

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Fabricación de Bronce al Manganeso UNS C86500 Según Norma
ASTM B584 para Aplicaciones Marinas”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Víctor Rafael Palacios Cevallos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ignacio Wiesner, Director de Tesis, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA:

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcelo Espinosa L.
COORDINADOR FIMCP
VOCAL

Ing. Andrés Rigail C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Víctor Rafael Palacios Cevallos

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en la fabricación de bronce UNS C86500 en base a materiales de reciclaje; el proceso empieza en laboratorio con coladas a pequeña escala, las cuales son analizadas por el método de absorción atómica para conocer la composición química y así corregirlas progresivamente hasta llegar a los resultados que se ajusten a la norma ASTM B584.

Una vez alcanzada la composición química, se realizaron las demás pruebas de caracterización del material como: ensayos de tensión, microscopías, dureza. Los resultados conseguidos se verificaron por medio de la fabricación de una hélice de gran tamaño en el taller artesanal que ha hecho estas piezas por medio de reciclaje de chatarra de latón por más de cincuenta años. La experiencia ha servido para cambiar la producción con poco o ningún control al procedimiento que aquí se recomienda y que tiene la garantía de resultados consistentes con la normalización.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1.....	3
1. METALURGIA DE LA ALEACIÓN	3
1.1 Importancia de la aleación para la fabricación de hélices.....	3
1.2 Metalurgia de la aleación.....	5
1.3 Propiedades mecánicas de la aleación.....	9
1.4 Métodos tradicionalmente usados para fabricar hélices	14
CAPÍTULO 2.....	18
2. METODOLOGÍA EN LABORATORIO.....	18
2.1 Materiales y equipos utilizados.....	22
2.2 Ensayos preliminares.....	30
2.3 Caracterización de las aleaciones obtenidas por medio de Análisis Químico, Ensayos Mecánicos y Microscopía	32
2.4 Ensayos finales con variación de los elementos de aleación y control de aleación en colado de hélices.....	47
2.5 Pruebas de homologación de la aleación colada en molde con la norma ASTM B584	57
CAPITULO 3.....	61
3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	61
3.1 Comparación de los resultados con la norma.....	61
3.2 Método de reciclaje.....	63
CAPITULO 4.....	65

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Recomendaciones	67
APÉNDICES	68
BIBLIOGRAFÍA.....	82

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing Materials (Asociación Americana para Pruebas de Materiales)
TUC	Talleres Unidos Cevallos
UNS	Unified Numbering System (Sistema de Numeración Unificado)
Cu	Cobre
Zn	Zinc
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
Al	Aluminio
Ni	Niquel
Sn	Estaño
Pb	Plomo
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
MPa	Mega Pascales
ksi	lbs/in ² x1000 (libras/pulgadas ²)
in	inch (pulgadas)
HB	Hardness Brinell (Dureza Brinell)
CO ₂	Dióxido de Carbono
kg	Kilogramo
gr	Gramo
lbs	Libras
SHG	Super High Grade (Grado Super Alto)
ml	Mililitros
m	Metros
α	Fase con porcentajes entre 0 a 38,95% de Zinc
β	Fase con porcentajes entre 36,8 a 56,5% de Zinc
β'	Fase con porcentajes entre 45,5 a 50,7 de Zinc
γ	Fase con porcentajes entre 57,7 a 70,6% de Zinc
δ	Fase con porcentajes entre 73,02% a 76,5 de Zinc
ε	Fase con porcentajes entre 78,5 a 88,3% de Zinc
η	Fase con porcentajes entre 97,5 a 100% de Zinc
%	Porcentaje
σ _f	Esfuerzo a la fluencia
σ _t	Esfuerzo a la tracción

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. DIAGRAMA DE FASE CU-ZN	6
FIGURA 1.2. (A) 70% CU 30% ZN MOSTRANDO GRANOS DE COBRE SÓLIDO EQUIAXIALES, (B) 60% CU 40% ZN MOSTRANDO DENDRITAS DE SOLUCIÓN SÓLIDA DE COBRE EN UNA MATRIZ BETA, (C) 60% CU 40% ZN MOSTRANDO AGUJAS DE SOLUCIONES SÓLIDAS DE COBRE FORMADAS EN LAS FRONTERAS DE GRANO BETA DEBIDO AL TEMPLE DE LA ESTRUCTURA NETAMENTE BETA	8
FIGURA 1.3. MICRO ESTRUCTURA DEL BRONCE AL MANGANESO TIPO UNS C86500.....	11
FIGURA 1.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BRONCE AL MANGANESO UNS C86500	13
FIGURA 1.5. DUREZA DE LA ALEACIÓN UNS C86500.....	14
FIGURA 1.6. MOLDEO DE UNA HÉLICE EN ARENA.....	16
FIGURA 2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA OBTENCIÓN DE LA ALEACIÓN	19
FIGURA 2.2. DESECHO DE COBRE PROVENIENTE DE CABLES CONDUCTORES ELÉCTRICOS	23
FIGURA 2.3. ZINC SHG (SUPER HIGH GRADE)	24
FIGURA 2.4. ALUMINIO DE DESECHO PROVENIENTE DE CABLES CONDUCTORES ELÉCTRICOS	24
FIGURA 2.5. PIEDRAS DE FERROMANGANESO	25
FIGURA 2.6. NÍQUEL ELECTROLÍTICO	26
FIGURA 2.7. MINI HORNO DE CRISOL CON CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE INTRAMET	27
FIGURA 2.8. CRISOLES DE GRAFITO USADOS EN LA FUNDICIÓN.	27
FIGURA 2.9. MOLDES METÁLICOS UTILIZADOS PARA COLADO DE LAS PROBETAS	28
FIGURA 2.10. ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	28
FIGURA 2.11. MAQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN SHIMADZU UH 600 KNI UBICADA EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS METALOGRAFICOS Y DE MATERIALES (LEMAT).....	29
FIGURA 2.12. DURÓMETRO LECO UBICADO EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS METALOGRAFICOS Y DE MATERIALES (LEMAT)	29
FIGURA 2.13. MICROSCOPIO ASISTIDO POR COMPUTADORA	30

FIGURA 2.14. VIRUTA DE MUESTRAS DE BRONCE EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO Y ACIDO CLORHÍDRICO CONCENTRADO.....	34
FIGURA 2.15. MUESTRAS EN SORBONA PARA SU DISOLUCIÓN ...	35
FIGURA 2.16. MUESTRAS EN REVERBERO PARA AYUDAR A DISOLVER LAS MUESTRAS EN LOS ÁCIDOS.....	35
FIGURA 2.17. LAS MUESTRAS YA DILUIDAS EN AGUA DESTILADA	36
FIGURA 2.18 (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 1. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR FeCl_3 , 50 ML HCl, 100 ML H_2O_2	42
FIGURA 2.19. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 2. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	42
FIGURA 2.20. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 3. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	43
FIGURA 2.21. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 4. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	43
FIGURA 2.22. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 5. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR FeCl_3 , 50 ML HCl, 100 ML H_2O_2	44
FIGURA 2.23. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 6. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	44
FIGURA 2.24. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 7. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	45
FIGURA 2.25. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 8. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	45
FIGURA 2.26. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 9. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR FeCl_3 , 50 ML HCl, 100 ML H_2O_2	46
FIGURA 2.27. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 10. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O	46
FIGURA 2.28. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 11. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FeCl_3 , 50 ML HCl, 100 ML H_2O_2	50

FIGURA 2.29. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 12. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FeCl ₃ , 50 ML HCl, 100 ML H ₂ O ₂	53
FIGURA 2.30. HÉLICE UNA VEZ FUERA DEL MOLDE	55
FIGURA 2.31. HÉLICE EN PROCESO DE MAQUINADO PARA DAR EL BALANCEO ESTÁTICO	56
FIGURA 2.32. (320X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 13. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FeCl ₃ , 50 ML HCl, 100 ML H ₂ O ₂	59
FIGURA 2.33. (310X) MICROESTRUCTURA DEL BRONCE AL MANGANESO TIPO UNS C86500.....	59
FIGURA 2.34. (758X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 13 EN MICROSCOPIO SEM DEL CIDNA. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR FeCl ₃ , 50 ML HCl, 100 ML H ₂ O ₂	60
FIGURA 3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA EL TALLER OBTENIDA DE LAS EXPERIENCIAS GANADAS EN LA PRÁCTICA DE LABORATORIO	64

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES BRONCES EN EL DIAGRAMA DE FASE	7
TABLA II. DIFERENTES FASES PRESENTES EN EL DIAGRAMA Cu-Zn	9
TABLA III. RANGOS PERMITIDOS EN LA NORMA ASTM B584	20
TABLA IV. PORCENTAJES USADOS EN LOS ENSAYOS INICIALES	30
TABLA V. PESAJE INICIAL	31
TABLA VI. PESOS A SER DISUELTOS PARA ANÁLISIS QUÍMICOS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	33
TABLA VII. LECTURAS INICIALES DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	36
TABLA VIII. PORCENTAJES DE MUESTRAS INICIALES	38
TABLA IX. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN	39
TABLA X. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA	41
TABLA XI. NUEVOS PORCENTAJES USADOS PARA EL CALCULO DE PESOS NECESARIOS PARA NUEVAS FUSIONES	47
TABLA XII. PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE 1000 GR. DE ALEACIÓN	47
TABLA XIII. PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO ..	48
TABLA XIV. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCION.....	49
TABLA XV. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA.....	49
TABLA XVI. NUEVOS PORCENTAJES USADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS PESOS NECESARIOS EN LAS NUEVAS FUSIONES.....	51
TABLA XVII. PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE 1000 GR.	51
TABLA XVIII. PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO	52
TABLA XIX. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION.....	52
TABLA XX. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA.....	53
TABLA XXI. PORCENTAJES USADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS PESOS NECESARIOS EN LA FUSIÓN DE UNA HÉLICE MARINA	54
TABLA XXII. PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE UNA HÉLICE MARINA	54

TABLA XXIII. PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANALISIS QUIMICO	57
TABLA XXIV. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION.....	58
TABLA XXV. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA.....	58
TABLA XXVI. TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS VS. NORMA	61

INTRODUCCIÓN

El reciclaje de chatarra para la fundición es una práctica de algunos años, según lo confirman talleres que han funcionado por años en el sector del astillero, que fue por mucho tiempo núcleo industrial de Guayaquil, en todo ese tiempo se usó como materia prima chatarra reciclada solamente, la fabricación de aleaciones nunca fue práctica general y todavía es una novedad el uso de normas para la producción de piezas fundidas para aplicaciones marinas como porta bocines, prensaestopas, hélices propulsoras y otras piezas, por ende el nivel tecnológico del medio de la fundición debe considerarse pobre.

