama)

Figura 2. Curva solidificación aleación C-385 con 37% Zn



1.3.4.1 Aplicaciones del latón C385 o latón plomado.

Engranajes, piñones, piezas de cerraduras, tornillos, placas para grabados y otras partes que se fabriquen en torno para producción en serie.²

1.4 TRATAMIENTOS DE LOS MATERIALES PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES

Los metales se pueden someter a una serie de tratamientos para modificar su microestructura y potenciar sus propiedades: Dureza, resistencia mecánica, plasticidad para facilitar su conformado. Existen cuatro clases de tratamientos:

-Tratamientos térmicos: El metal es sometido a procesos térmicos en los que no varía su composición química, aunque sí su estructura.

-Tratamientos termoquímicos: Los metales se someten a enfriamientos y calentamientos, pero además se modifica la composición química de su superficie exterior.

-Tratamientos mecánicos: Se mejoran las características de los metales mediante deformación mecánica, con o sin calor.

-Tratamientos superficiales: Se mejora la superficie de los metales sin variar su composición química másica. En estos tratamientos, a diferencia de los termoquímicos, no es necesario llevar a cabo calentamiento alguno.

Los tratamientos no deben alterar de forma notable la composición química del metal pues, en caso contrario, no sería un tratamiento, sino otro tipo de proceso.⁴

1.4.1 Tratamientos térmicos

Son operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales que tienen por objeto modificar su estructura cristalina (en especial, el tamaño de grano). La composición química permanece inalterable. Existen tres tratamientos fundamentales:

-Recocido: Su objetivo principal es ablandar el material para facilitar su mecanizado posterior. También es utilizado para regenerar el grano o eliminar las tensiones internas, se debe tener en cuenta que los recocidos no proporcionan generalmente las características más adecuadas para la utilización del material.

-Temple: Consiste en el calentamiento del metal, seguido de un posterior enfriamiento realizado de forma brusca. Con esto se consigue obtener un metal muy duro y resistente mecánicamente. El endurecimiento adquirido por medio del temple se puede comparar al que se consigue por deformación en frío.

-Revenido: Se aplica exclusivamente a los metales templados, pudiendo considerarse como un tratamiento complementario del temple. Con ello se pretende mejorar la tenacidad del metal templado, a costa de disminuir un poco su dureza.⁴

⁴I.E.S VILLALBA HERVAS. Materiales de uso técnico. Tecnología Industrial I. Pág. 1-2.

Tratamientos térmicos del cobre y sus aleaciones: Los procesos de tratamiento térmico se aplican al cobre y sus aleaciones durante el proceso de fabricación, estos incluyen:

-Homogenización: proceso en el cual los metales son sometidos, durante tiempo prolongado, a altas temperaturas con el fin de reducir la segregación y la micro segregación que ocurre como resultado natural de la solidificación de algunas aleaciones. Se aplica a las aleaciones de cobre con el fin de mejorar la ductilidad en frío y en caliente para el proceso de laminación y ocasionalmente se usa en las piezas vaciadas para lograr requerimientos específicos de dureza, ductilidad y tenacidad.

-Recocido: El objetivo principal de este tratamiento es ablandar el metal para su posterior deformación en frío; con este se obtiene la combinación óptima de ductilidad, resistencia y textura superficial.

-Alivio de tensiones: Las tensiones residuales en las aleaciones de cobre trabajadas en frío se alivian o eliminan, sin variar apreciablemente sus propiedades, mediante tratamientos a baja temperatura, es decir por debajo de la recristalización. Este tratamiento se usa también como prevención contra la corrosión bajo tensión en las aleaciones de cobre, particularmente en los latones con 20% de zinc o más.

-Endurecimiento: Hay algunas aleaciones que se pueden endurecer por tratamientos térmicos hay de dos tipos:

Aquellas en que la aleación se obtiene en condición blanda cuando se enfría desde alta temperatura, y luego se endurece por calentamiento a temperatura moderada. Entre las aleaciones que responden a este proceso están las de endurecimiento por precipitación, las de endurecimiento espinodal y las de endurecimiento por orden.

Aquellas en las que se endurece templando desde alta temperatura mediante reacciones masivas o martensíticas. Las aleaciones que se endurecen por temple son los bronce al aluminio, los bronce al aluminio-níquel y algunas aleaciones cobre-zinc.

-Refinado: Proceso controlada de oxidación seguida de una reducción cuyo objeto es volatilizar o reducir a escorias todas las impurezas contenidas en el cobre con el fin de obtener cobre de gran pureza.⁵

1.4.2 Tratamientos termoquímicos

Los tratamientos termoquímicos consisten en operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales, completadas con la aportación de otros elementos en la superficie de las piezas. Los más relevantes son:

-Cementación: Consiste en la adición de carbono a la superficie de un acero que presente bajo contenido de carbono a una cierta temperatura. Se obtiene así una dureza superficial muy elevada.

⁵Valencia. Asdrubal. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Universidad de Antioquia.

-Nitruración: Es un proceso de endurecimiento del acero por absorción de nitrógeno a una temperatura determinada. Además, proporciona una buena resistencia a la corrosión. Se utiliza para endurecer piezas de maquinaria (bielas, cigüeñales, etc.), también herramientas como brocas entre otras.

-Cianuración: Es un tratamiento intermedio entre los dos anteriores. Se utiliza no solamente en aceros con bajo contenido de carbono (como en el caso de la cementación), sino también en aquellos cuyo contenido en carbono sea medio o alto, cuando se pretende que adquieran una buena resistencia.

-Carbonitruración: Consigue aumentar la dureza de los aceros mediante la absorción simultánea de carbono y nitrógeno a una temperatura determinada. La diferencia con el tratamiento anterior radica en que la carbonitruración se realiza mediante gases, y la cianuración por medio de baños. Se emplea en piezas de gran espesor.

-Salinización: Mediante la inmersión del metal en un baño especial se consigue incorporarle una capa de carbono, nitrógeno y, sobre todo, azufre. Con este tratamiento se aumenta considerablemente la resistencia al desgaste de los metales, a la vez que se disminuye su coeficiente de rozamiento.⁴

1.4.3 Tratamientos mecánicos

Mejoran las características de los metales por deformación mecánica, con o sin calor. Existen los siguientes tratamientos mecánicos:

-Tratamientos mecánicos en caliente: Consisten en calentar un metal a temperatura determinada para luego, deformarlo golpeándolo fuertemente. Con esto se afina el tamaño del grano y se eliminan del material sopladuras y cavidades interiores, con lo que se mejora su estructura interna.

-Tratamientos mecánicos en frío: Consiste en deformar el metal a temperatura ambiente, bien sea golpeándolo, o por trefilado o laminación. Estos tratamientos incrementan la dureza y la resistencia mecánica del metal y, también, acarrear una disminución en su plasticidad.⁴

1.4.4 Tratamientos superficiales.

Los más utilizados son:

-Metalización: Se proyecta un metal fundido, pulverizándolo sobre la superficie de otro. Con esto se consigue comunicar a la superficie de un metal las características de otro diferente.

-Cromado: Se deposita cromo electrolíticamente sobre el metal, de esta manera, se disminuye su coeficiente de rozamiento y se aumenta su resistencia al desgaste.

-Niquelado: Recubrimiento metálico de níquel mediante un baño electrolítico; se caracteriza por ser un acabado brillante. Además de incrementar la resistencia a la corrosión se utiliza como acabado para mejorar notablemente la apariencia. Tiene dos terminados mate y brillante.

-Cobrizado: Proceso electrolítico, que consiste en aplicar una película de cobre rojo, sobre materiales ferrosos, latón, bronce, zámak y otros. Es utilizado como recubrimiento en electricidad, industrial, decorativo y artístico.⁴

1.4.5 Tratamientos termomecánicos

Los tratamientos termomecánicos son las deformaciones que se le pueden ocasionar a una muestra metálica mediante la combinación de aplicación de temperatura y deformación mecánica. Estos se pueden clasificar de acuerdo a la modificación en la estructura y también por su deformación, los cuales han sido estudiados ampliamente para la producción de metales con la estructura de grano generalmente fino menor o igual a 10 micras y ultrafinó de orden submicrométrico.

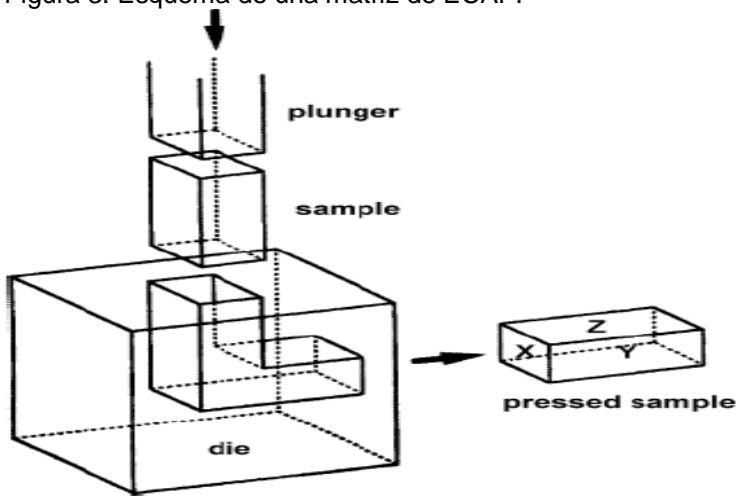
-Deformación plástica: Es la carga suficiente aplicada para desplazar los átomos y conseguir una nueva posición originando una alteración de la estructura de grano y así por este camino mejorar las propiedades de un metal, como resultado de la deformación plástica, aparecen granos equiaxiales y granos alargados.⁶

-Deformación plástica severa: Los procesos de deformación plástica severa (SPD) se definen como procesos de conformado de metales en los que una gran deformación es introducida en el material, con la finalidad de reducir el tamaño de grano generalmente hasta un rango ultrafinó y en ocasiones hasta un rango nano cristalino. Estos materiales muestran una alta resistencia mecánica, y se pueden utilizar como metales de alta resistencia. A continuación se hará una descripción de los principales procesos de deformación plástica severa.⁶

-Presión angular de igual canal (ECAP): El proceso consiste en pasar diversas veces una muestra de material por una matriz que contiene dos canales de idéntica sección que se interceptan formando un ángulo, la muestra a deformar se introduce dentro del canal debidamente lubricado y es presionada con un punzón que la expulsa hacia el canal de salida. La muestra se mueve a través del primer canal como un sólido rígido, hasta llegar al plano de intersección de los canales, donde el material se deforma plásticamente por cizalla simple. La deformación se concentra en un plano coincidente con el de intersección de los canales. Debido a que la extrusión se produce capa a capa, todo el material está sujeto a una deformación uniforme excepto en los extremos de la muestra. El hecho que la sección transversal se mantiene constante después de la extrusión permite que el material pueda ser procesado repetidamente, consiguiendo altos niveles de deformación.⁶

⁶file:///C:/Users/CONSULTA/Downloads/TCCQ1de1%20(1).pdf

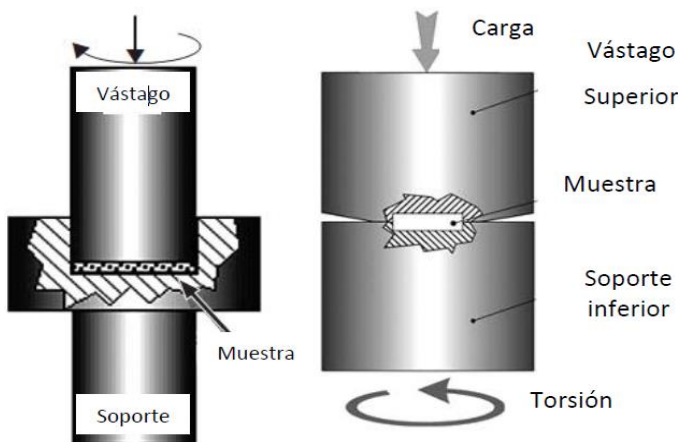
Figura 3. Esquema de una matriz de ECAP.



Fuente. file:///C:/Users/CONSULTA/Downloads/TCCQ1de1%20(1).pdf

-Torsión a alta presión (HPT): Torsión a alta presión se refiere al procedimiento en el cual la muestra, generalmente en forma de un disco delgado, es sometida a deformación de torsión, bajo una presión hidrostática. El disco es localizado dentro de una cavidad a una presión hidrostática aplicada, la deformación de torsión plástica es alcanzada por la rotación del sistema. En este proceso se alcanzan presiones tal altas como 2 GPa, es generalmente preferible, usar una geometría modificada con las cavidades colocadas en cada uno de los dos soportes. Si no hay flujo de material hacia el exterior, el espesor del disco permanece constante y la deformación verdadera de torsión (γ) está dada por: $\gamma = (r/h) \phi$ Donde r , es la distancia desde el centro del disco, ϕ es el ángulo de torsión en radianes, y h , es el espesor de la muestra.⁷

Figura 4. Dibujo esquemático de la técnica de procesamiento por torsión a alta presión.



Fuente. <http://eprints.uanl.mx/2216/1/1080187992.pdf>

⁷<http://eprints.uanl.mx/2216/1/1080187992.pdf>

1.5 LAMINACIÓN

El laminado es un proceso de deformación en el cual el metal pasa entre dos rodillos y se comprime mediante fuerzas de compresión ejercidas por los rodillos. Los rodillos giran para halar el material y simultáneamente apretarlo entre ellos.

La mayor parte de operaciones de laminación se lleva a cabo en caliente:

- Temperatura superior a la de recristalización.
- Reorientación de grano, fibrado en la dirección de laminación y anisotropía direccional.
- Rugosidad entre 12 y 25 μm (Ra).

La laminación es un proceso de conformado por deformación plástica en el que el material fluye de modo continuo y en una dirección preferente mediante fuerzas de compresión, ejercidas al pasar el metal entre cilindros, y de cizallamiento, originadas por el rozamiento entre los cilindros y el meta. Esencialmente la laminación consiste en hacer pasar un metal entre dos rodillos separados por un hueco algo menor que el grueso del metal entrante, y que rotan en sentido contrario.⁸

1.5.1 Laminación en caliente

La laminación en caliente se aplica a la conformación inicial de grandes lingotes (actualmente también se parte del producto de la colada continua), en los que las considerables deformaciones que sufren solo son posibles con el concurso de energías mecánicas y térmicas simultáneamente y para altos volúmenes de producción. Los productos más comunes son placas, barras, varillas, perfiles estructurales, etc. Los productos laminados en caliente presentan superficies ligeramente rugosas cubiertas de óxido conocido como cascarilla o calamina. Las tolerancias dimensionales se sitúan entre el 2 y 5%.⁸

1.5.2 Laminación en frío

La laminación en frío se aplica en el caso de producirse deformaciones con un pequeño campo de tolerancia (mayores precisiones dimensionales), cuando se desean obtener en el material características propias de estos tratamientos (mejores propiedades mecánicas), así como conseguir un acabado superficial más fino. Ejemplos son láminas, largueros, varillas, etc.

- La laminación en frío produce superficies lisas y mejores tolerancias dimensionales (entre 0.5 y 1%).
- Tiene un acabado brillante y bastante exacto.
- Mejora la resistencia, la maquinabilidad. El endurecimiento por deformación plástica en frío es el fenómeno por medio del cual un metal dúctil se vuelve más duro y resistente, a medida que es deformado plásticamente. La resistencia del

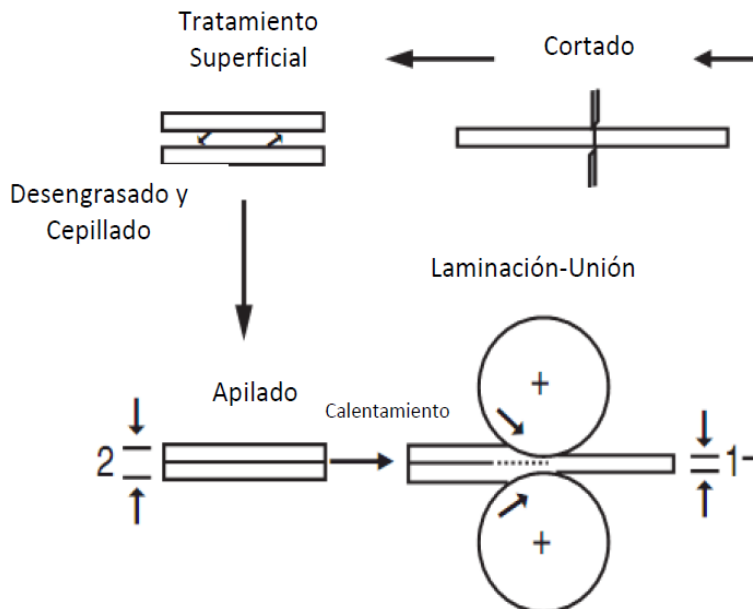
material aumenta al aumentar el porcentaje de trabajo en frío, sin embargo la ductilidad del material disminuye.⁸

1.5.3 Unión por laminación acumulada (ARB)

La técnica de unión por laminación acumulada crea el uso de un complejo laminado convencional. Una hoja es laminada a fin de que, su espesor sea reducido de uno a la mitad, en una condición de prelaminado. La hoja laminada es cortada en dos partes para ser colocadas una sobre la otra. Para alcanzar una buena unión durante la operación de laminado, las dos caras en contacto son desengrasadas y cepilladas con alambre antes del contacto y las hojas superpuestas son laminadas otra vez hasta la mitad de su espesor. Así una serie de operaciones como: laminado, cortado, cepillado, y apilado son repetidas hasta que finalmente una larga deformación es acumulada en la hoja.

En la práctica la estructura de grano ultrafino producida por ARB, no es tridimensionalmente equiaxial pero más bien hay una deformación con la estructura en la cual hay estirado en la dirección lateral. Esta característica microestructural es la misma independientemente de los tipos de metales y aleaciones. El proceso de unión por laminación acumulada puede ser aplicada para la producción en los campos metal-matriz por el revestimiento de mezclado de polvos y sometiendo al proceso de unión por laminado. La siguiente imagen (figura 5) muestra los pasos correspondientes al proceso de deformación plástica severa por laminación acumulada.⁷

Figura 5. Esquema del proceso ARB.



Fuente. <http://eprints.uanl.mx/2216/1/1080187992.pdf>

⁸RODEL CARLOS A. Laminación. Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI. Colombia.

1.5.4 Laminación en caliente de productos planos

Se llama productos planos a los laminados cuyas medidas transversales son relativamente significativas en comparación con su longitud. Los trenes de planos se alimentan de desbastes planos (planchones (slabs)), procedentes de las máquinas de colada continua, o de lingotes convencionales (petacas) reducidos en espesor en los trenes de desbaste. Antes de la laminación han de pasar por los hornos de recalentar con el fin de conseguir las temperaturas y maleabilidad adecuadas para su transformación posterior. La configuración de los trenes depende del producto a obtener.

Cuando la laminación se efectúa en el tren de chapa gruesa, el producto plano obtenido es la chapa gruesa (chapa naval), con espesores que pueden llegar hasta 150 mm. Si la laminación es en el tren de bandas en caliente el producto plano es la bobina (caliente) o bobina de chapa, en espesores que van desde 1.5 mm hasta unos 12 mm, y con anchos que pueden llegar hasta 2000 mm.

La microestructura y propiedades del acero dependen de factores como:

- Composición química del acero.
- Tratamientos térmicos posteriores.
- Deformación en caliente, que afecta la mayoría de los parámetros anteriormente citados.⁹

1.6 METALOGRAFÍA

Es la rama de la metalurgia que estudia la estructura de un metal-aleación y la relaciona con la composición química, con las propiedades mecánicas y físicas.

Este estudio es llevado a cabo con la aplicación de diversas y variadas técnicas especiales. En los comienzos de la metalurgia, se utilizaron para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, los análisis químicos y los ensayos mecánicos. Con estos métodos no quedaba definido completamente el metal o la aleación, con la aparición de la metalografía comenzó una información muy valiosa que se refiere a la forma y tamaño del grano, conformación de los constituyentes capaces de ejercer gran influencia sobre la dureza, resistencia a la tracción, resiliencia, fatiga, etc., los cuales pueden ser modificados por los tratamientos térmicos o conformación mecánica.

La metalografía no reemplaza a los métodos anteriormente mencionados, si no que se complementan entre sí. En el campo de los tratamientos térmicos, encuentra un amplio campo de aplicación, determinando el metalografo una falla producida en una pieza en servicio un temple mal realizado. Dentro este método esta la macrografía en la cual se puede observar un defecto o la orientación de las fibras

⁹ENRIQUEZ B. JOSE LUIS; TREMP GUERRA ENRIQUE; DE BENGY SUSANA DE ELIO; FERNANDEZ S. DANIEL. 2010. Laminación. Monografías sobre tecnología del acero. Parte IV. Pág. 36.

del material según su laminación o forjado. Entre la macrografía y la micrografía existe una diferencia en la observación al microscopio, en la primera se utiliza hasta 10 aumentos y en la segunda desde 50 hasta 1000 aumentos.¹⁰

1.6.1 Micrografía

Las propiedades mecánicas de una aleación no dependen solamente de su composición química, o sea del porcentaje en peso de cada elemento, sino también de la manera de presentarse estos. Así, por ejemplo, los elementos químicos que forman una aleación pueden encontrarse en forma de una solución sólida homogénea, en forma de una mezcla eutéctica, en forma de un compuesto intermetálico de composición química definida, dispersa en el seno de una solución sólida, etc.

Cada uno de estos componentes se llama un constituyente metalográfico y de su proporción, forma y extensión dependen en gran parte las propiedades de las aleaciones. Estos constituyentes metalográficos son detectados al microscopio y su reconocimiento constituye el análisis micrográfico de la aleación.

El análisis micrográfico de un metal se hace sobre una probeta pulida del material, que se ataca con un reactivo. Cada constituyente metalográfico tiene una determinada velocidad de reacción con el reactivo de ataque. Los constituyentes menos atacables quedarán con más brillo y reflejarán mayor cantidad de luz en el microscopio, apareciendo más claros a la observación. Esta diferencia permite detectar los distintos constituyentes y determinar su proporción, distribución, tamaño, etc.

Cada constituyente metalográfico está compuesto por un gran número de celdillas unitarias cristalinas, que agrupados constituyen el grano metalúrgico. Los bordes del grano son atacados con mayor intensidad y se denominan límite de grano. En el microscopio metalográfico solo detectamos los distintos constituyentes metalográficos y los granos que los forman. El retículo cristalino que forman los átomos dentro de cada grano no es visible al microscopio. Su estudio requiere la aplicación de otras técnicas como rayos x, etc. La correcta preparación de la probeta para la observación microscópica es de fundamental importancia.

Para ello se tienen en cuenta los resultados de la observación macroscópica y luego se procede:

- Selección del lugar y extracción de la muestra.
- Montaje de la probeta.
- Desbaste.
- Pulimento.
- Ataque y observación microscópica.¹⁰

1.6.2 Pulido

Se hace con el objetivo de eliminar todas las rayas finas producidas durante el desbaste, tendiendo a obtener una superficie especular. El pulido se puede hacer por medios mecánicos, electrolíticos o químicos.

-Pulido mecánico: Se efectúa sobre paños, sujetos en forma adecuada sobre los discos de pulidoras mecánicas, utilizando abrasivos en suspensión líquida. Los paños utilizados son: paños de billar, pana, terciopelo de algodón, seda o paños preparados especialmente que se encuentran en el comercio con diferentes nombres, según sea su origen. Los abrasivos usados frecuentemente son óxido de magnesio, alúmina (óxido de aluminio), óxido de cromo, óxido de hierro, etc., en forma de polvos muy finos (500 a 600 mallas), suspendidos en líquidos generalmente agua destilada. Para su preparación se mezcla una pequeña cantidad de abrasivo en un litro de agua, se agita con una varilla de vidrio hasta obtener una mezcla homogénea y se deja decantar un tiempo variable, generalmente no menor a 30 minutos, luego se sifona el óxido con el líquido en suspensión, evitando arrastrar el material decantado, más grueso, obteniéndose así un óxido en condiciones de uso.

Esta suspensión se vierte por goteo sobre el paño bien estirado y sujeto sobre el disco de la pulidora que gira a velocidades variables entre 400 y 1000 r.p.m. La probeta desbastada se mantiene firmemente sobre el disco que gira, imprimiéndole un movimiento de rotación en sentido contrario al del disco, o bien haciéndola avanzar o retroceder según un radio del disco. El paño debe mantenerse siempre húmedo, agregando intermitentemente el abrasivo en suspensión. En esta operación deben desaparecer todas las rayas producidas por el último esmeril y aun las más finas, producidas por este pulido. El pulido no debe extenderse más de lo necesario para evitar la distorsión superficial del metal. En los metales muy blandos suele formarse una capa distorsionada que se elimina atacando la probeta pulida con reactivo que disuelve dicha capa y volviendo a pulir nuevamente. Esa operación puede repetirse varias veces. Una vez pulida la probeta se lava con agua y se enjuaga con alcohol o éter. Se acelera su secado colocándola frente a una corriente de aire caliente. Hecho esto, la muestra está en condiciones de ser observada en el microscopio. La probeta pulida debe manejarse con precaución, evitando tocar su superficie con los dedos u otro objeto que pueda mancharla, rayarla o producir un ataque posterior desparejo.

El pulido mecánico produce, entre otros defectos, distorsión de las capas superficiales, en especial en metales blandos y sus aleaciones, y en aquellos que endurecen por deformación, como los aceros austeníticos.

-Pulido electrolítico: Se basa fundamentalmente en igualar la superficie de los metales por efecto de una corrosión electrolítica selectiva de las partes salientes de la probeta. Durante este proceso, la probeta de metal actúa como nodo en una celda o cubeta electrolítica. El material se extrae por acción electrolítica en forma

tal que se eliminan las irregularidades de superficie y el acabado resulta liso y brillante.

Los requerimientos generales en un baño electrolítico para pulimiento son:

- Debe de ser conductivo.
- La reacción con el nodo debe dar como resultado un compuesto soluble, puesto que los iones metálicos deben de poder pasar del nodo al cátodo.
- No debe de cambiar la superficie químicamente activa del nodo a un estado menos reactivo.
- El ataque corrosivo no debe ser excesivo, de lo contrario, puede producirse ataque químico en conjunto con el pulimiento electrolítico.¹⁰

1.6.3 Ataque químico

Terminado el pulido de la muestra, se le observa en el microscopio con el objeto de verificar el grado de pulimiento, defectos superficiales e inclusiones no metálicas, grafito, etc.

A continuación se procede al ataque de la muestra para poner en evidencia la estructura del metal o aleación. Existen diversos métodos de ataque, el más utilizado es el ataque químico.

El ataque químico puede hacerse sumergiendo la muestra con la cara pulida hacia arriba en un reactivo adecuado, o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo, o goteando el mismo sobre ella durante un tiempo del orden de los segundos. Es conveniente durante el ataque por inmersión y goteo mover la probeta continuamente para que el reactivo se renueve sobre la superficie, dando un ataque más homogéneo. Luego se lava la probeta con agua; se enjuaga con alcohol o éter y se seca en corriente de aire caliente.

El fundamento del ataque químico consiste en la distinta velocidad de disolución de los diferentes constituyentes metalográficos de la muestra en el reactivo usado. El de mayor velocidad de reacción, se ataca rápidamente y se ve más oscuro al microscopio, mientras que el menos atacable permanece más brillante, refleja más luz y por consiguiente, se verá más claro en el microscopio.

Las probetas no conviene sobre atacarlas, pues se mancharían y se tapanía la estructura o podrían producirse figuras de corrosión. Es preferible pecar por defecto de ataque, en cuyo caso se vuelve a atacar, en cambio, las probetas sobre atacadas hay que volver a pulirlas.¹⁰

Existen reactivos generales para detectar la estructura de cada grupo de metales como podemos ver en la tabla 4:

Tabla 4. Reactivos de ataque para examen microscópico

Reactivo de ataque	Composición	Usos
Ácido Nítrico (Nital)	Ácido nítrico: 5 cc Alcohol etílico: 95 cc	Aceros y hierros
Ácido Pítrico (Picral)	Acido pítrico: 4 gm Alcohol etílico: 100 ml	Aceros de baja aleación
Cloruro férrico y ácido hidroc্লórico	Cloruro férrico: 5 mg Acido hidroc্লórico: 50 ml Agua: 100 ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio: 10 gm Agua: 90 ml	Cobre, latón, bronce, plata, níquel y bronce aluminico
Ácido hidrofлуórico	Ácido hidrofлуórico: 0,5 ml Agua: 99,5 ml	Aluminio y sus aleaciones

Fuente. El autor a partir de ATAQUE QUÍMICO METALOGRAFICO. Recuperado de: <https://materiales.wikispaces.com/Ataque+qu%C3%ADmico+metalogr%C3%A1fico>

1.6.4 Observación microscópica

Sin la ayuda de un microscopio adecuado, la muestra metalográfica más cuidadosamente preparada posee escaso valor.

Un microscopio apropiado y sus correspondientes accesorios pueden utilizarse para observar la microestructura, medir la profundidad de las superficies endurecidas y componer registros fotográficos de los tratamientos térmicos.

El microscopio destinado a estos laboratorios debe poseer:

- Aumentos de 50X a 1000X para relevar tanto casos groseros como sutiles de microestructuras de transformación.
- Lentes objetivas con calidad suficiente para resolver capas superficiales delgadas para efectuar una medición precisa.
- Fuente de iluminación intensa para revelar microestructuras de transformación de coloración oscura tratada con ácido
- Funciones mecánicas adecuadas que permitan un ajuste estable de los campos visuales.
- Ocular graduado capaz de medir las distintas capas que se desea evaluar.
- Cámara para registro de microestructuras.

El microscopio usado en metalografía se caracteriza por poseer un sistema de iluminación por reflexión. Su platina es móvil y en algunos casos la probeta se coloca con la cara pulida hacia abajo.¹⁰

¹⁰METALOGRAFÍA. Recuperada de:

1.7 TAMAÑO DE GRANO

El tamaño de grano tiene considerable influencia en las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, por eso es de gran interés conocerlo. Así pues, podemos entender que la realización de los diferentes tratamientos térmicos tenga como principal objetivo obtener el tamaño de grano deseado. Resulta evidente que dicho tamaño de grano es inversamente proporcional al número de granos presentes en la muestra. Los límites de grano, son el lugar en que ocurren, preferentemente, las reacciones en estado sólido. En general, la energía libre de una cantidad de masa de metal disminuye a medida que aumenta el tamaño de grano. La causa del cambio de energía es la disminución de la energía interfacial asociada a los límites de grano.