El objetivo general de esta tesis es introducir a este mercado un material normalizado según estándares internacionales para la producción de piezas fundidas de uso marino como las antes mencionadas.

Además, este material debe ser competitivo en relación al precio y también tener una alta calidad. Para alcanzar éste objetivo se debe usar materia prima reciclada, teniendo presente que cumpla con el estándar ASTM B584 y que se pueda producir con técnicas tradicionales, como la fundición en hornos de crisol y moldeo con arena.

Los objetivos específicos son:

- Producir este material usando materia prima reciclada
- Uso de normas internacionales (ASTM)
- Usar técnicas experimentales de bajo costo
- Llegar a probar el método con una práctica real, y
- Transferir la tecnología al sector de la fundición artesanal

CAPÍTULO 1

1. METALURGIA DE LA ALEACIÓN

1.1 Importancia de la aleación para la fabricación de hélices

Talleres Unidos Cevallos (TUC) es un negocio familiar dedicado al mantenimiento de barcos camaroneros, el cual por muchos años fabrica hélices para dichas embarcaciones en base a material reciclado de bronce. Esto da como resultado una hélice con valores desconocidos en su composición química, resistencia mecánica, dureza, etc.

Debido al aumento en el precio de los materiales a nivel mundial, TUC se vio en la obligación de producir un material que sea competitivo en el mercado dando una alta calidad a un precio accesible.

Comparando los diferentes materiales comúnmente usados en la fabricación de hélices marinas, destacan 3 tipos de bronce, además el acero inoxidable:

- Acero Inoxidable
- UNS C86500 (Bronce al manganeso número 1)
- UNS C95800 (Bronce al níquel aluminio, Bronce de hélices)
- UNS C95700 (Bronce al aluminio)

Los dos últimos son bronce al aluminio, con una resistencia mecánica y resistencia a la corrosión superior, pero por el alto contenido de cobre, níquel y manganeso, hacen que el costo de fabricación sea considerablemente alto.

Por otro lado se tiene la aleación C86500, básicamente un latón 60-40, con bajos contenidos de aluminio, hierro, manganeso. Éste es conocido como latón de alta resistencia y es el material más usado en la fabricación de hélices marinas a nivel mundial, debido a su bajo costo en comparación con las otras alternativas.

1.2 Metalurgia de la aleación

Los latones amarillos de alta resistencia (high strength yellow brasses), son también llamados bronce al manganeso y latones de alta tenacidad. Estas aleaciones de Cu-Zn-Fe-Al-Mn (C86100-C86800), se encuentran entre los materiales a base de cobre más fuertes (como productos de fundición). Las propiedades mecánicas de los latones amarillos de alta resistencia derivan principalmente de un alto contenido de fase β . β es estable en aleaciones binarias con un contenido de zinc superior a 39.5%, pero fuertes estabilizadores de β como el aluminio promueven su presencia a niveles bajos en el contenido de zinc, como en las aleaciones C86200 (25%Zn, 4%Al) y C86300 (26%Zn, 6%Al).

El hierro provee resistencia adicional, es un afinador de grano que aparece como un precipitado de compuesto intermetálico rico en hierro. El manganeso también contribuye a la resistencia, pero su función principal tiene que ver más con la facilidad de fundición (castability). Las aleaciones de alto contenido de zinc y bajo contenido de aluminio, tales como los C86400 y C86500 tienen estructuras dúplex ($\alpha + \beta$). Sus propiedades mecánicas están entre las de los latones amarillos y de las aleaciones únicamente con fase β , como las C86200 y C86300.

Los latones amarillos de alta resistencia se usan principalmente para productos mecánicos que requieren alta resistencia mecánica, resistencia al desgaste y resistencia razonablemente buena a la corrosión.

A pesar de ser relativamente económicas, estas aleaciones han sido reemplazadas a lo largo del tiempo con aleaciones igualmente resistentes mecánicamente pero con mayor resistencia a la corrosión como los bronce al aluminio.

La metalurgia de los latones está basada en los contenidos de cobre y zinc.

Los cinco latones más comunes son:

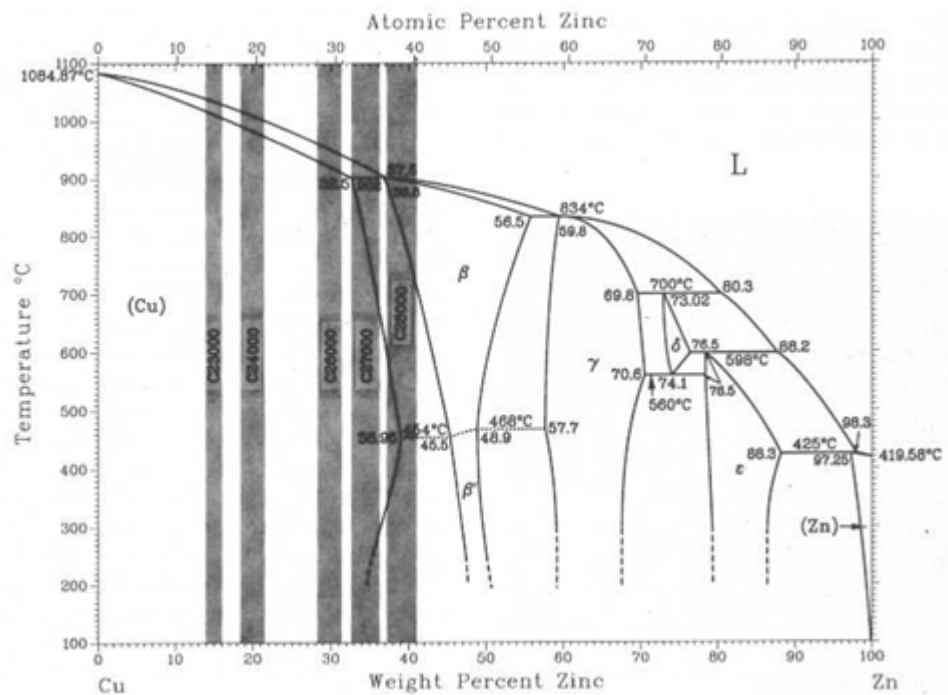


FIGURA 1.1. DIAGRAMA DE FASE CU-ZN

TABLA I
UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES BRONCES EN EL DIAGRAMA DE FASE

UNS No.	Common name	Zinc content, wt%	
		Nominal	Range
C23000	Red brass, 85%	15	14.0-16.0
C24000	Low brass, 80%	20	18.5-21.5
C26000	Cartridge brass, 70%	30	28.5-31.5
C27000	Yellow brass, 65%	35	32.5-37.0
C28000	Muntz metal, 60%	40	37.0-41.0

Como se puede ver en la figura 1.1, estas aleaciones incluyen un amplio rango de composiciones en el diagrama de fases Cu-Zn. Las aleaciones en el extremo de alto contenido de cobre (latón rojo, latón bajo y latón para cartucho) están dentro del campo de la fase de solución de zinc en cobre, constituyendo una solución sólida y son llamados latones alfa, porque solo se presenta esta fase en este campo. Como es de esperarse, la microestructura de estos latones consiste únicamente de granos de solución sólida de zinc en cobre (Figura 1.2A).

La deformación de los cristales de Cu causada por la presencia de los átomos de Zn, como sea, produce endurecimiento de la solución en las aleaciones. Como resultado, la resistencia de los latones, en ambas

condiciones: los endurecidos por trabajado en frío y los recocidos, aumentan al aumentar el contenido de zinc.

El rango de composición para aquellos latones con contenidos altos de zinc (latones amarillos y metal muntz), como sea, se traslapa al campo de doble fase Cu+ β . Por lo tanto la micro estructura de los así llamados aleaciones α + β muestran varias cantidades de fase β (Fig. 1.2B y 1.2C) y sus resistencias aumentan aun mas sobre aquellas de los latones α .

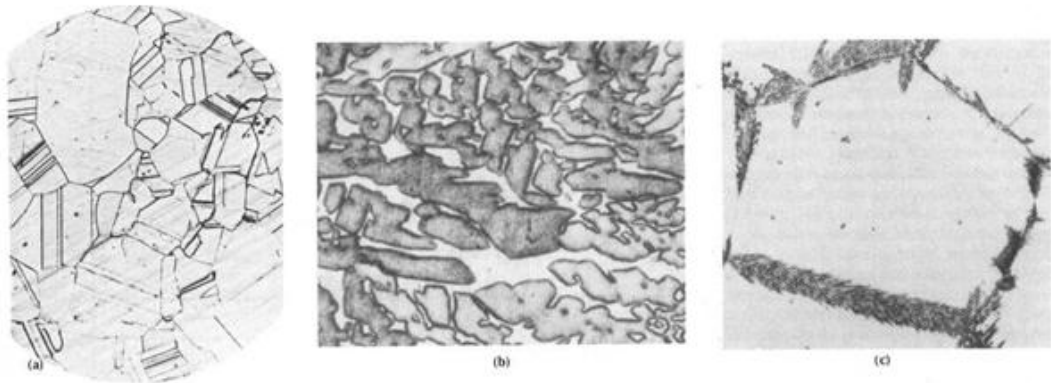


FIGURA 1.2. (A) 70% CU 30% ZN MOSTRANDO GRANOS DE COBRE SÓLIDO EQUIAXIALES, (B) 60% CU 40% ZN MOSTRANDO DENDRITAS DE SOLUCIÓN SÓLIDA DE COBRE EN UNA MATRIZ BETA, (C) 60% CU 40% ZN MOSTRANDO AGUJAS DE SOLUCIONES SOLIDAS DE COBRE FORMADAS EN LAS FRONTERAS DE GRANO BETA DEBIDO AL TEMPLE DE LA ESTRUCTURA NETAMENTE BETA

TABLA II
DIFERENTES FASES PRESENTES EN EL DIAGRAMA Cu-Zn

A.P. Miodownik, unpublished

Phase	Composition, wt % Zn	Pearson symbol	Space group
α or (Cu)	0 to 38.95	<i>cF4</i>	<i>Fm$\bar{3}m$</i>
β	36.8 to 56.5	<i>cI2</i>	<i>Im$\bar{3}m$</i>
β'	45.5 to 50.7	<i>cP2</i>	<i>Pm$\bar{3}m$</i>
γ	57.7 to 70.6	<i>cI52</i>	<i>I$\bar{4}3m$</i>
δ	73.02 to 76.5	<i>hP3</i>	<i>P$\bar{6}$</i>
ϵ	78.5 to 88.3	<i>hP2</i>	<i>P6$_3$/mmc</i>
η or (Zn)	97.25 to 100	<i>hP2</i>	<i>P6$_3$/mmc</i>

1.3 Propiedades mecánicas de la aleación

Metalografía

La metalografía óptica implica el examen de materiales usando luz visible para proveer una imagen ampliada de la micro y macroestructura. La microscopía (examen microscópico) involucra ampliaciones de más de 50X, en cambio la macroscopía solo llega hasta 50X. La microscopía óptica se usa para caracterizar estructuras revelando fronteras de grano, fronteras de fases, distribución de inclusiones, y evidencia de deformación mecánica. Debido a que la macro y micro estructuras de metales y aleaciones usualmente determinan el comportamiento del material, la caracterización de los efectos de composición, proceso, condiciones de servicio, y otras variables parecidas en las macro y micro estructuras son requeridas

frecuentemente. Las relaciones estructura/propiedades que han sido establecidas usando metalografía óptica incluyen:

- Un aumento general en resistencia a la fluencia y dureza de un material reduciendo el tamaño de grano.
- Una tendencia general a reducir la ductilidad aumentando el contenido de inclusiones.
- Correlaciones de tasas de crecimiento de fractura por fatiga y parámetros de resistencia a la fractura con variables de estructuras tales como contenido de inclusiones y distribución.
- Asociación de puntos de iniciación de fallas con heterogeneidades microestructurales, tales como partículas de segunda fase.
- Correlaciones de comportamiento mecánico anisotrópico con elongación de granos y/u orientación de granos por solidificación direccional.

La microestructura de metales y aleaciones se determinan por composición, proceso de solidificación y tratamiento termomecánico. Por lo tanto éstas variables de proceso determinan la respuesta de metales y aleaciones al ambiente de laboratorio y en servicio. Debido a la relación entre estructuras y propiedades, la caracterización metalográfica es usada en la especificación de materiales, control de calidad, certeza de calidad, control de proceso y análisis de fallas.

La metalografía óptica es aplicable a estudios que van desde investigación fundamental hasta evaluación de producción.

Se toma como patrón la siguiente fotografía de la microestructura de la aleación, según datos tomados de la ASTM, y se los compara con la muestra de laboratorio.

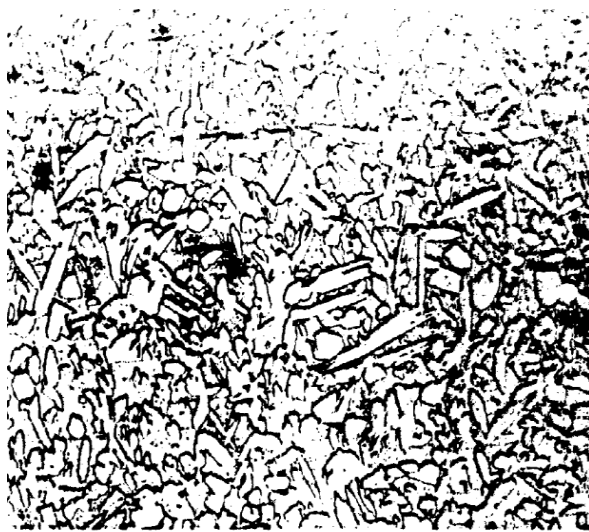


FIGURA 1.3. MICRO ESTRUCTURA DEL BRONCE AL MANGANESO TIPO UNS C86500

Resistencia mecánica

Los bronce al manganeso y los bronce al aluminio, se usan frecuentemente para las mismas aplicaciones, pero los bronce al manganeso se manejan más fácilmente en la fundición (son más fáciles de fabricar). Las resistencias a la tensión de los productos fundidos en arena alcanzan fácilmente resistencias hasta 800 MPa (115 ksi) y elongaciones de

15 a 20%; valores ligeramente más altos son posibles en fundiciones centrífugas.

Las tensiones se pueden aliviar en el rango de 175 a 200°C (350 a 400°F). Se puede añadir plomo a los bronce al manganeso de baja resistencia para mejorar la maquinabilidad pero sacrificando resistencia a la tensión y elongación, el contenido de plomo no debe exceder el 0,1% en bronce al manganeso de alta resistencia.

El estaño es añadido a los bronce al manganeso de baja resistencia para mejorar su resistencia a la deszincificación (falla por corrosión intergranular de los latones altos en zinc). Sin embargo, se debe limitar a 0,1% en los bronce al manganeso de alta resistencia a menos de que sacrificios en resistencia y ductilidad sean aceptables.

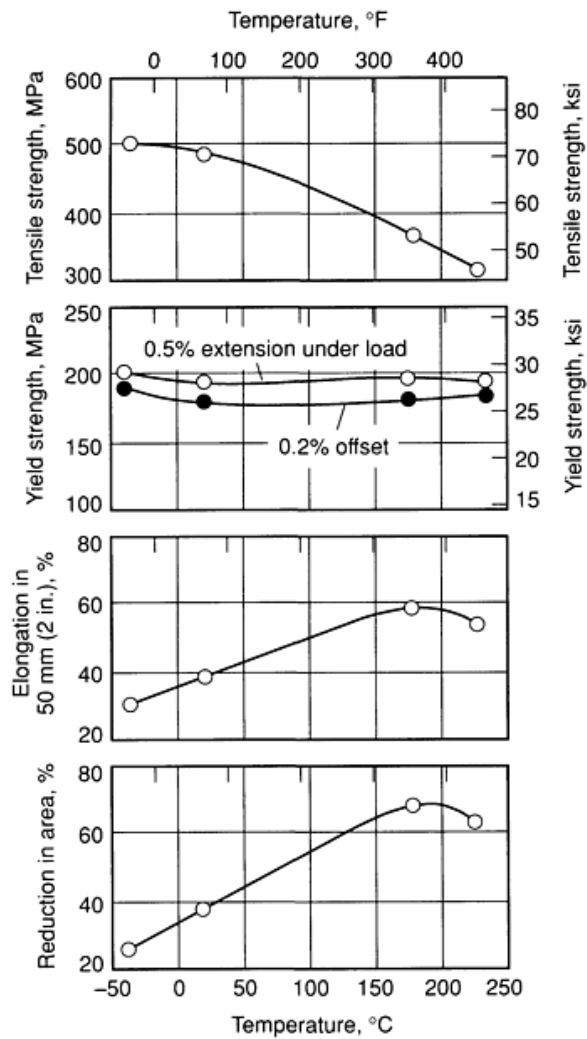


FIGURA 1.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL BRONCE AL MANGANESO UNS C86500

Los bronce al manganeso son especificados para hélices y acoples marinos, piñones, chumaceras, poleas de gusano y trabajos arquitectónicos. Los bronce al manganeso también son usados en piezas de molinos de tornillo, muñones en los puentes, ruedas dentadas y bocines porque requieren materiales de alta resistencia y dureza.

Dureza

A pesar de que los broncees al manganeso en general tienen durezas en el rango de 125 a 250 HB, son fácilmente maquinables.

La dureza promedio de esta aleación (UNS C86500) se encuentra en el rango de 130 HB, en la figura se puede apreciar una relación de la dureza con respecto a la temperatura de recocido:

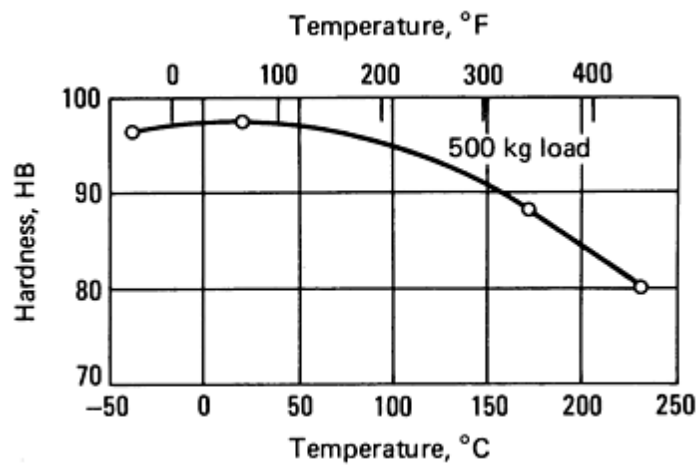


FIGURA 1.5. DUREZA DE LA ALEACIÓN UNS C86500

1.4 Métodos tradicionalmente usados para fabricar hélices

Se usará el método tradicional de fabricación de hélices marinas: moldeo en arena.

La fundición en arena es, con mucho, el proceso de fundición más importante. Para describir las características básicas del molde, se usará un molde de fundición en arena. Muchas de estas características y términos se aplican también a los moldes de otros procesos de fundición.

La figura 1.6 muestra un molde típico de una fundición en arena de una hélice marina. El molde consiste en dos partes: la semicaja superior y la semicaja inferior; las dos mitades están separadas por el plano de separación.

En la fundición en arena (y otros procesos de moldes desechables) la cavidad del molde se forma mediante un modelo de madera, metal, plástico u otro material, que tiene la forma de la parte que será fundida. La cavidad se forma al recubrir el modelo de ambas cajas con arena en partes iguales, de manera que al remover el modelo quede un vacío que tenga la forma deseada de la parte de fundición. El modelo se sobredimensiona generalmente para permitir la contracción del metal cuando este se solidifica y enfría. La arena húmeda contiene un aglomerante para mantener su forma.