Esta disminución de energía es la fuerza impulsora que tiende a producir el crecimiento del grano. Ahora bien, en la mayoría de las condiciones de aplicación de los metales, la velocidad de crecimiento del grano es muy pequeña, y solo a temperaturas elevadas el crecimiento se produce rápidamente. Un material de grano fino será, por lo tanto, más duro y más resistente que un material de grano grueso, el cual (este último) tendrá más juntas de grano donde se acumularán más tensiones. Deberá verificarse que la dureza es inversamente proporcional al tamaño de grano.¹¹

1.7.1 Métodos para la medición del tamaño de grano

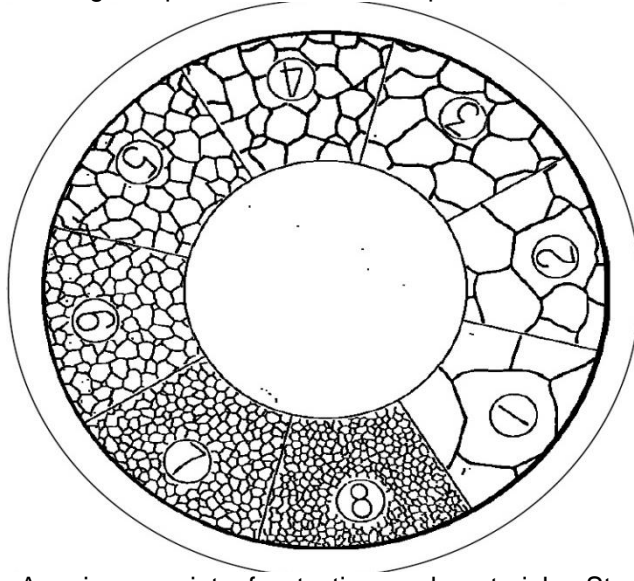
La norma ASTM E112 describe distintos métodos para la medición del tamaño de grano, los cuales se clasifican:

-Procedimiento de comparación: Involucra la comparación de la estructura de grano con una serie de imágenes graduadas. El número de cada plantilla corresponde al tamaño de grano G si se está observando la probeta con aumento de 100x.¹²

<http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/TecnologiaI/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LA LABORATOR/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf> Pág. 1-2-3-4-5.

¹¹MEDIDA DE TAMAÑO DE GRANO. Recuperado de: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/grano.htm>

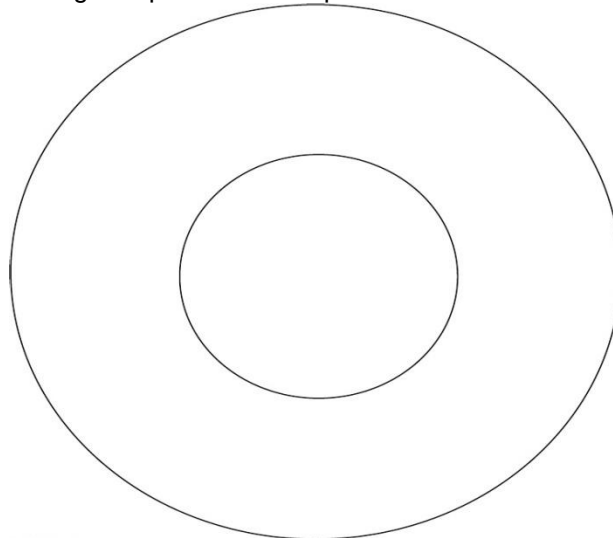
Figura 6. Plantilla tamaño de grano procedimiento de comparación.



Fuente. ASTM E112. American society for testing and materials. Standart test methods for determining average grain size.

-Procedimiento planimétrico: Involucra el conteo de número de granos dentro de un área determinada. La figura 7 muestra en el centro un círculo con una superficie de 5000 mm^2 . El círculo exterior tiene un diámetro de 175 mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones. El tamaño de grano G se calcula a partir de las tablas 4 y 5 de la norma ASTM E112.¹²

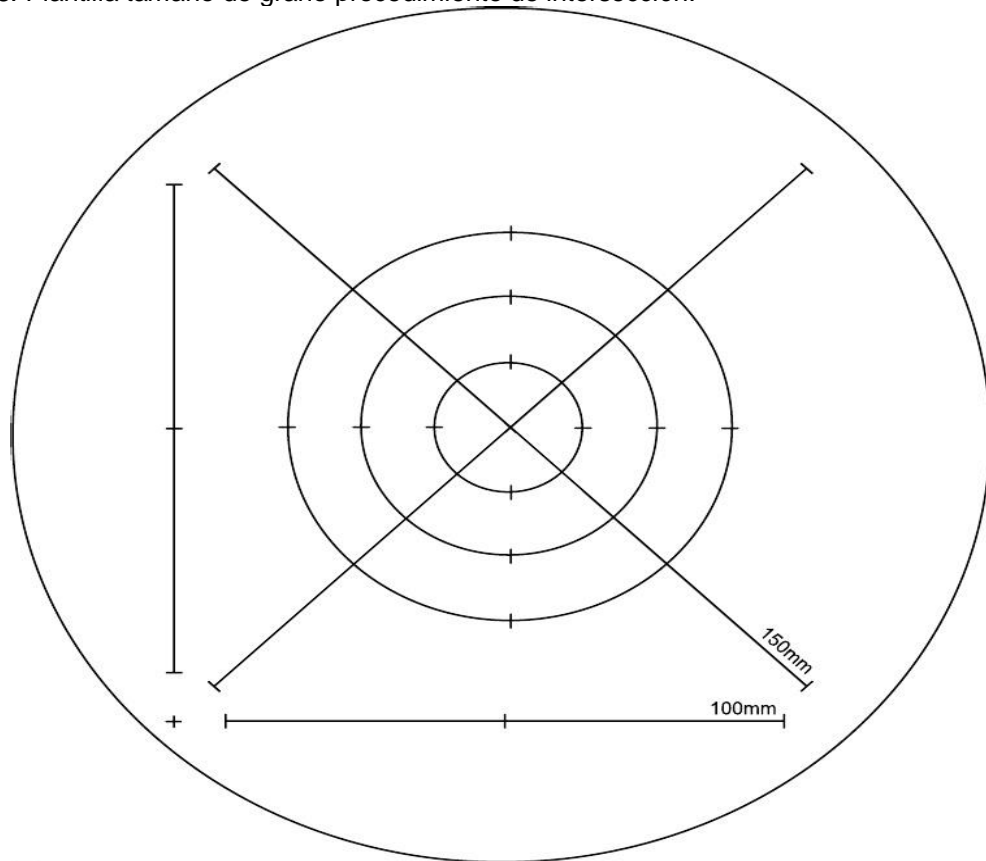
Figura 7. Plantilla tamaño de grano procedimiento planimétrico.



Fuente. ASTM E112. American society for testing and materials. Standart test methods for determining average grain size.

-Procedimiento de intersección: Involucra el conteo de los granos interceptados por una línea de ensayo o el número de intersecciones de la línea con los bordes de grano. La figura 8 muestra las distintas geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas rectas de la figura 8 corresponden al método de HEYN. El método de HILLIARD utiliza una circunferencia generalmente de 100, 200 o 250 mm de perímetro. Las tres circunferencias de la figura 8 corresponden al método de ABRAMS (entre las tres suman una longitud de 500 mm)¹²

Figura 8. Plantilla tamaño de grano procedimiento de intersección.



Fuente. ASTM E112. American society for testing and materials. Standart test methods for determining average grain size.

1.8 DUREZA

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma

¹²ASTM E112. American society for testing and materials. Standart test methods for determining average grain size.

esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar.

Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica). En algunos casos, es necesario determinar las características mecánicas de los materiales sin llegar a su destrucción. También podemos determinar la dureza conseguida mediante un tratamiento de dureza. Podemos mencionar los tres tipos de ensayos de dureza más importantes.¹³

1.8.1 Dureza Rockwell

Para los materiales duros se emplea como elemento de penetración un cono de diamante de ángulo 120°, y para los semiduros y blandos una bolita de acero de 1/16", deduciéndose la fuerza Rockwell de la profundidad conseguida en la penetración. El cuerpo empleado para la penetración se hace incidir sobre la superficie de la pieza a ensayar con carga previa de 10Kg. La profundidad de penetración alcanzada constituye el valor de partida para la medición de la profundidad de la huella. Después se aumenta en 140 Kg la carga aplicada al cono (150 Kg), y en 90 Kg la aplicada a la bolita (100 Kg), bajándose nuevamente el valor previo. Se mide la profundidad de penetración que queda y en la escala del aparato se lee directamente la correspondiente dureza Rockwell C (HRC) cono o la Rockwell B (HRB) bolita.¹³

1.8.2 Dureza Brinell

Se comprime una bola de acero templado, de diámetro de (D) 2,5; 5 o 10 mm, contra el material a ensayar con una fuerza P. Después de liberar la carga se mide el diámetro (D) de la huella con un dispositivo amplificador óptico.

Se sabe experimentalmente que el número de dureza Brinell de casi todos los materiales está influenciado por la carga de penetración, el diámetro del balín y las características elásticas del mismo. En general debe usarse un balín de 10 mm de diámetro y de una composición química adecuada con cargas de 3000 Kgf, 1500 Kgf, o 500 Kgf, dependiendo de la dureza del material que va a probarse. Aunque los números de dureza Brinell pueden variar conforme la carga de prueba usada con el balín de 10 mm, cuando se usen balines más pequeños en probetas delgadas, los resultados de las pruebas generalmente corresponden a los obtenidos con el balín de 10 mm de diámetro.

El número de dureza Brinell seguido del símbolo HB sin sufijos indica las siguientes condiciones de prueba:

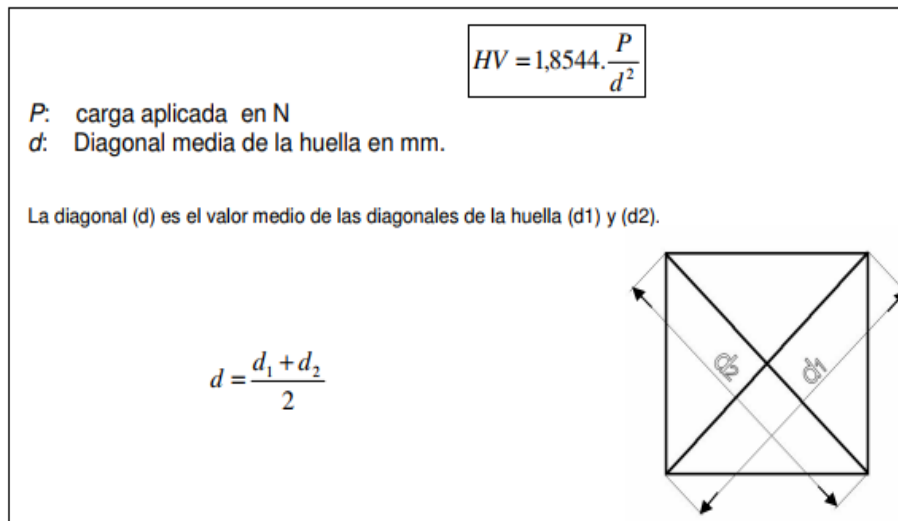
- Diámetro del balín: 10mm
- Carga: 3000 Kgf
- Duración de la carga: 10 a 15 segundos.¹³

1.8.3 Microdureza Vickers

En este caso se emplea como cuerpo de penetración una pirámide cuadrangular de diamante. La huella vista desde arriba es un cuadrado, este procedimiento es apropiado para aceros nitrurados y cementados en su capa externa, así como para piezas de paredes delgadas de acero o materiales no ferrosos.

La microdureza Vickers (HV) se calcula partiendo de la fuerza en Newton y de la diagonal en mm^2 de la huella de la pirámide según la fórmula y el esquema de la figura 9.

Figura 9. Cálculo de Microdureza Vickers.



Fuente. Ensayo de materiales. Recuperado de: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/ENSAYOS%20DE%20MATERIALES/ensayos-de-dureza.pdf>

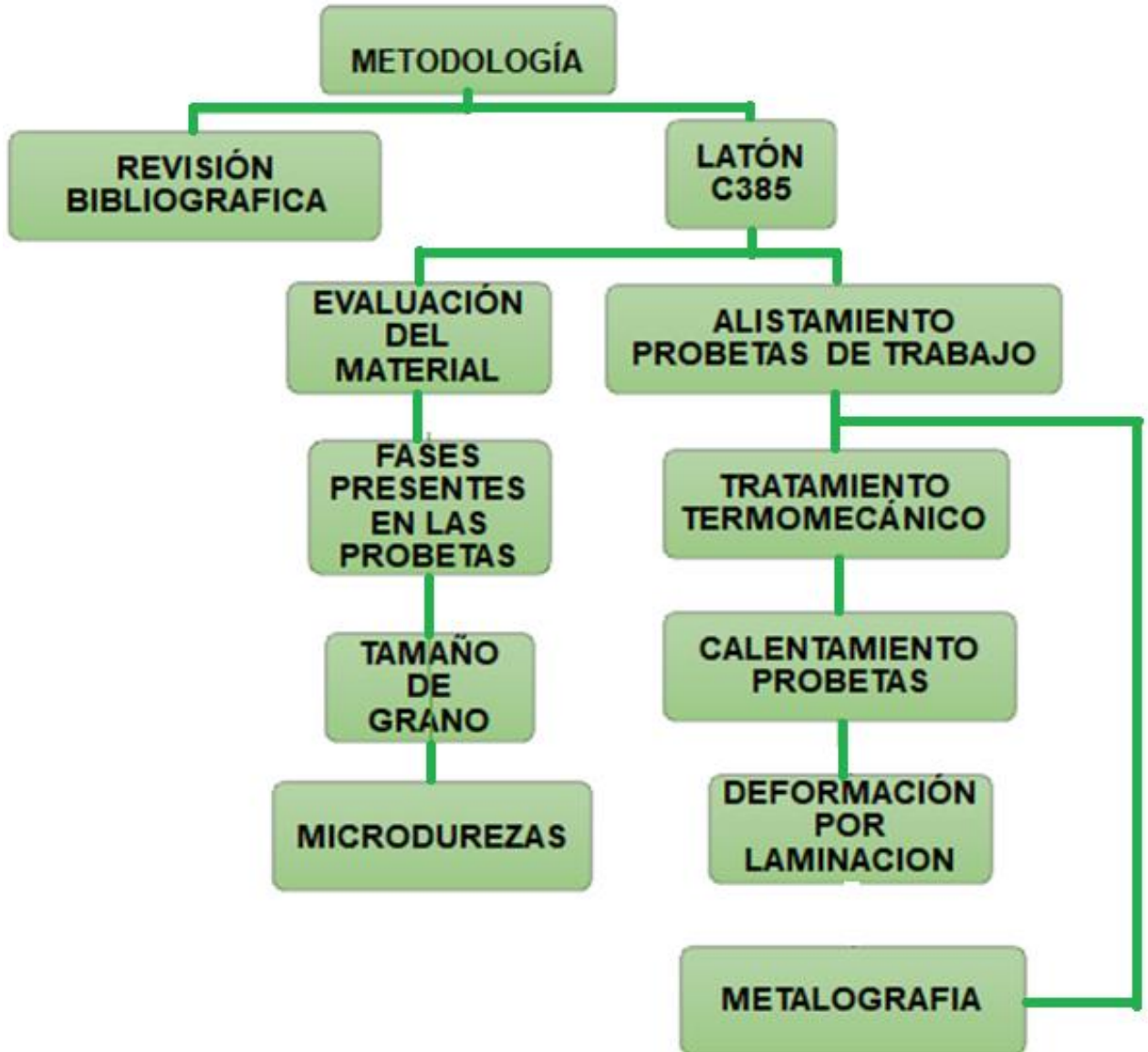
Este ensayo, al igual que el Brinell, se basa en el principio de calcular el valor de dureza relacionando la fuerza de aplicación sobre la superficie de la impresión en el material. Lo hemos simplificado utilizando en este caso el valor de la longitud de la diagonal. Los valores de las cargas más usados van desde 1 a 120 Kgs.¹³

¹³ENSAYO DE MATERIALES. Recuperado de: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/ENSAYOS%20DE%20MATERIALES/ensayos-de-dureza.pdf> Pág. 1, 3, 5, 6.

2. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo del proyecto se establece la siguiente metodología de trabajo:

Figura 10. Metodología desarrollo del proyecto.



Fuente. Autor.

2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las variables a estudiar objetivo en el desarrollo de este proyecto son: efecto del tratamiento termomecánico en la microestructura del latón C-385, fases presentes en cada una de las probetas, tamaño de grano, microdureza del material al ser

sometido al tratamiento y determinar la temperatura y numero de pases por el tren de laminación óptimos de transformación microestructural.

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS LABORATORIOS DONDE SE DESARROLLÓ EL TRABAJO DE GRADO

El trabajo de grado se realizó en las instalaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede central Tunja, laboratorios de metalurgia como se muestra en la figura 11:

Figura 11. Ubicación Laboratorios metalurgia.



Fuente. Google Earth.

2.3 SELECCIÓN Y ALISTAMIENTO DEL MATERIAL

Para el desarrollo de este proyecto se trabajó con un metal no ferroso como lo es el latón C385 o latón plomado como es conocido, este metal es fácil de maquinar y combina buena resistencia con alta ductilidad.

Se partió de una lámina de latón C385, de la cual con ayuda de una segueta se cortaron y obtuvieron 10 láminas o probetas de trabajo y estudio. La composición de este material se observa en la tabla 3.

2.4 CALENTAMIENTO Y DEFORMACIÓN POR LAMINACIÓN

Teniendo las 10 probetas listas se procedió a realizar el tratamiento termomecánico, variando las temperaturas y el número de pases por la laminadora como se ve en la tabla 5.

Tabla 5. Temperaturas y número de pases de trabajo.

DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROYECTO			Observaciones
Lamina 1	No. de pases	2	Para Análisis
	T° (°C)	650 °C	
Lamina 2	No. de pases	3	Para Análisis
	T° (°C)	650 °C	
Lamina 3	No. de pases	6	Para Análisis
	T° (°C)	650 °C	
Lamina 4	No. de pases	2	Para Análisis
	T° (°C)	750 °C	
Lamina 5	No. de pases	3	Para Análisis
	T° (°C)	750 °C	
Lamina 6	No. de pases	6	Para Análisis
	T° (°C)	750 °C	
Lamina 7	No. de pases	2	Para Análisis
	T° (°C)	850 °C	
Lamina 8	No. de pases	3	Para Análisis
	T° (°C)	850 °C	
Lamina 9	No. de pases	6	Para Análisis
	T° (°C)	850 °C	
Lamina 10	Metalografía y caracterización sin tratamiento termomecánico. Base de comparación.		

Fuente. Autor

Para realizar el tratamiento termomecánico se utilizó una laminadora tipo dúo de laboratorio (figura 12), la cual cuenta con dos cilindros en disposición tipo dúo, un ajuste de cilindros de laminación mediante dos tornillos en la parte superior (La reducción se controla por el avance del tornillo cada vuelta reduce 1,81 mm), un interruptor de corriente, un motor eléctrico (2 caballos de fuerza) y un reductor (40 a 1) los cuales van conectados mediante unas poleas con reducción (1 a 2) y una correa; y un horno tipo mufla (LabTech) como se puede observar en la (figura 12), esta mufla cuenta con cámara refractaria aislada moldeada en fibra de cerámica, posee calefacción por resistencia eléctrica de control variable; ideal para muestras de cenizas orgánicas e inorgánicas, tratamiento térmico de metales, pruebas de ignición, análisis gravimétrico y determinación de compuestos volátiles y sólidos suspendidos. Cuenta con un Controlador digital PID por microprocesador que proporciona precisión y fiabilidad, con función de temporizador de inicio automático de encendido y apagado y sistema de alarma.

Figura 12. Laminadora tipo duo y mufla Labtech.



Fuente. Autor.

Teniendo lista la mufla y la laminadora con la separación entre rodillos adecuada para el tratamiento termomecánico, se procedió a llevar las probetas a la temperatura y número de pases establecidos en la tabla 5.

Ya que se trabajó de a 3 láminas a la misma temperatura pero diferente número de pases por la laminadora, se metían las tres laminas a la mufla y al alcanzar la temperatura establecida se sacaban de a 1 para realizar los pases por la laminadora, controlando que no hubiera pérdida de temperatura con el fin de obtener los resultados adecuados. Esto se puede observar en las siguientes figuras:

Figura 13. Temperatura de trabajo 650°C.



Fuente. Autor.

Figura 14. Temperatura de trabajo 750°C.



Fuente. Autor.

Figura 15. Temperatura de trabajo 850°C.



Fuente. Autor.

Figura 16. Probetas listas para pasar por la laminadora.



Fuente. Autor.

Figura17. Probeta para laminación.



Fuente. Autor.

Figura 18. Probeta pasando por la laminadora tipo dúo.



Fuente. Autor

Este procedimiento se llevó a cabo con cada una de las 9 probetas ya que a la probeta numero 10 no se le realizo el tratamiento termomecánico para tener un punto de comparación.

2.5 CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA

La caracterización metalográfica de las 10 probetas de trabajo se realizó de la siguiente manera:

2.5.1 Pulido.

Para el pulido de las 10 probetas de trabajo se utilizó una pulidora mecánica (Chennai Metco figura 19), la cual cuenta con un armario de FPR resistencia a la corrosión, pulidor de discos compuesto por dos discos de aluminio giratorios de 8, 10 o 12 pulgadas (opcional intercambiable), motor de corriente alterna de 0.5 caballos de fuerza , tazón de lavado resistente a la corrosión , sistema de drenaje de flujo libre, chorro de agua flexible con válvula de control, anillo de retención tipo prensa, banda de tenencia y alimentación de 230 V; para el proceso de pulido se va colocando una secuencia de lijas y paños, en este caso se inició en lija tamaño 80 pasando por lija 100,120,180..... hasta llegar a lija tamaño 1200 y terminar en paño, esto con el objetivo de obtener una superficie plana, libre de cualquier clase de rayón producido durante el desbaste y obtener probetas con una superficie especular, lo cual se verifica con un microscopio óptico XJX-300 (figura 20) antes de realizar el ataque químico.

Figura 19. Pulidora mecánica de disco.



Fuente. Autor.

Figura 20. Microscopio óptico XJX-300.



Fuente. Autor

2.5.2 Ataque químico

El ataque químico que fue usado en este latón es persulfato de amonio (persulfato de amonio 10 mg, agua 100 ml) como lo recomienda la teoría para estos materiales, dándole un tiempo de permanencia de 3 a 6 sg con el fin de poner en evidencia la estructura de la aleación y facilitar la obtención de las micrografías.

2.5.3 Toma fotomicrografías

Para la toma de fotomicrografías se utilizó el microscopio metalográfico invertido (GX-41) de los laboratorios de metalografía de la UPTC (figura 21), este microscopio cuenta con una resolución espacial de 0.2mm, el polarizador puede girar hasta 90° permitiendo un control óptimo del contraste, maneja un rango de 20X a 1500X lo cual permitió la obtención de micrografías longitudinales a 100X, 500X y 1000X para su posterior análisis.

Figura 21. Microscopio metalográfico invertido (Olympus GX-41).



Fuente. Autor

2.6 ENSAYOS ADICIONALES

2.6.1 Prueba microdureza

La prueba de microdureza se realizó en el incíteme con el microdurómetro digital modelo QV-1000DM (figura 22), este microdurómetro cuenta con una torreta motorizada, control de carga automático, dos caminos ópticos, impresora de alta calidad incorporada como se puede observar en la figura 23, software de análisis de imágenes, torreta doble del identer y lectura manual de tamaño de huella. Aplicamos una carga de indentación 500 g/f con un tiempo de duración de 25 sg y tomando 5 puntos por probeta, promediando y obteniendo la dureza real de cada probeta, microdureza Vickers (HV).

Figura 22. Microdurómetro digital modelo QV-1000DM.



Fuente. Autor

Figura 23. Resultado prueba microdureza probeta base.



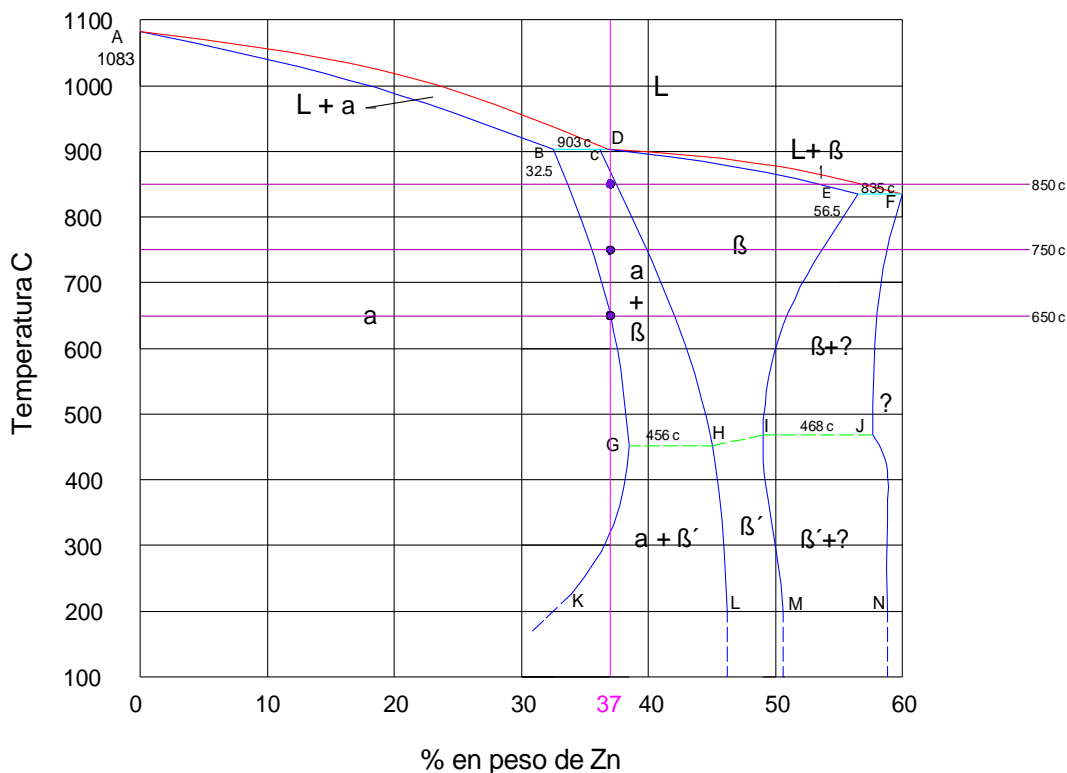
Fuente. Autor

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

Durante el desarrollo del proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1 FASES PRESENTES EN EL LATON C-385 A LAS DIFERENTES TEMPERATURAS DE TRABAJO

Figura 24. Diagrama de fases Cu-Zn con la composición relativa del laton C-385 con (37% Zn)



Fuente. Autor.

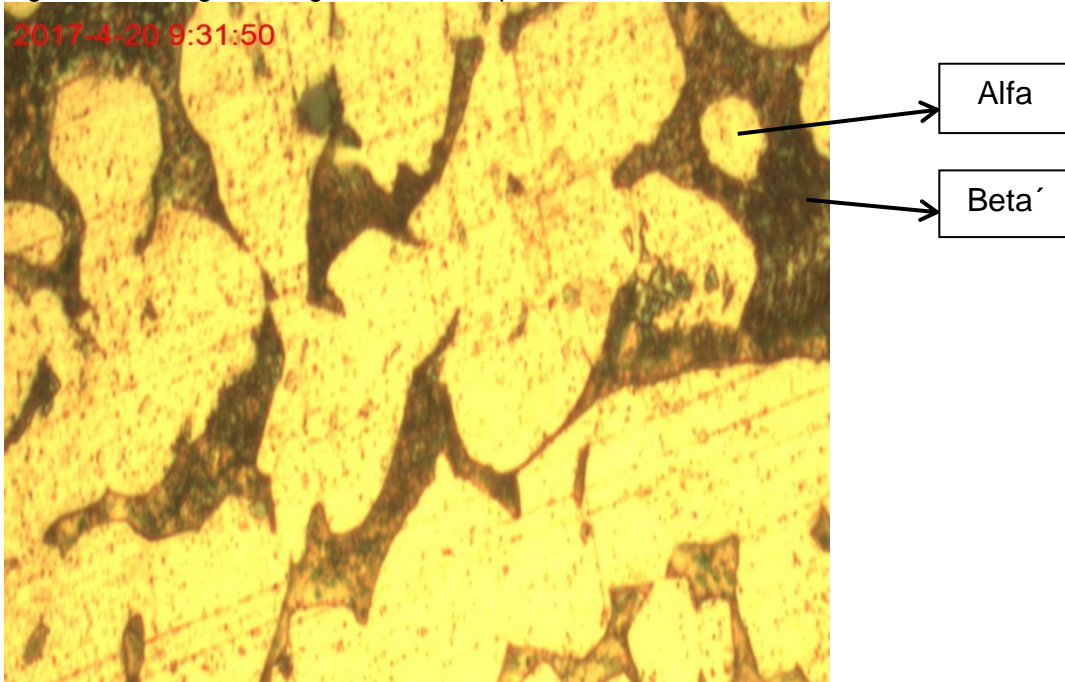
a=alfa

?=gamma

El latón C-385 a temperatura ambiente por su composición química cuenta con una fase alfa más beta prima. Del análisis de la figura 24 se ve en el latón C-385 a 650°C, 750°C y 850°C que contiene fase alfa más beta.

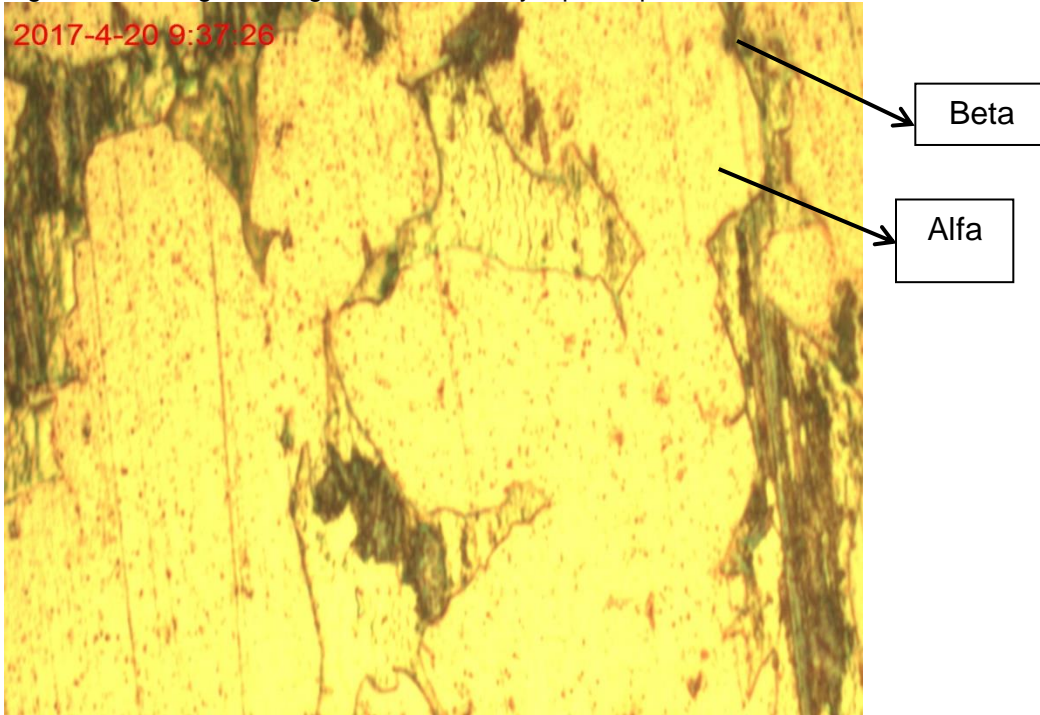
En la micrografía longitudinal a 1000X de latón C-385 encontramos una fase alfa más beta prima para la probeta base (figura 25), para las probetas tratadas a 650°C (figura 26,27 y 28), 750°C (figura 29,30 y 31) y 850°C (figura 32,33 y 34) encontramos dos fases: alfa más beta. Sin importar el número de pases por el tren de laminación ya que esto simplemente ejerce una fuerza mecánica la cual es la causante del cambio de forma y tamaño del grano y no intercede en el cambio de fases del material como se observa en las figuras.