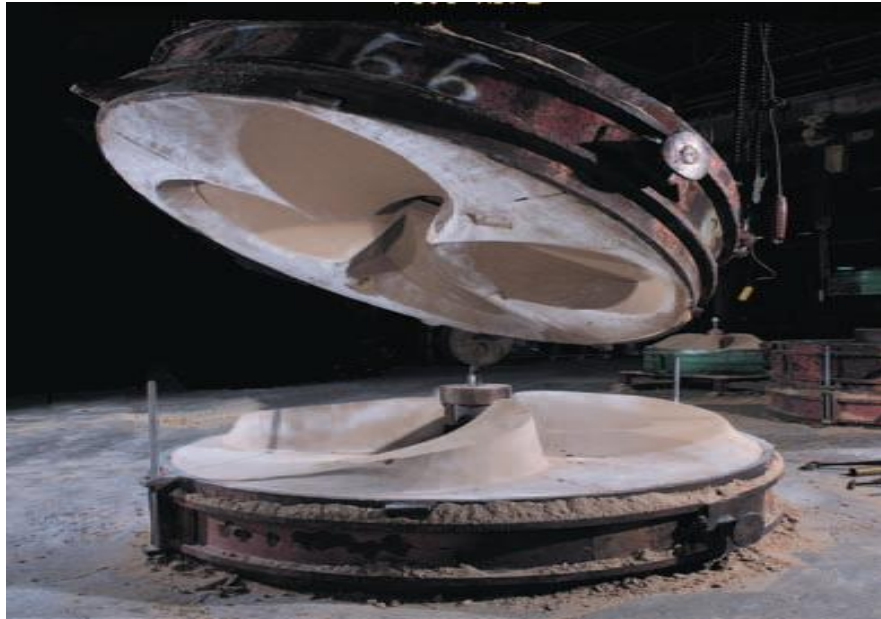


FIGURA 1.6. MOLDEO DE UNA HÉLICE EN ARENA

La cavidad del molde proporciona la superficie externa de la fundición, pero además puede tener superficies internas, que se definen por un corazón. El corazón es una forma colocada en el interior de la cavidad del molde para formar la geometría interior de la pieza, en el caso de TUC para formar la superficie interior del cono de la hélice en la manzana de la misma, así se ahorra tiempo considerable al momento de maquinar la hélice. Los corazones se hacen con una mezcla de arena de sílice, harina, silicato de sodio y CO_2 .

El sistema de vaciado consiste de un bebedero de colada, a través del cual entra el metal a un canal de alimentación que conduce a la cavidad principal. En la parte superior del bebedero existe generalmente una copa de vaciado

que minimiza las salpicaduras y turbulencia del metal que fluye en el bebedero.

En cualquier fundición con una contracción significativa, se necesita una mazarota conectada a la cavidad principal. La mazarota es una reserva en el molde que sirve como fuente del metal líquido para compensar la contracción de la fundición durante la solidificación. A fin de que la mazarota cumpla adecuadamente su función, se debe diseñar de tal forma que solidifique después de la fundición principal.

A medida que el metal fluye dentro del molde, tanto el aire que ocupaba previamente la cavidad como los gases calientes formados por la reacción del metal fundido deben evacuarse para que el metal llene completamente el espacio vacío. En la fundición en arena, la porosidad natural del molde de arena permite que el aire y los gases escapen a través de las paredes de la cavidad.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA EN LABORATORIO

Se empieza calculando los porcentajes requeridos que se encuentren dentro de los rangos permitidos, según la norma ASTM B584 para el bronce al manganeso con especificación UNS C86500. Estos bronce son clasificados como latones amarillos de alta resistencia y tienen designación comercial de bronce al manganeso número 1.

A continuación se muestra por medio de un diagrama de bloques la metodología de trabajo propuesta para la obtención de la aleación:

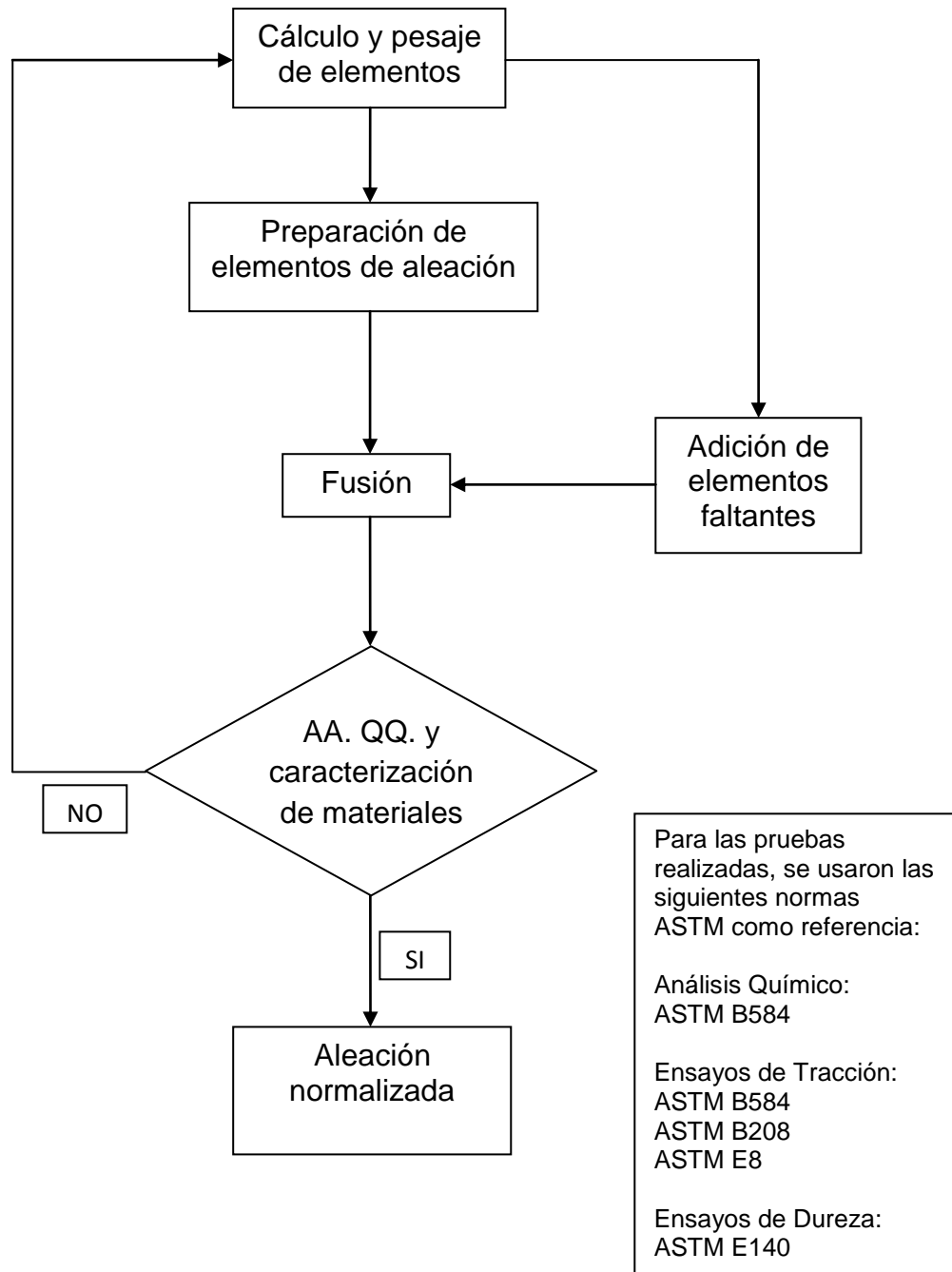


FIGURA 2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA OBTENCIÓN DE LA ALEACIÓN

Los rangos permitidos son los siguientes:

TABLA III
RANGOS PERMITIDOS EN LA NORMA ASTM B584

Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni	Sn	Pb
55,0-	36,0-	0,4-2,0	0,1-1,5	0,5-1,5	1,0	1,0	0,4
60,0	42,0				máx.	máx.	máx.

Teniendo en cuenta los rangos de los elementos aleantes, se escoge un valor para cada elemento de aleación, que se usara para calcular las cantidades necesarias de cada elemento para las pruebas de fusión en el laboratorio de INTRAMET. Se llevan a cabo fusiones con 1 Kg. de material en moldes de arena.

Una vez calculadas las cantidades necesarias para las pruebas de fusión, se analiza el orden en que se va a llevar a cabo el proceso de fusión:

- Primero se funde el cobre, debido a que es el elemento con el mayor punto de fusión
- Una vez que el cobre se encuentre en estado liquido, se añaden los elementos aleantes de alto punto de fusión como el ferromanganeso y el hierro.

- El ferromanganeso, el hierro y el níquel tienen puntos de fusión más altos que el cobre, pero estos elementos no se van a fundir en el cobre, sino que se disuelven en el mismo. Para que esto suceda, es necesario introducirlos de la siguiente manera: el ferromanganeso se muele hasta quedar pulverizado. Con el hierro no hay problema porque se lo introduce en forma de clavos, que son disueltos en el cobre sin ningún problema. El níquel viene en forma de electrodos de soldadura, similar en forma a los clavos de hierro, por lo que su dilución se lleva a cabo sin problema (en el caso de fundiciones a gran escala, para laboratorio fue posible conseguir níquel electrolítico, como se podrá observar en las graficas posteriores).
- Una vez disueltos estos elementos, se introduce el aluminio, cuyo punto de fusión es de 700 °C, es decir, no genera inconvenientes.
- Por último, se introduce el zinc. Este elemento tiene un punto de fusión de 400 °C y un punto de evaporación de 600 °C. Estas propiedades ocasionan el mayor problema, ya que al estar el resto de la mezcla a una mayor temperatura (cerca a los 1000 °C), hay que tener en cuenta esto al momento de realizar los cálculos de las cantidades requeridas, y compensar con un porcentaje adicional una probable pérdida por evaporación del metal.

Cuando se tienen listas las muestras fundidas, se procede a la caracterización de los materiales. Con una muestra de unos pocos gramos, se puede realizar el ensayo de análisis químico por medio de los espectrofotómetros de absorción atómica ubicado en el laboratorio del Instituto de Ciencias Químicas y en INTRAMET con la finalidad de verificar la información y tener mayor confiabilidad.

Terminado el análisis químico, se realizan las pruebas mecánicas para medir su resistencia a la tracción y dureza en el LEMAT.

Para finalizar, se toma una muestra pequeña para poder realizar la metalografía del material en los microscopios ubicados en los laboratorios de INTRAMET y el LEMAT.

2.1 Materiales y equipos utilizados

Materiales

Los materiales que se utilizan para la obtención de las muestras se grafican a continuación:

- Cobre. Reciclado de cables eléctricos, con un 99,9% de pureza.



FIGURA 2.2. DESECHO DE COBRE PROVENIENTE DE CABLES CONDUCTORES ELÉCTRICOS

- Zinc. Reciclado de los barcos pesqueros. Este material se encuentra más que nada en recicladoras de metales, ubicados cerca de la zona del astillero, ya que solo se los consigue de los barcos que entran a parrilla. Este material se encuentra en pocas cantidades y en ocasiones escasea, por lo que es recomendable utilizar lingotes de zinc SHG (Super High Grade) que tienen una pureza de 99,9%. El costo es considerablemente más alto que los desechos de los barcos, pero garantiza la pureza del material y no produce tanta escoria como el material reciclado.



FIGURA 2.3. ZINC SHG (SUPER HIGH GRADE)

- Aluminio. Reciclado de cables eléctricos, también con un 99,9% de pureza.



FIGURA 2.4. ALUMINIO DE DESECHO PROVENIENTE DE CABLES CONDUCTORES ELÉCTRICOS

- Ferromanganeso. Este material no se encuentra en recicladoras, ya que no es un material muy comercial. Solo se lo puede conseguir en importadoras y en ocasiones, bajo pedido.



FIGURA 2.5. PIEDRAS DE FERROMANGANESO

- Hierro. Este material se lo obtiene fácilmente en forma de clavos para madera.
- Níquel. Este material se lo consigue en los electrodos usados para soldar hierro fundido. Su costo es considerablemente alto, por lo que no se lo usa en fundiciones a gran escala.



FIGURA 2.6. NÍQUEL ELECTROLÍTICO

- Estaño. No se usa estaño en estas pruebas debido a que no es factible el sacrificio en resistencia mecánica.
- Plomo. No se usa plomo en estas muestras, ya que no se puede sacrificar resistencia ni dureza en las hélices marinas.

Equipos utilizados

- Horno de crisol



FIGURA 2.7. MINI HORNO DE CRISOL CON CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE INTRAMET

- Crisol



FIGURA 2.8. CRISOLES DE GRAFITO USADOS EN LA FUNDICIÓN

- Moldes metálicos



FIGURA 2.9. MOLDES METÁLICOS UTILIZADOS PARA COLADO DE LAS PROBETAS

- Equipo de fundición
- Espectrofotómetro de absorción atómica



FIGURA 2.10. ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

- Máquina para ensayos de tensión



FIGURA 2.11. MAQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN SHIMADZU UH 600 KNI UBICADA EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS METALOGRAFÍCS Y DE MATERIALES (LEMAT)

- Máquina para ensayos de dureza



FIGURA 2.12. DURÓMETRO LECO UBICADO EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS METALOGRAFÍCS Y DE MATERIALES (LEMAT)

- Microscopios



FIGURA 2.13. MICROSCOPIO ASISTIDO POR COMPUTADORA

2.2 Ensayos preliminares

Fusión

Las primeras pruebas se llevan a cabo en base a los valores nominales y promedio de los rangos permitidos de la aleación, según el estándar ASTM B584.

**TABLA IV
PORCENTAJES USADOS EN LOS ENSAYOS INICIALES**

% Cu	% Zn	% Fe	% Mn	% Al	% Ni
58,00	39,00	1,00	1,00	1,00	0,00

58,00	39,00	1,00	1,00	1,00	0,00
58,00	39,00	1,00	1,00	1,00	0,00
58,00	39,00	1,00	1,00	1,00	0,00
58,00	39,00	1,00	1,00	1,00	0,00
58,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,00
58,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,00
58,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,00
58,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,00
58,00	38,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Con estos porcentajes se tiene las siguientes cantidades:

TABLA V
PESAJE INICIAL

Cu (gr)	Zn (gr)	Fe (gr)	Mn (gr)	Al (gr)	Ni (gr)
580,00	390,00	10,00	10,00	10,00	0,00
580,00	390,00	10,00	10,00	10,00	0,00
580,00	390,00	10,00	10,00	10,00	0,00
580,00	390,00	10,00	10,00	10,00	0,00
580,00	390,00	10,00	10,00	10,00	0,00
580,00	380,00	10,00	10,00	10,00	10,00
580,00	380,00	10,00	10,00	10,00	10,00

580,00	380,00	10,00	10,00	10,00	10,00
580,00	380,00	10,00	10,00	10,00	10,00
580,00	380,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Se llevan a cabo las fusiones a pequeña escala, según se explicó en la metodología en laboratorio de la sección anterior.

Las muestras se cueban en moldes de arena para obtener de aquí dos probetas para ensayos de tracción y un medallón para ensayos de dureza, con medidas recomendadas por la norma.

2.3 Caracterización de las aleaciones obtenidas por medio de Análisis Químico, Ensayos Mecánicos y Microscopía

Análisis Químico

De cada muestra obtenida en la fusión, se necesita una pequeña cantidad del material para realizar el análisis químico en el espectrofotómetro de absorción atómica, preferiblemente en forma de viruta pequeña.

De las muestras obtenidas se tiene las siguientes cantidades:

TABLA VI
PESOS A SER DISUELTOS PARA ANÁLISIS QUÍMICOS EN EL
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Muestra 1	0,2306 gr
Muestra 2	0,2371 gr
Muestra 3	0,2704 gr
Muestra 4	0,2558 gr
Muestra 5	0,2476 gr
Muestra 6	0,2717 gr
Muestra 7	0,2725 gr
Muestra 8	0,2325 gr
Muestra 9	0,2225 gr
Muestra 10	0,2403 gr

Con estas muestras, se lleva a cabo el siguiente procedimiento para diluir las muestras:

- En una matraz se coloca la viruta de las muestra y se añaden aproximadamente 20 ml. de agua destilada.



FIGURA 2.14. VIRUTA DE MUESTRAS DE BRONCE EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO Y ACIDO CLORHÍDRICO CONCENTRADO

- Se añaden 4 ml. de ácido clorhídrico concentrado (97%)
- Se añaden 2 ml. de ácido nítrico concentrado (70%)
 - Al añadir el ácido clorhídrico no hay problema, pero al añadir el ácido nítrico hay que hacerlo en la sorbona, porque esta reacción desprende vapores perjudiciales a las vías respiratorias.



FIGURA 2.15. MUESTRAS EN SORBONA PARA SU DISOLUCIÓN

- Una vez realizada la mezcla, se colocan las muestras en los reverberos para calentarlas y ayudar a disolver las muestras en los ácidos.



FIGURA 2.16. MUESTRAS EN REVERBERO PARA AYUDAR A DISOLVER LAS MUESTRAS EN LOS ÁCIDOS

- Una vez disueltas las muestras, se colocan en un matraz volumétrico. Debido a que los rangos de lectura para ciertos metales son cortos, se realizan diluciones de la muestra original para ayudar a tener una lectura más precisa.



FIGURA 2.17. LAS MUESTRAS YA DILUIDAS EN AGUA DESTILADA

Se obtiene los siguientes resultados de las lecturas:

**TABLA VII
LECTURAS INICIALES DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE
ABSORCIÓN ATÓMICA**

Muestras	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni
Muestra 1	0,77	0,57	1,60	0,58	12,50	0,40

Muestra 2	0,80	0,67	1,60	0,44	8,80	0,00
Muestra 3	0,38	0,28	2,05	0,69	12,50	0,00
Muestra 4	0,33	0,23	2,50	0,67	9,50	1,50
Muestra 5	0,32	0,23	1,10	0,32	9,30	0,30
Muestra 6	0,90	0,70	1,70	0,62	9,30	0,10
Muestra 7	0,87	0,70	1,10	0,48	7,70	0,32
Muestra 8	0,75	0,60	1,40	0,56	11,80	0,50
Muestra 9	0,75	0,63	1,00	0,16	9,30	1,95
Muestra 10	0,78	0,62	1,45	0,69	9,10	1,41

Para calcular los resultados, se necesita una fórmula que se define de la siguiente manera:

En el numerador de la formula:

La lectura multiplicada por cada uno de los denominadores de las diluciones realizadas y multiplicadas por 10^{-6} . Este producto se divide para el peso de la muestra de bronce que se va a leer, multiplicado por el numerador de cada una de las diluciones realizadas.

Por ejemplo, si de la muestra original se tiene que hacer 2 diluciones de 2 partes en 25 ml, 1 dilución de 3 en 10 ml, entonces la fórmula para calcular los porcentajes sería:

$$\% = \frac{\text{lectura} \times 25 \times 25 \times 10 \times 10^{-6}}{\text{peso de la muestra} \times 2 \times 2 \times 3}$$

Teniendo en cuenta esta metodología, se procede a calcular los siguientes porcentajes:

TABLA VIII
PORCENTAJES DE MUESTRAS INICIALES

Muestras	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Ni
Muestra 1	52,17	42,62	1,73	0,63	1,36	0,01
Muestra 2	52,72	44,15	1,69	0,46	0,93	0,00
Muestra 3	54,90	40,45	1,90	0,64	1,16	0,00
Muestra 4	53,39	42,12	2,44	0,65	0,93	0,03
Muestra 5	53,48	42,29	1,11	0,32	0,94	0,01
Muestra 6	52,76	42,26	1,56	0,57	0,86	0,00
Muestra 7	54,89	40,14	1,01	0,44	0,71	0,01
Muestra 8	53,40	41,32	1,51	0,60	1,27	0,01
Muestra 9	53,90	42,70	2,19	0,01	0,19	1,09
Muestra 10	52,72	43,31	1,51	0,72	0,95	0,03
NORMA ASTM B584	55,00- 60,00	38,00- 42,00	0,20- 2,00	0,10- 1,50	0,50- 1,50	1,00 max.

Las pruebas realizadas no cumplen con los mínimos necesarios para calificar la aleación. La falla principal se puede apreciar que es el bajo contenido de cobre en todas las muestras, lo que se debe a la oxidación del mismo por la alta temperatura y la atmósfera interior del horno. Se realizan los ensayos de tracción y dureza para ver la diferencia que tienen con productos calificados.