Figura 25. Micrografía longitudinal 1000X probeta base.



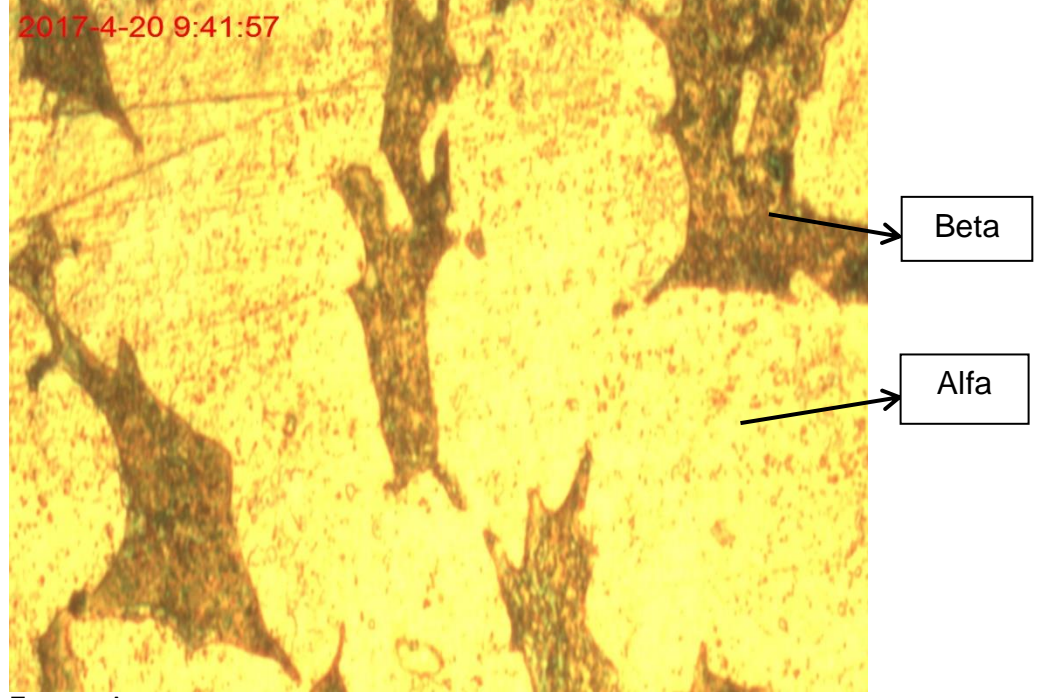
Fuente. Autor.

Figura 26. Micrografía longitudinal a 650°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X.



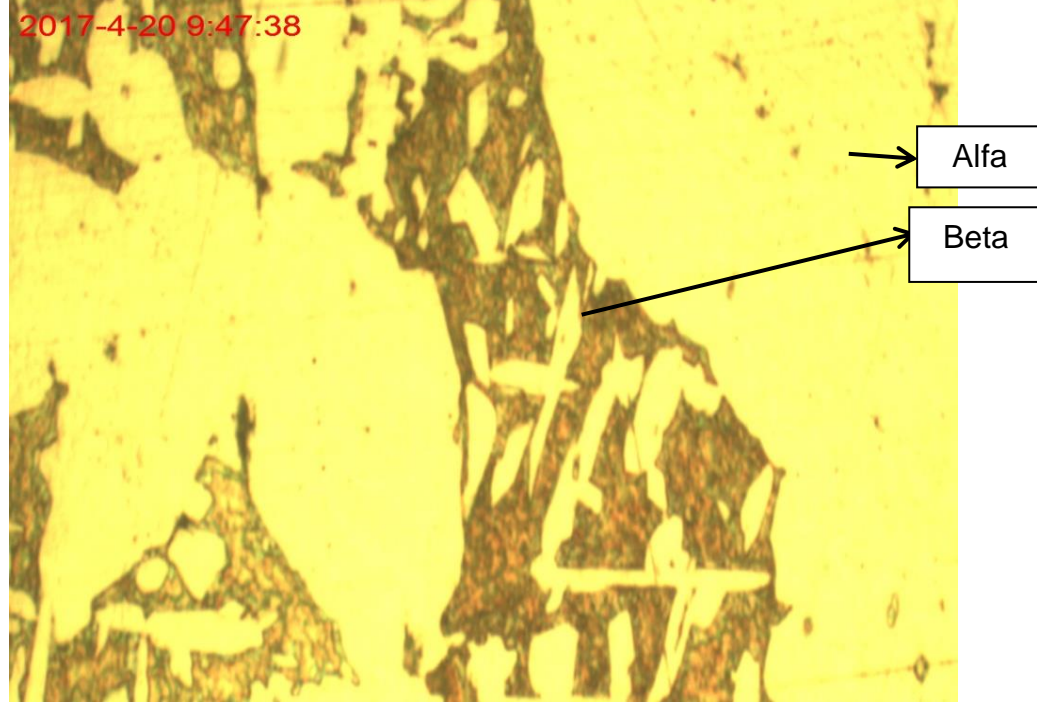
Fuente. Autor.

Figura 27. Micrografía longitudinal a 650°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X.



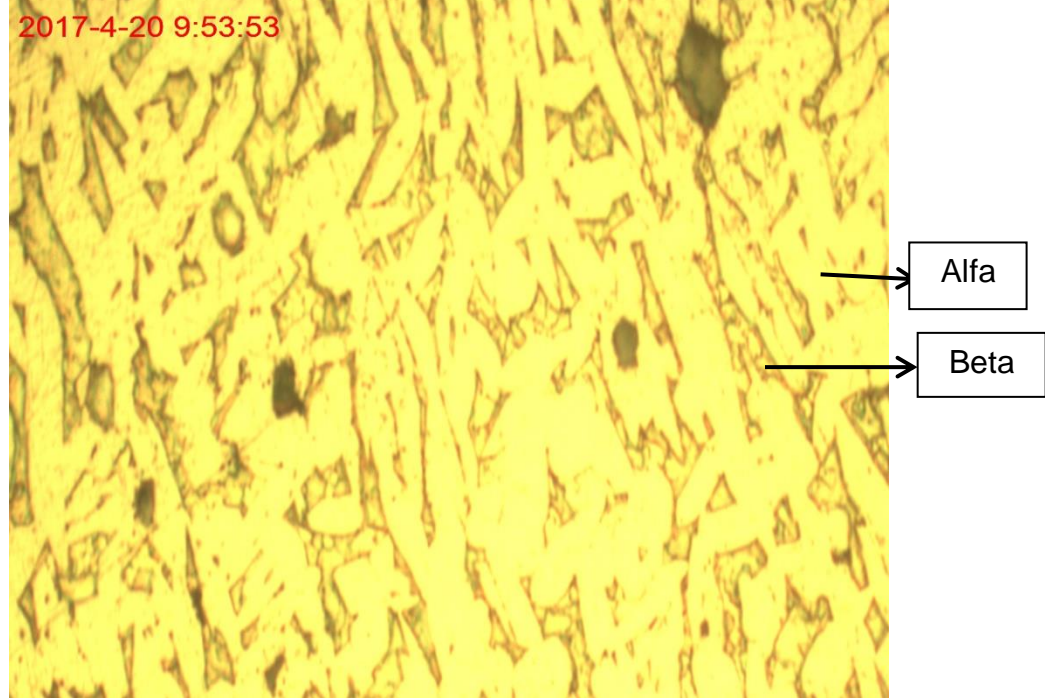
Fuente. Autor.

Figura 28. Micrografía longitudinal a 650°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X.



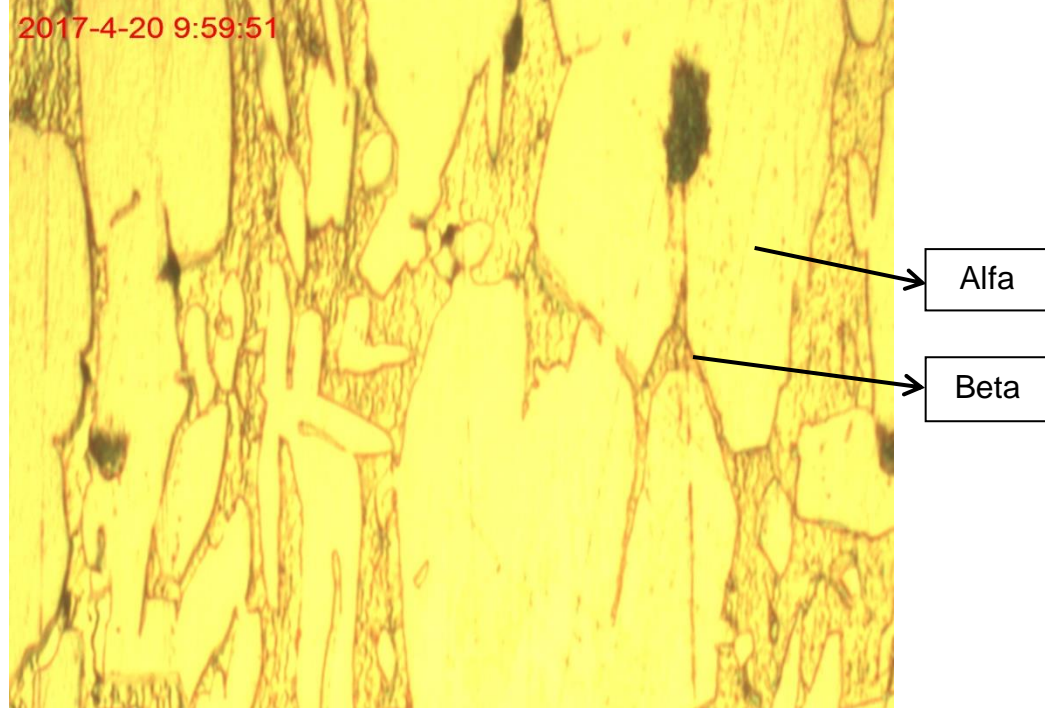
Fuente. Autor.

Figura 29. Micrografía longitudinal a 750°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X.



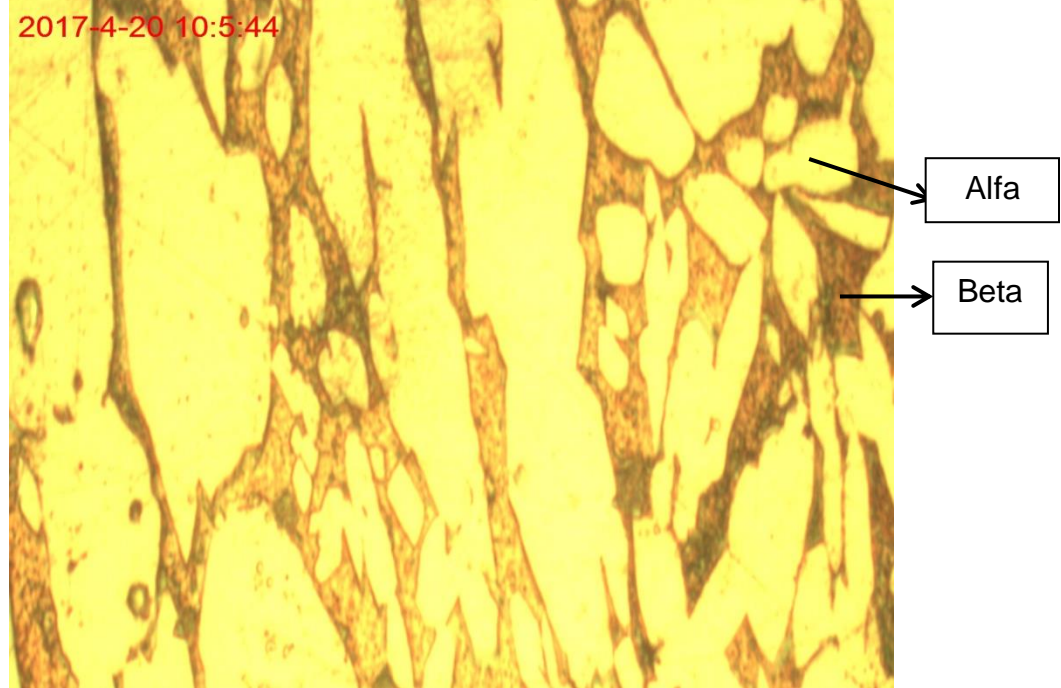
Fuente. Autor.

Figura 30. Micrografía longitudinal a 750°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X.



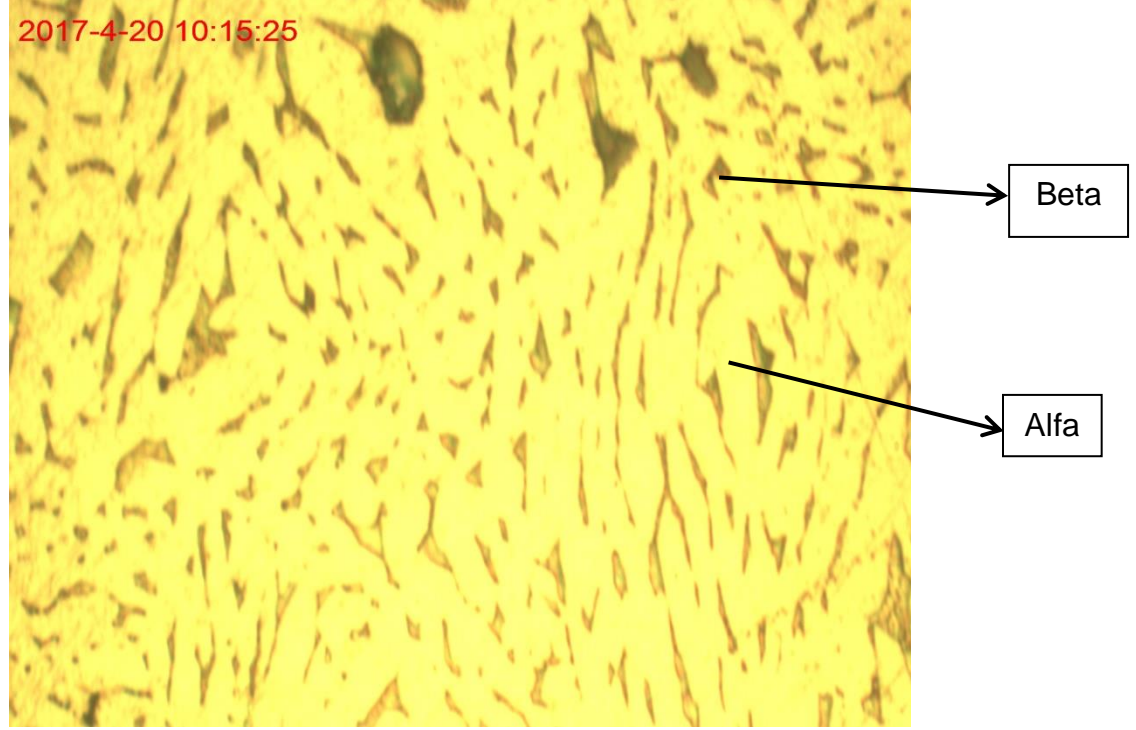
Fuente. Autor.