Ensayos Mecánicos

Ensayos de tracción

Las probetas para los ensayos de tracción se las obtiene de las fusiones en laboratorio que se realizaron anteriormente. Estas deben cumplir con las medidas especificadas en la norma ASTM B208 para ensayos normalizados de tracción (Apéndice B).

Los valores de resistencia a la ruptura y los porcentajes de elongación que se obtienen son los siguientes:

**TABLA IX
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN**

Muestras	σ_t (MPa)	Elongación (%)
Muestra 1	575,79	17,20
Muestra 2	360,06	2,00

Muestra 3	517,66	8,92
Muestra 4	451,75	7,21
Muestra 5	522,03	12,54
Muestra 6	531,36	11,56
Muestra 7	429,31	3,80
Muestra 8	515,53	14,92
Muestra 9	512,88	6,30
Muestra 10	282,28	5,06
Norma ASTM B584	448,00	20,00

Comparando los valores obtenidos con los mínimos requerimientos de la norma ASTM B584, se puede ver que solo tres pruebas fallan en resistencia mecánica; en cambio todos los porcentajes de elongación se encuentran fuera de norma, lo que es razonable por el bajo contenido de cobre.

Ensayos de dureza

Los valores de dureza obtenidos de los medallones correspondientes a cada una de las muestras son los siguientes:

TABLA X
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA

Muestras	Dureza (HB)
Muestra 1	126
Muestra 2	131
Muestra 3	134
Muestra 4	140
Muestra 5	131
Muestra 6	146
Muestra 7	137
Muestra 8	132
Muestra 9	132
Muestra 10	131
VALOR REQUERIDO	130

Aunque la dureza no es un requerimiento de la norma, se realizan éstas pruebas para tener un patrón adicional de comparación. Se puede apreciar que únicamente la muestra 1 falla en dureza.

Metalografías:

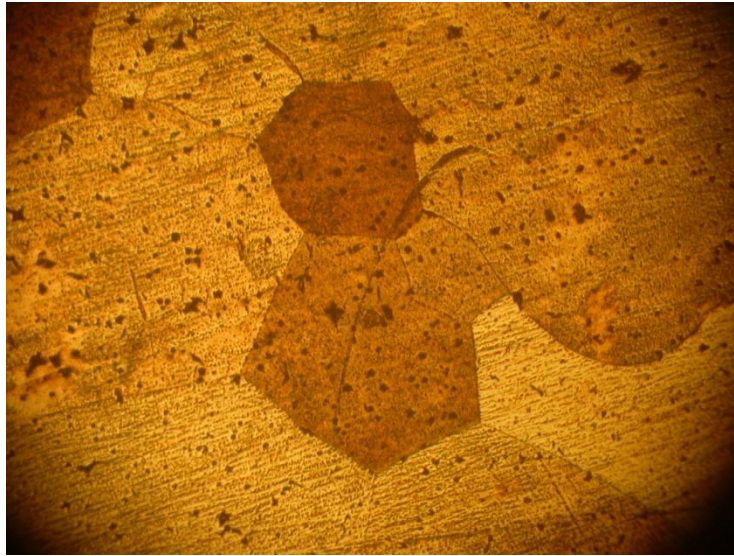


FIGURA 2.18 (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 1. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCl , 100 ML H_2O_2

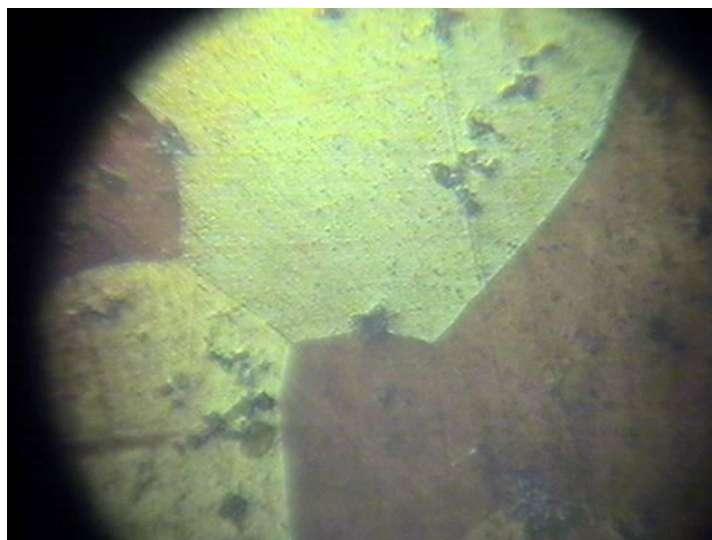


FIGURA 2.19. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 2. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

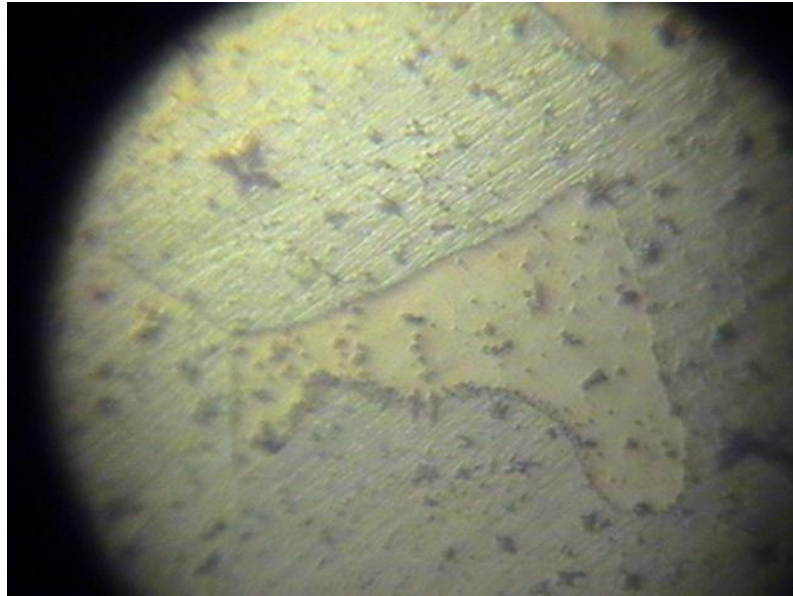


FIGURA 2.20. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 3. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NACL (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

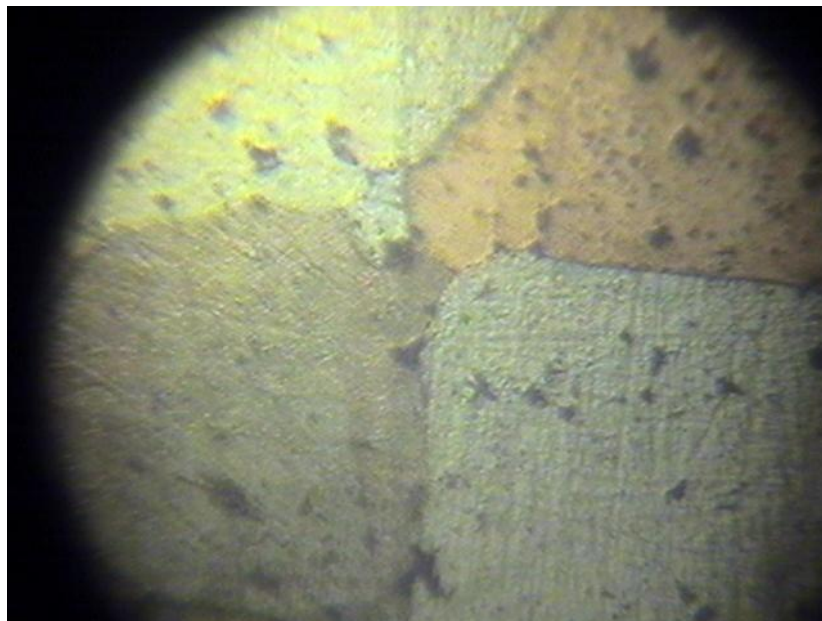


FIGURA 2.21. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 4. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NACL (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

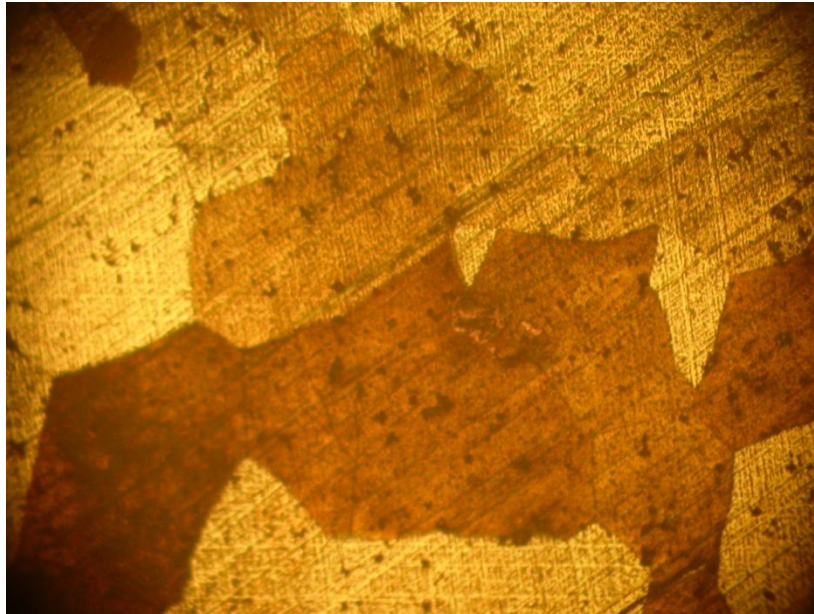


FIGURA 2.22. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 5. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCl , 100 ML H_2O_2