Figura 31. Micrografía longitudinal a 750°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X.



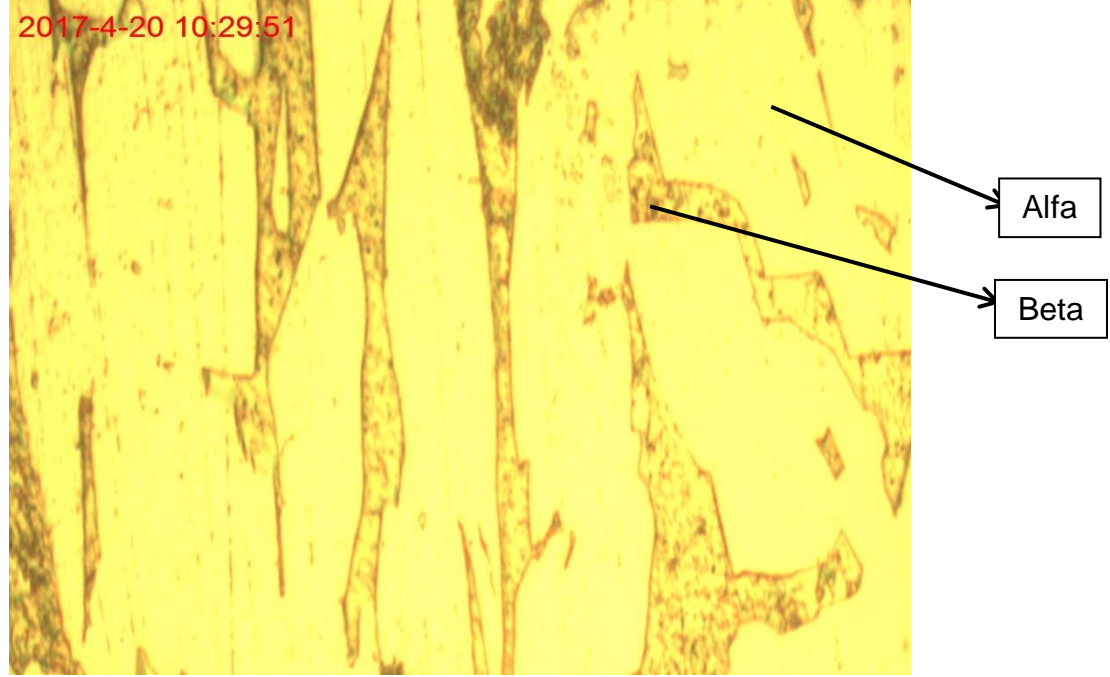
Fuente. Autor.

Figura 32. Micrografía longitudinal a 850°C y 2 pases por el tren de laminación 1000X.



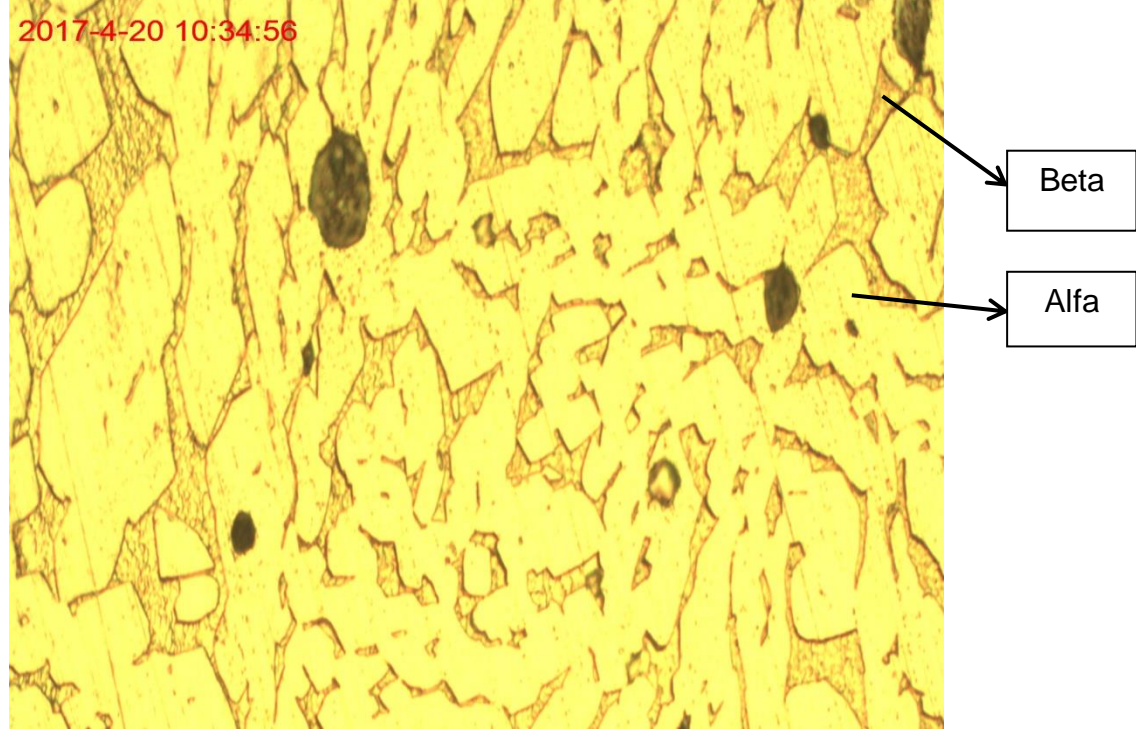
Fuente. Autor.

Figura 33. Micrografía longitudinal a 850°C y 3 pases por el tren de laminación 1000X.



Fuente. Autor.

Figura 34. Micrografía longitudinal a 850°C y 6 pases por el tren de laminación 1000X.



Fuente. Autor.

3.2 TAMAÑO DE GRANO

Para la determinación de tamaño y número de granos usamos el método de intersección lineal de acuerdo a la norma ASTM E – 112.

Reglas de conteo:

Una intercepción es un segmento de la línea de ensayo que pasa sobre un grano. Una intersección es un punto donde la línea de ensayo es cortada por un borde de grano. Cualquiera de los dos puede contarse con idénticos resultados en un material monofásico. Cuando se cuentan intercepciones, los segmentos al final de la línea de ensayo que penetran dentro de un grano, son anotados como media intercepción. Cuando se cuentan intersecciones, los puntos extremos de la línea de ensayo no son intersecciones y no son contados excepto cuando tocan exactamente un borde de grano, entonces debe anotarse $\frac{1}{2}$ intersección. Una intersección coincidente con la unión de tres granos debe anotarse como 1 $\frac{1}{2}$.

$$N^{\circ}L = N_i / (L/M)$$

N°L = número de granos por mm

N_i = número de granos intersectados

L = aumento usado (500X para el caso)

M = aumento predeterminado (400X)

Por tanto, **L** y **M** son un factor de corrección.

Tamaño de grano:

El tamaño de grano está definido por la fórmula:

$$G = (6.643856 * \log_{10}(N^{\circ}L)) - 3.288$$

Figura 35. Micrografía longitudinal probeta base 500X.



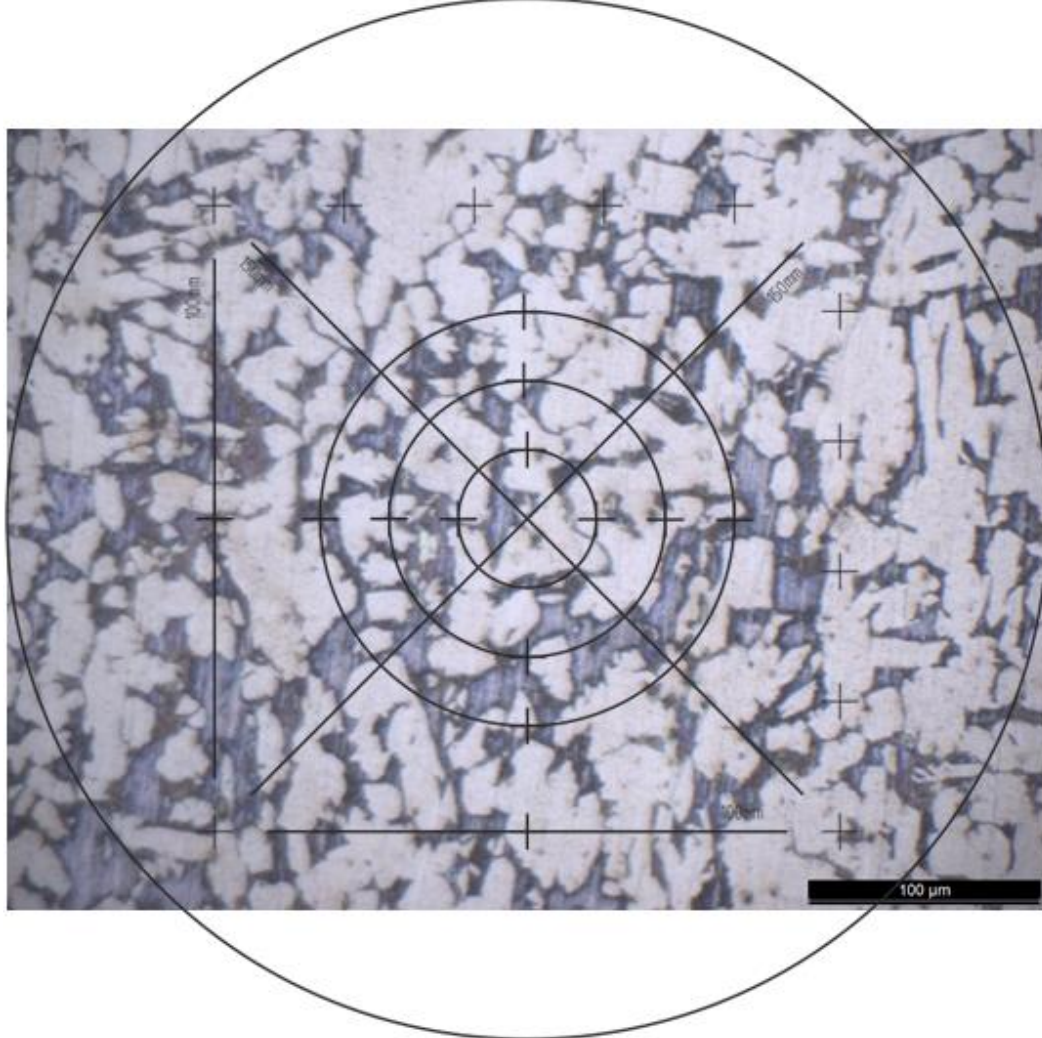
Fuente. Autor.

Tabla 6. Tamaño de grano probeta base.

Ni =	78
L =	500
M =	400
N°L=	62,4
G=	8,64

Fuente. Autor.

Figura 36. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 2 pases por el tren de laminación 500X



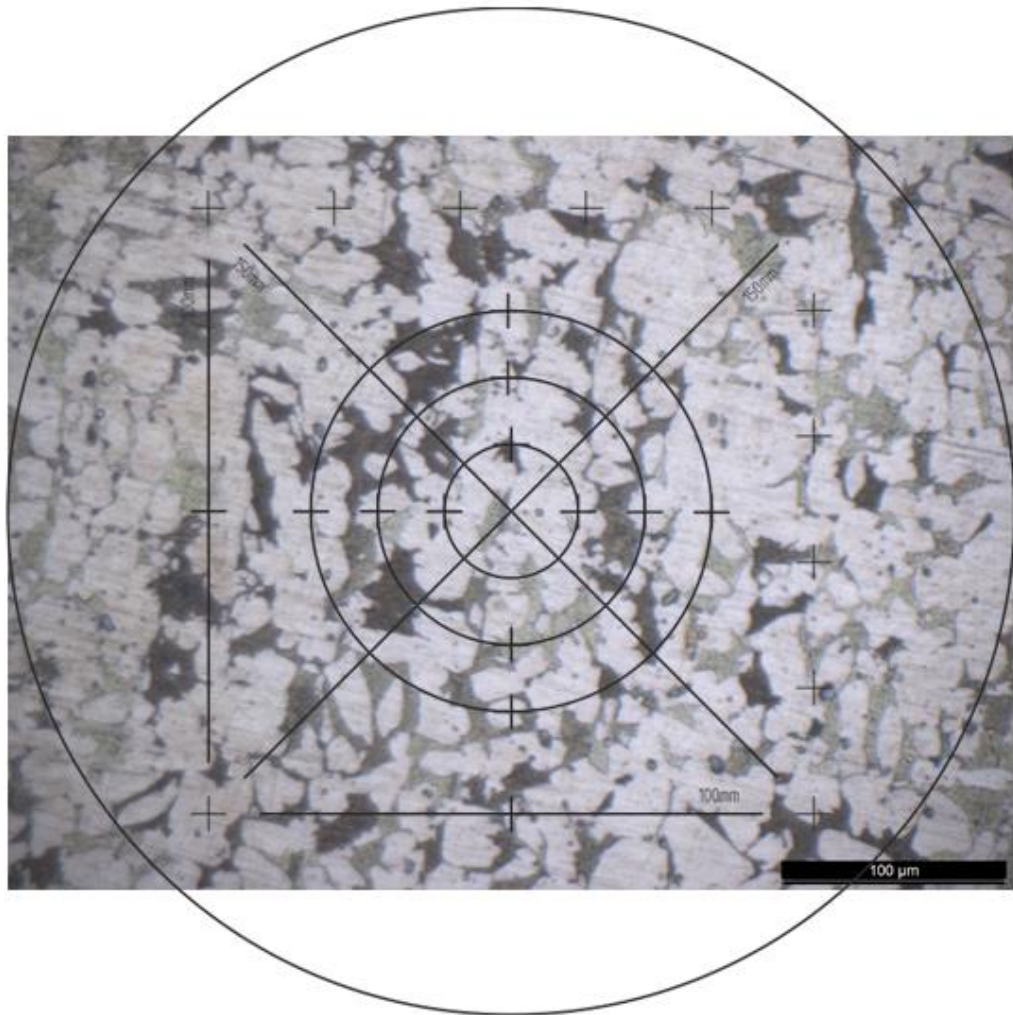
Fuente. Autor.

Tabla 7. Tamaño de grano probeta 650°C y 2 pases por el tren de laminación.

Ni =	52,5
L =	500
M =	400
N°L=	42
G=	7,50

Fuente. Autor.