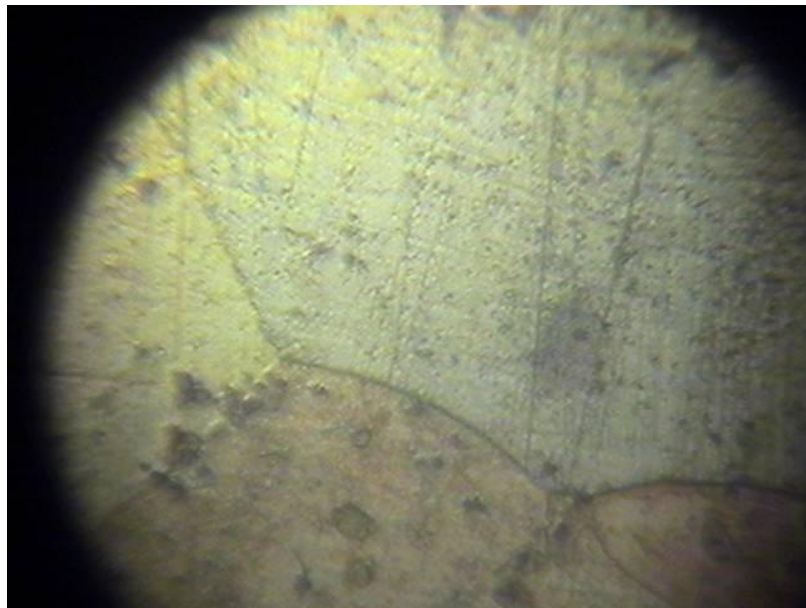


FIGURA 2.23. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 6. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2Cr_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NaCl$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

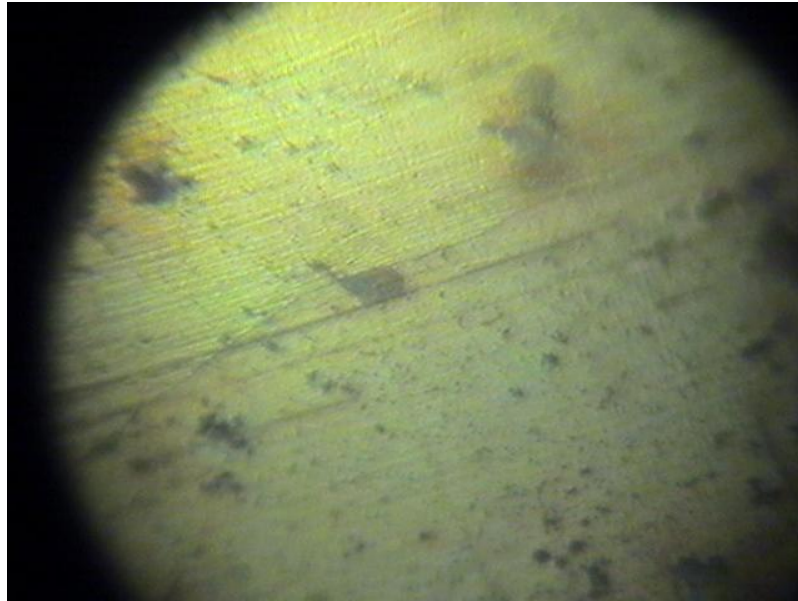


FIGURA 2.24. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 7. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NACL$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O



FIGURA 2.25. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 8. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $K_2CR_2O_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML $NACL$ (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O



FIGURA 2.26. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 9. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 5 GR FeCl_3 , 50 ML HCl , 100 ML H_2O_2

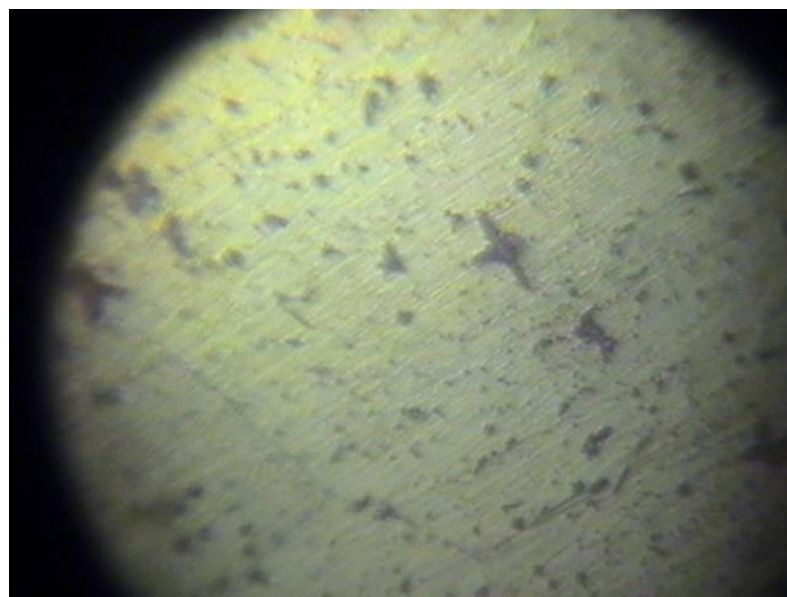


FIGURA 2.27. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 10. FUNDICIÓN EN ARENA. REACTIVO: 2 GR. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 8 ML H_2SO_4 , 4 ML NaCl (SOLUCIÓN SATURADA), 100 ML H_2O

2.4 Ensayos finales con variación de los elementos de aleación y control de aleación en colado de hélices

Ensayo décimo primero

Debido a que los resultados obtenidos en las pruebas anteriores no se encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma, se llevaron a cabo dos experimentos adicionales. Se cambiaron ligeramente las proporciones de los elementos de la siguiente manera:

TABLA XI
NUEVOS PORCENTAJES USADOS PARA EL CALCULO DE PESOS NECESARIOS PARA NUEVAS FUSIONES

Muestras	% Cu	% Zn	% Fe	% Mn	% Al	%Ni
Muestra 11	60	40	1,8	1,2	1,2	1,2

Al calcular la cantidad necesaria de elementos aleantes, se tiene los siguientes resultados:

TABLA XII
PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE 1000 GR. DE ALEACIÓN

Muestra	Cu (gr)	Zn (gr)	Fe (gr)	Mn (gr)	Al (gr)	Ni (gr)
Muestra 11	600	400	18	12	12	12

Como en los ensayos anteriores, se sigue el mismo procedimiento, pero en éste se funden dos barras de material en molde metálico para obtener las probetas que se usaran para los ensayos de tracción.

Además se funde un medallón, también en molde metálico, para realizar el ensayo de dureza.

Análisis Químico

El resultado del análisis químico produce las siguientes proporciones:

**TABLA XIII
PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO**

Muestras	Cu (gr)	Zn (gr)	Fe (gr)	Mn (gr)	Al (gr)	Ni (gr)
Muestra 11	57,30	40,40	0,22	0,51	0,88	0,27

Se puede ver claramente que los resultados aunque están fuera de norma con el hierro y el manganeso, el resto de elementos aleantes se encuentran dentro de la misma. El problema en este caso fue el ferromanganeso: no estaba correctamente molido, por ende no hubo una correcta dilución en la colada. Se llevan a cabo el resto de ensayos para compararlos con los

demás y luego se realiza una última colada, añadiendo un ferromanganeso bien molido para verificar este proceso como el definitivo.

Ensayos mecánicos

Ensayo de tracción

TABLA XIV
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRACCION

Muestras	σ_t	Elongación
Muestra 11	462,06	39,55

Ensayo de dureza

TABLA XV
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DUREZA

Muestras	Dureza
Muestra 11	103

Metalografía

Se toma el medallón y se realiza la microscopia para compararla con la microscopia patrón:

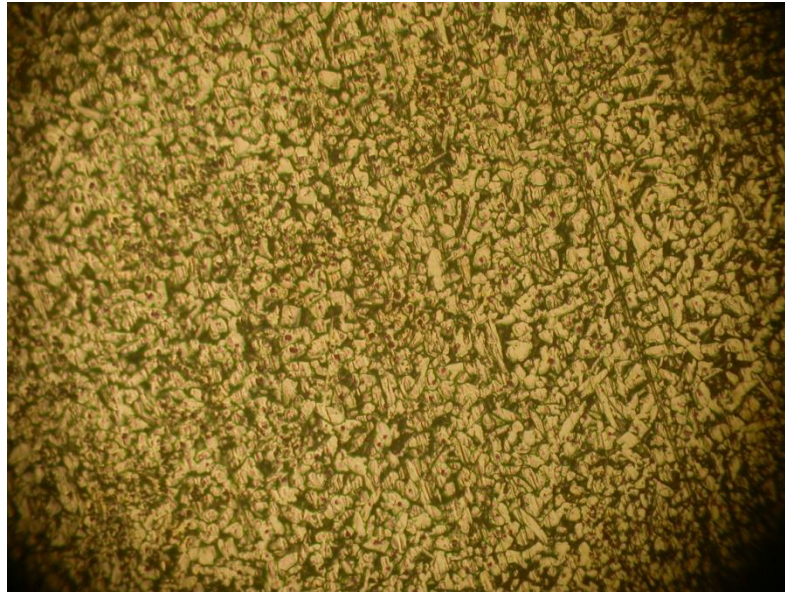


FIGURA 2.28. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 11. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2

Ensayo final

Se lleva a cabo el mismo proceso anterior, con la diferencia de que se usara un ferromanganeso molido a un tamaño adecuado para su correcta disolución.

TABLA XVI
NUEVOS PORCENTAJES USADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS PESOS NECESARIOS EN LAS NUEVAS FUSIONES

Muestras	% Cu	% Zn	% Fe	% Mn	% Al	%Ni
Muestra 12	60	40	1,8	1,2	1,2	1,2

Al calcular la cantidad necesaria de elementos aleantes, se tienen los siguientes resultados:

TABLA XVII
PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE 1000 GR.

Muestras	Cu (gr)	Zn (gr)	Fe (gr)	Mn (gr)	Al (gr)	Ni (gr)
Muestra 12	600	400	18	12	12	12

Como en los ensayos anteriores, se sigue el mismo procedimiento y se funden dos barras de material en molde metálico para obtener las probetas que se usaran para los ensayos de tracción, además del medallón, también colado en molde metálico para el ensayo de dureza.

Análisis Químico

El resultado del análisis químico produce las siguientes proporciones:

TABLA XVIII
PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO

Muestras	Cu (gr)	Zn (gr)	Fe (gr)	Mn (gr)	Al (gr)	Ni (gr)
Muestra 12	58,50	38,56	0,62	1,02	0,93	0,44

Los resultados se encuentran ahora si dentro de norma con respecto a la composición química. Se deben cumplir todos los requisitos que pide la norma para poder declarar a la aleación dentro de la misma.