Figura 37. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 3 pases por el tren de laminación 500X



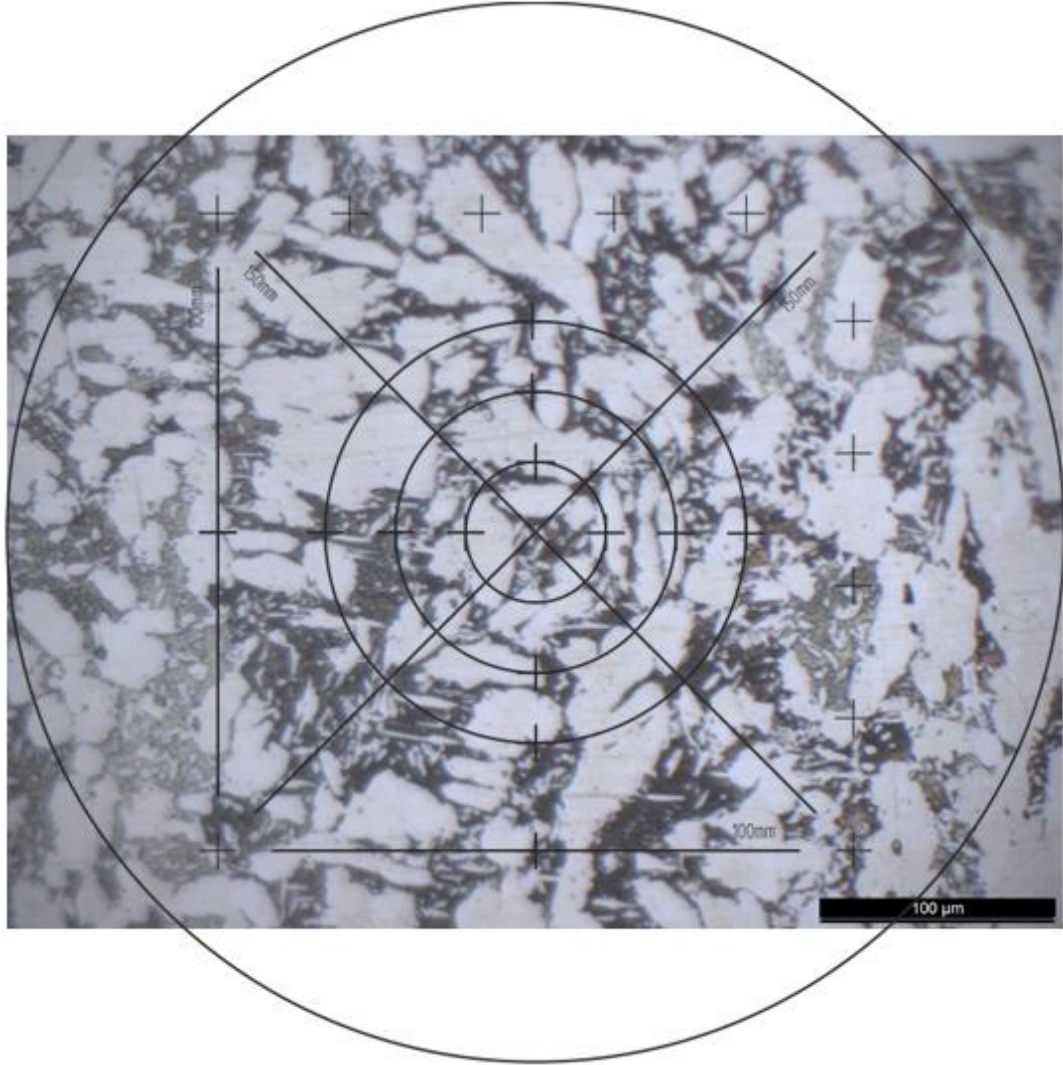
Fuente. Autor.

Tabla 8. Tamaño de grano probeta 650°C y 3 pases por el tren de laminación.

Ni =	42,5
L =	500
M =	400
N°L=	34
G=	6,89

Fuente. Autor

Figura 38. Micrografía longitudinal probeta 650°C y 6 pases por el tren de laminación 500X



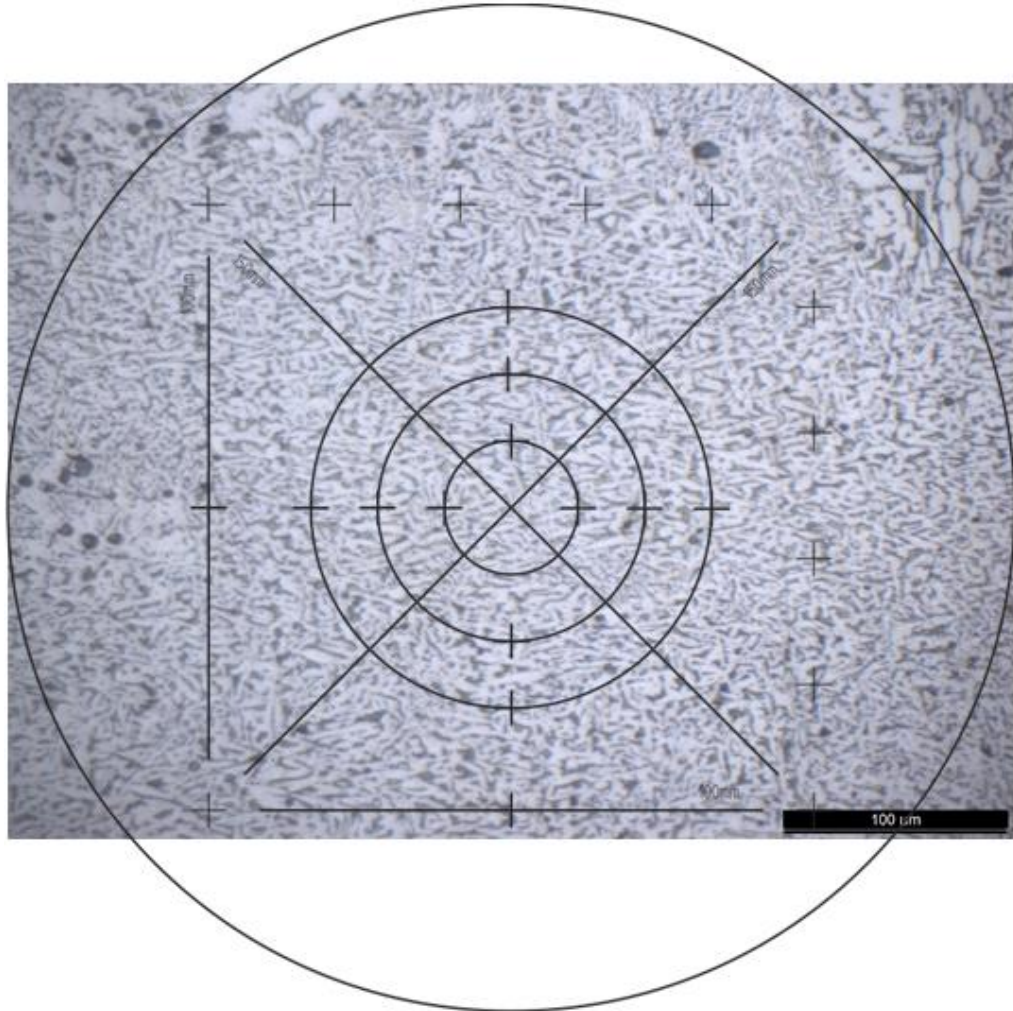
Fuente. Autor.

Tabla 9. Tamaño de grano probeta 650°C y 6 pases por el tren de laminación.

Ni =	34,5
L =	500
M =	400
N°L=	27,6
G=	6,29

Fuente. Autor.

Figura 39. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 2 pases por el tren de laminación 500X.



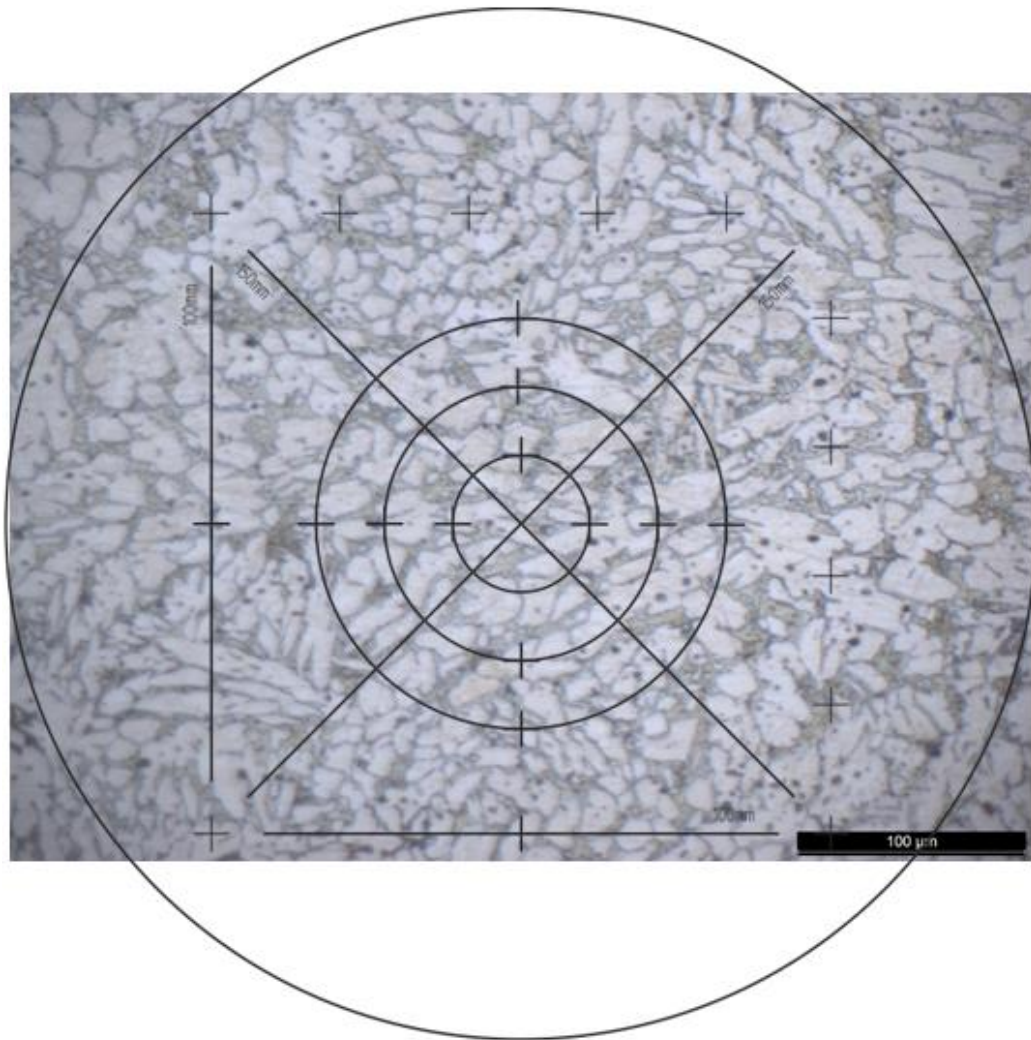
Fuente. Autor.

Tabla 10. Tamaño de grano probeta 750°C y 2 pases por el tren de laminación.

Ni =	237
L =	500
M =	400
N°L=	189,6
G=	11,85

Fuente. Autor

Figura 40. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 3 pases por el tren de laminación 500X.



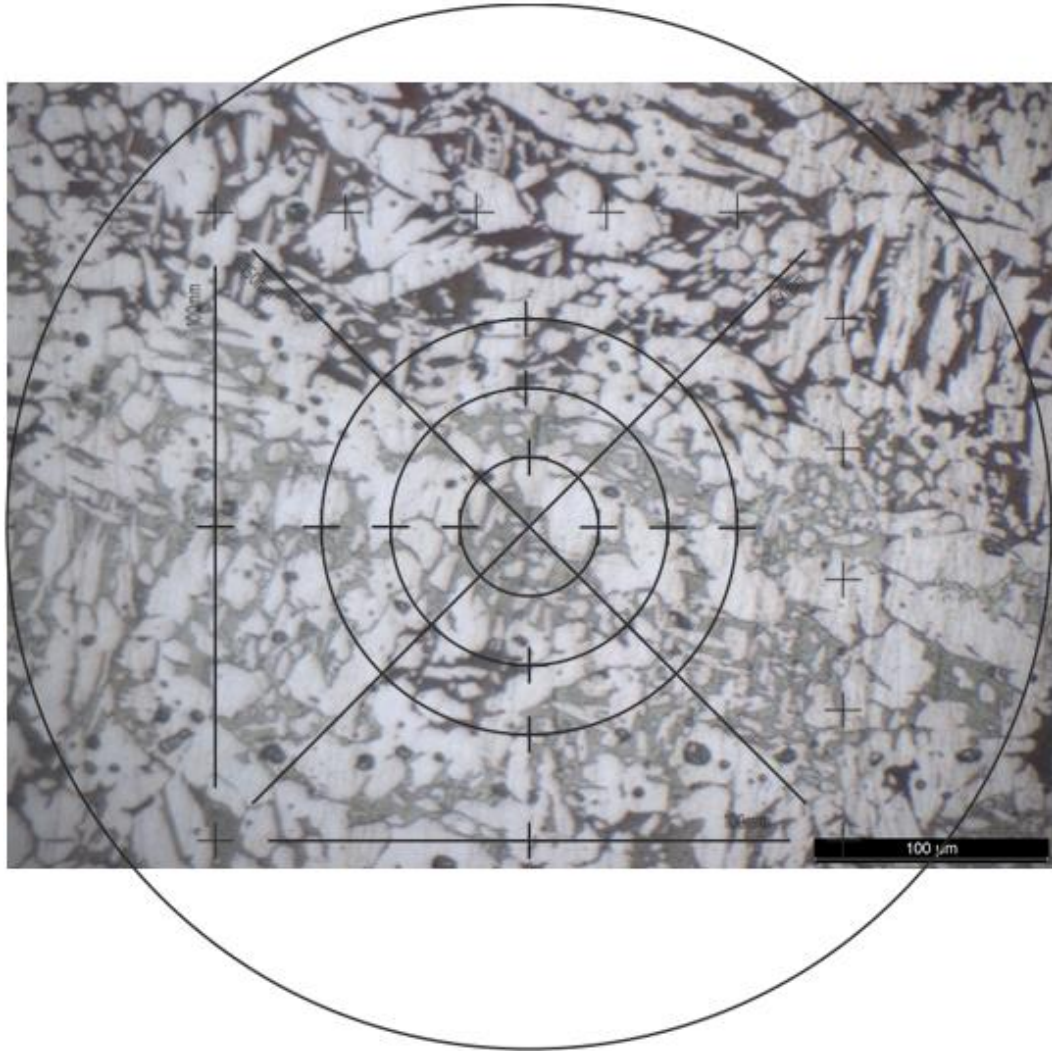
Fuente. Autor

Tabla 11. Tamaño de grano probeta 750°C y 3 pases por el tren de laminación.

Ni =	87
L =	500
M =	400
N°L=	69,6
G=	8,95

Fuente. Autor.

Figura 41. Micrografía longitudinal probeta 750°C y 6 pases por el tren de laminación 500X.



Fuente. Autor.

Tabla 12. Tamaño de grano probeta 750°C y 6 pases por el tren de laminación.

Ni =	57
L =	500
M =	400
N°L=	45,6
G=	7,73

Fuente. Autor.

Figura 42. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 2 pases por el tren de laminación 500X.



Fuente. Autor.

Tabla 13. Tamaño de grano probeta 850°C y 2 pases por el tren de laminación.

Ni =	866
L =	500
M =	400
N°L=	692,8
G=	15,58

Fuente. Autor.

Figura 43. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 3 pases por el tren de laminación 500X.



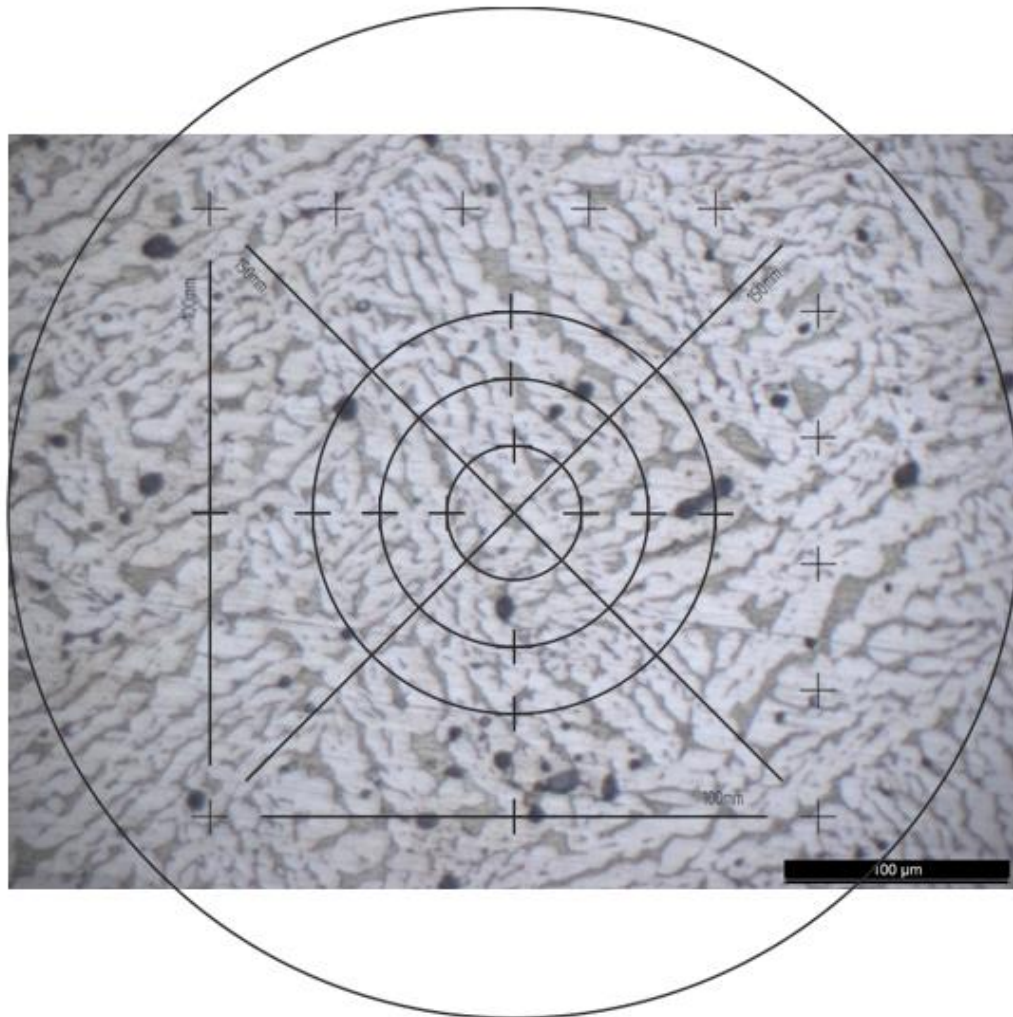
Fuente. Autor.

Tabla 14. Tamaño de grano probeta 850°C y 3 pases por el tren de laminación.

Ni =	52
L =	500
M =	400
N°L=	41,6
G=	7,47

Fuente. Autor.

Figura 44. Micrografía longitudinal probeta 850°C y 6 pases por el tren de laminación 500X.



Fuente. Autor

Tabla 15. Tamaño de grano probeta 850°C y 6 pases por el tren de laminación.

Ni =	70
L =	500
M =	400
N°L=	56
G=	8,33

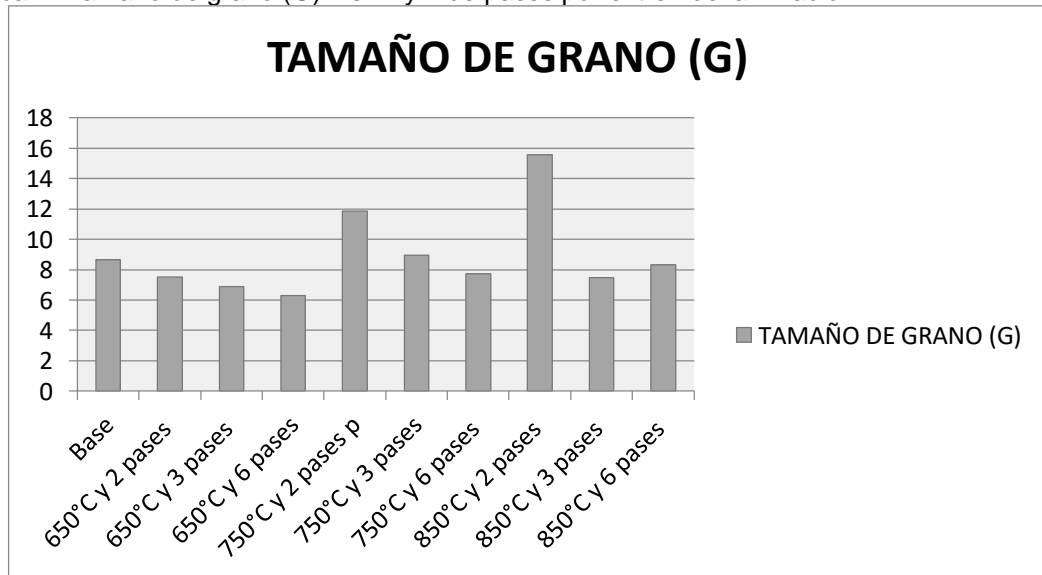
Fuente. Autor.

Tabla 16. Tamaño de grano.

Probeta	Tamaño de grano (G)
Base	8,64
650°C y 2 pases por el tren de laminación	7,50
650°C y 3 pases por el tren de laminación	6,89
650°C y 6 pases por el tren de laminación	6,29
750°C y 2 pases por el tren de laminación	11,85
750°C y 3 pases por el tren de laminación	8,95
750°C y 6 pases por el tren de laminación	7,73
850°C y 2 pases por el tren de laminación	15,58
850°C y 3 pases por el tren de laminación	7,47
850°C y 6 pases por el tren de laminación	8,33

Fuente. Autor

Grafica 1. Tamaño de grano (G) vs T° y # de pases por el tren de laminación.



Fuente. Autor

3.3 MICRODUREZA VICKERS

Resultados de la prueba de microdureza realizada en los laboratorios de la UPTC:

Tabla 17. Resultados microdureza realizada en la UPTC.

TEMPERATURA (C°)	N. DE PASES	FUERZA APLICADA(gf)	DURACION (s)	MICRODUREZA (HV)
Ambiente	0	500	25	121.43
650	2	500	25	108.16
650	3	500	25	103.87
650	6	500	25	121.27
750	2	500	25	121.49
750	3	500	25	111.99
750	6	500	25	112.75
850	2	500	25	102.25
850	3	500	25	96.19
850	6	500	25	94.24

Fuente. Autor.

Resultados de la prueba de microdureza realizada en el laboratorio de metalografía del SENA Centro de Materiales y Ensayos ubicado en la calle30 con 1 de mayo en Bogotá D.C:

Tabla 18. Resultados microdureza realizada en el SENA.

TEMPERATURA (C°)	N. DE PASES	FUERZA APLICADA(gf)	DURACION (s)	MICRODUREZA (HV)
Ambiente	0	500	25	122.35
650	2	500	25	109.06
650	3	500	25	105.1
650	6	500	25	121.98
750	2	500	25	122.55
750	3	500	25	111.87
750	6	500	25	111.78
850	2	500	25	103.47
850	3	500	25	96.87
850	6	500	25	95.53

Fuente. Autor.

Al comparar los valores obtenidos en los dos ensayos (tabla 16 y tabla 17) determinó que la prueba de microdurezas se realizó de manera adecuada ya que los valores son bastante similares, los motivos de desfase en los resultados puede ser tema de calibración de los equipos o destreza de manipulación del operario.

Al observar la gráfica (1), podemos entender por qué la microdureza de las probetas disminuye en vez de aumentar; esto se debe a que en su gran mayoría el grano tiende a aumentar su tamaño. Si observamos la probeta trabajada a 750°C y 2 pases por el tren de laminación esta es la única que supera la microdureza de la probeta base, esto se debe a que sufrió un refinamiento en su tamaño de grano y obtuvo una distribución adecuada, aunque las probetas trabajadas a (750°C-3 pases y 850°C-2 pases) también refinan su grano por lo contrario su microdureza disminuye, esto quizás por su distribución de grano.

4. CONCLUSIONES.

El latón C-385 se comporta de manera no uniforme e inesperada al aplicar el tratamiento termomecánico ya que en algunos casos su tamaño de grano aumento, causando disminución de la dureza; y en otros se logró refinamiento de grano pero no se aumentó el valor de la dureza significativamente.

La temperatura optima de transformación microestructural (grano fino) del latón C-385 por tratamiento termomecánico es 750°C y 850°C, ya que a 750°C se logró aumentar la dureza y a 850°C se obtuvo el tamaño de grano más fino.

El número de pases (fuerza mecánica) por el tren de laminación adecuado para la deformación y refinamiento de grano en el latón C-385 es de 2.

El latón C-385 a temperatura ambiente cuenta con dos fases las cuales son alfa y beta prima, al incrementar la temperatura a las establecidas para el desarrollo del trabajo encontramos fase alfa y beta, variando únicamente el contenido de cada una según regla de la palanca.

La microdureza en la probeta trabajada a 750°C y 2 pases por el tren de laminación fue la que alcanzo mayor valor, ya que su distribución de grano es compacta.

La mayor modificación por tratamiento termomecánico del latón C-385 se obtuvo en las propiedades metalúrgicas de dureza y tamaño de grano, sin embargo el efecto solo alcanzo alrededor de un 10%.

5. RECOMENDACIONES.

Revisar el buen estado de funcionamiento de todos los equipos a utilizar durante las pruebas.

Evitar la pérdida de temperatura a la hora de pasar las probetas por el tren de laminación.

Realizar un pulido impecable en las probetas para obtener micrografías de alta calidad limpias de rayones o suciedades.

Utilizar el reactivo adecuado para el ataque químico de las probetas.

Sumergir adecuadamente y durante el tiempo recomendado teóricamente las probetas en el reactivo químico para evitar quemar y dañar las muestras.

Verificar que el microdurómetro se encuentre bien calibrado para no obtener datos erróneos.

Si no se está seguro de los datos obtenidos repetir el ensayo.

Continuar con más pruebas con diferentes temperaturas y número de pases por el tren de laminación a fin de alcanzar mayores durezas y refinamiento de tamaño de grano.

BIBLIOGRAFÍA

SYDNEY H. AVNER. Introducción a la metalurgia física. Parte XII. Pág. 457, 460, 461.

EMAC COMPLEMENTOS S.L.2010. Ficha técnica latón. Emac América Ilc. España.

CALLISTER, William. "Materials science and Engineering an introduction" John Wiley & Sons. Inc. México, 2007

I.E.S VILLALBA HERVAS. Materiales de uso técnico. Tecnología Industrial I. Pág. 1-2.

[file:///C:/Users/CONSULTA/Downloads/TCCQ1de1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/CONSULTA/Downloads/TCCQ1de1%20(1).pdf)

<http://eprints.uanl.mx/2216/1/1080187992.pdf>

RODEL CARLOS A. Laminación. Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI. Colombia.

ENRIQUEZ B. JOSE LUIS; TREMP GUERRA ENRIQUE; DE BENGY SUSANA DE ELIO; FERNANDEZ S. DANIEL. 2010. Laminación. Monografías sobre tecnología del acero. Parte IV. Pág. 36.

ATAQUE QUÍMICO METALOGRAFICO. Recuperado de: <https://materiales.wikispaces.com/Ataque+qu%C3%ADmico+metalogr%C3%A1fico>

METALOGRAFÍA. Recuperada de: <http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/Tecnologia/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LALABORATOR/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf> Pág. 1-2-3-4-5.

MEDIDA DE TAMAÑO DE GRANO. Recuperado de: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/grano.htm>

ASTM E112. American society for testing and materials. Standart test methods for determining average grain size.

ENSAYO DE MATERIALES. Recuperado de: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/ENSAYOS%20DE%20MATERIALES/ensayos-de-dureza.pdf> Pág. 1, 3, 5, 6.

ANEXOS

ANEXO A. FORMATO TOMA DE DUREZAS.

Toma dureza probeta base.

Base

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 125.96
H 2 = 119.26
H 3 = 120.05
H 4 = 122.23
H 5 = 119.64

STATISTIC

N = 5
AVE= 121.43
DD = 0.06
S = 2.78
Max= 125.96
Min= 119.26

Toma dureza probeta 650°C Y 2 pases

650 2

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 113.75
H 2 = 104.77
H 3 = 108.72
H 4 = 110.27
H 5 = 103.28

STATISTIC

N = 5
AVE= 108.16
DD = 0.10
S = 4.22
Max= 113.75
Min= 103.28

Toma dureza probeta 650°C Y 3 pases

650 3

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 105.00
H 2 = 108.20
H 3 = 105.92
H 4 = 96.62
H 5 = 103.61

STATISTIC

N = 5
AVE= 103.87
DD = 0.11
S = 4.38
Max= 108.20
Min= 96.62

Toma dureza probeta 650°C y 6 pases

650 6

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 122.61
H 2 = 122.19
H 3 = 122.90
H 4 = 119.13
H 5 = 119.54

STATISTIC

N = 5
AVE= 121.27
DD = 0.03
S = 1.80
Max= 122.90
Min= 119.13

Toma dureza probeta 750°C y 2 pases

750 2

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 119.84
H 2 = 124.65
H 3 = 120.46
H 4 = 120.29
H 5 = 122.23

STATISTIC

N = 5
AVE= 121.49
DD = 0.04
S = 1.98
Max= 124.65
Min= 119.84

Toma dureza probeta 750°C y 3 pases

750 3

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 111.48
H 2 = 108.25
H 3 = 112.41
H 4 = 113.53
H 5 = 114.29

STATISTIC

N = 5
AVE= 111.99
DD = 0.05
S = 2.35
Max= 114.29
Min= 108.25

Toma dureza probeta 750°C y 6 pases

750 6

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 113.25
H 2 = 113.84
H 3 = 111.97
H 4 = 112.75
H 5 = 111.94

STATISTIC

N = 5
AVE= 112.75
DD = 0.02

Toma dureza probeta 850°C y 2 pases

850 2

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 101.22
H 2 = 100.17
H 3 = 100.74
H 4 = 102.63
H 5 = 106.49

STATISTIC

N = 5
AVE= 102.25
DD = 0.06
S = 2.54
Max= 106.49
Min= 100.17

Toma dureza probeta 850°C y 3 pases

850 3

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 97.24
H 2 = 95.21
H 3 = 95.89
H 4 = 96.03
H 5 = 96.57

STATISTIC

N = 5
AVE= 96.19
DD = 0.02
S = 0.76
Max= 97.24
Min= 95.21

Toma dureza probeta 850°C y 3 pases

850 6.

TEST REPORT

MEASURING LOG : 'HV'
MEASURING FORCE : 500gf
LOAD DURATION : 25
TEST DATE : 2017/03/21

PART No. :

TESTER No. :

H 1 = 96.20
H 2 = 93.28
H 3 = 94.92
H 4 = 93.24
H 5 = 93.56

STATISTIC

N = 5
AVE= 94.24
DD = 0.03
S = 1.29
Max= 96.20
Min= 93.24

ANEXO B. PRUEBA MICRODUREZA SENA CME.

Laboratorio metalografía CME SENA
microdureza CME

Área equipos y toma



Microdurómetro utilizado para el ensayo CME SENA



ANEXO C. PROCESO TRATAMIENTO TERMOMECAÁNICO

Mufla lab tech



Laminadora tipo dúo de laboratorio



Inicio calentamiento probetas



Extraccion probeta para laminacion



Pase de laminacion inicial



Pase repetitivo por el tren de laminacion