Ensayos mecánicos:

Ensayo de tracción

TABLA XIX
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION

Muestras	σ_t	Elongación
Muestra 12	519,98	16,03

Ensayo de dureza:

TABLA XX
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

Muestras	Dureza
Muestra 12	134

Metalografía

Se toma el medallón y se realiza la microscopia para compararla con la microscopia patrón:

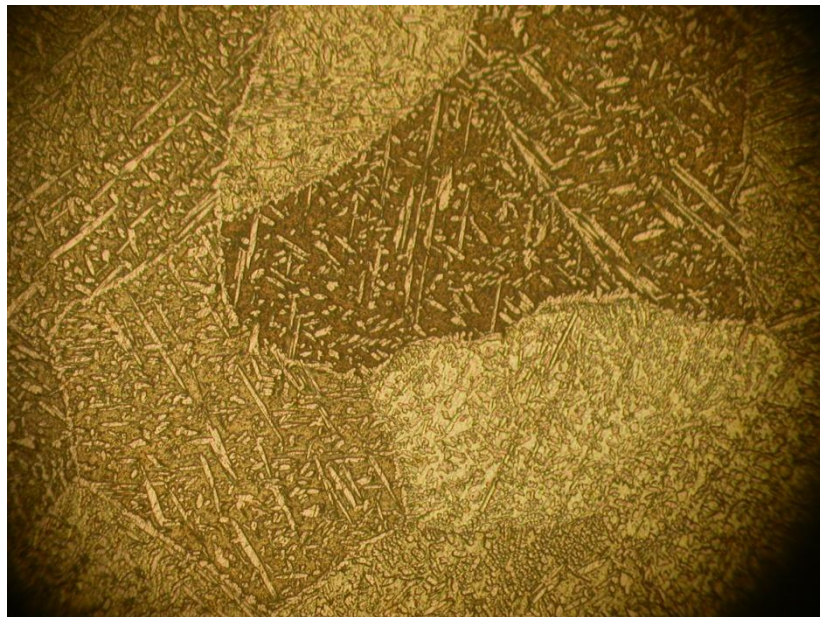


FIGURA 2.29. (160X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 12. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR $FeCl_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2

Colado de hélice

Se lleva a cabo el mismo proceso, pero a gran escala para fundir una hélice para un barco camaronero de 64 pulgadas de diámetro (2 m).

El manejo del metal fundido es muy diferente que en laboratorio, ya que aquí se manipulan aproximadamente 500 kg. de bronce a 1000 °C.

TABLA XXI
PORCENTAJES USADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS PESOS
NECESARIOS EN LA FUSIÓN DE UNA HÉLICE MARINA

Muestras	% Cu	% Zn	% Fe	% Mn	% Al	%Ni
Muestra 13	60	40	1,8	1,2	1,2	1,2

Al calcular la cantidad necesaria de elementos aleantes, se tienen los siguientes resultados:

TABLA XXII
PESOS OBTENIDOS PARA FUSIÓN DE UNA HÉLICE MARINA

Muestras	Cu (lbs)	Zn (lbs)	Fe (lbs)	Mn (lbs)	Al (lbs)	Ni (lbs)
Muestra 13	660	440	19,8	13,2	13,2	13,2

Como en los ensayos anteriores, se sigue el mismo procedimiento y se funden dos barras de material en molde metálico para obtener las probetas que se usaran para los ensayos de tracción.

Además se funde un medallón, también en molde metálico para el ensayo de dureza. Estas muestras se obtienen antes de colar la hélice.



FIGURA 2.30. HÉLICE UNA VEZ FUERA DEL MOLDE

Los resultados de las pruebas de la fundición de la hélice se llevaron a cabo con grandes expectativas, ya que demostraría el éxito o fracaso del proyecto. Se pueden apreciar en las figuras 37 y 38 la hélice recién salida del molde y en proceso de pulido respectivamente.



FIGURA 2.31. HÉLICE EN PROCESO DE MAQUINADO PARA DAR EL BALANCEO ESTÁTICO

2.5 Pruebas de homologación de la aleación colada en molde con la norma ASTM B584

Análisis Químico

El resultado del análisis químico produce las siguientes proporciones:

**TABLA XXIII
PORCENTAJES OBTENIDOS DEL ANALISIS QUIMICO**

Muestras	Cu (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (%)	Al (%)	Ni (%)
Muestra 12	56,7	40,24	1,12	0,18	1,04	0,04
NORMA ASTM B584	55-60	36-42	0,4-2	0,1-1,5	0,5-1,5	1 max.

Los resultados se encuentran dentro de la norma con respecto a la composición química. Se deben cumplir todos los requisitos que pide la norma para poder declarar a la aleación dentro de la misma.

Ensayos mecánicos:

Ensayo de tracción

TABLA XXIV
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION

Muestras	σ_t	Elongación
Muestra 13	515,53	19,92
NORMA ASTM B584	448	20

Ensayo de dureza

TABLA XXV
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

Muestras	Dureza (HB)
Muestra 13	132
VALOR REQUERIDO	130

Metalografía

Se toma el medallón y se realiza el ensayo metalográfico de microscopia para compararla con la microscopia patrón:

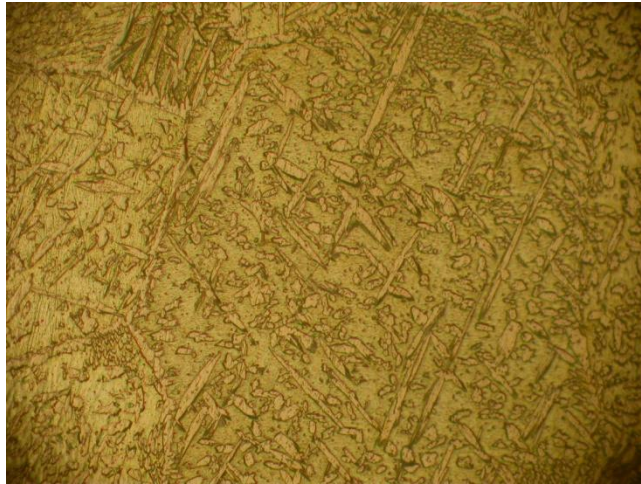


FIGURA 2.32. (320X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 13. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR $FECL_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2



FIGURA 2.33. (310X) MICROESTRUCTURA DEL BRONCE AL MANGANESO TIPO UNS C86500

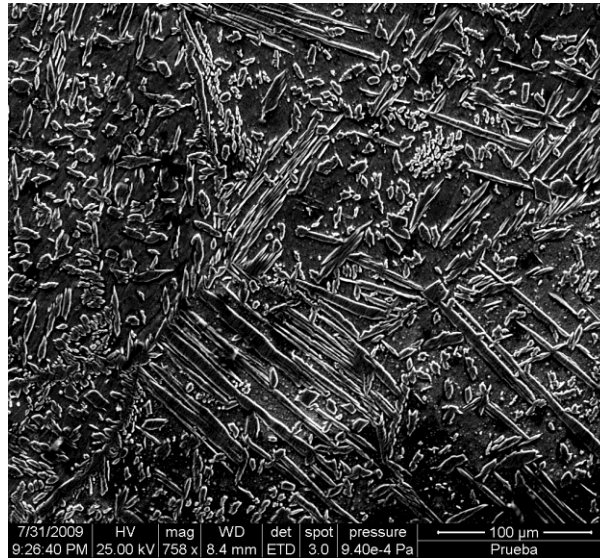


FIGURA 2.34. (758X) METALOGRAFÍA DE MUESTRA 13 EN MICROSCOPIO SEM DEL CIDNA. FUNDICIÓN EN MOLDE METÁLICO. REACTIVO: 5 GR $FECL_3$, 50 ML HCL, 100 ML H_2O_2

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

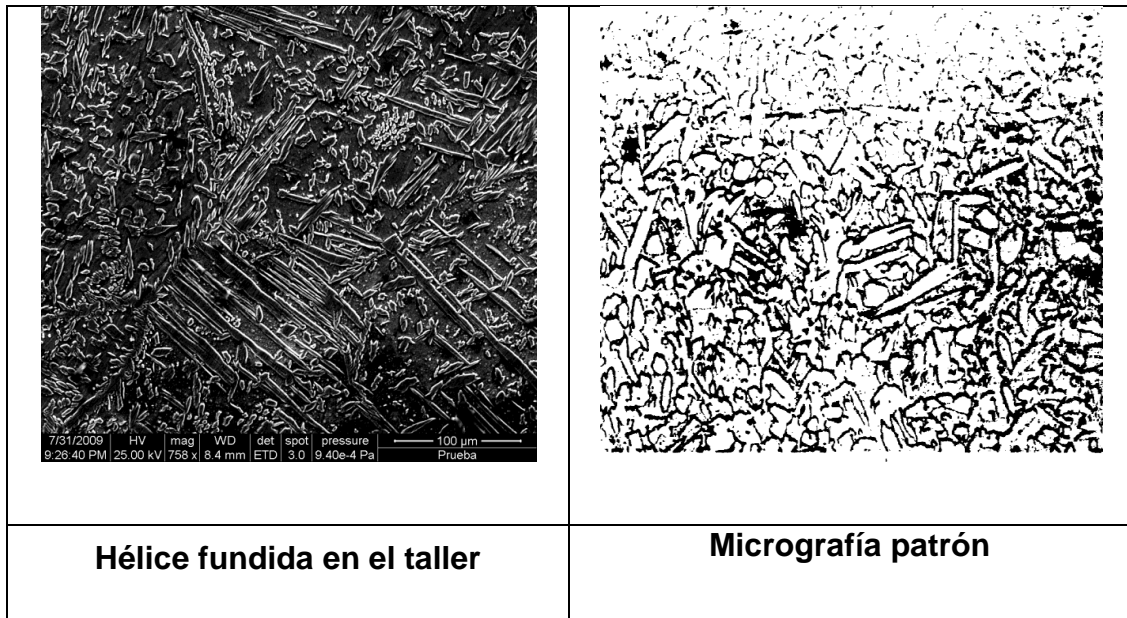
3.1 Comparación de los resultados con la norma

Una vez obtenidos los resultados necesarios en laboratorio, con la muestra número 12, se pudo llevar a cabo la prueba real, fundiendo una hélice propulsora para un barco camaronero.

A continuación se presenta una tabla comparativa mostrando todos los resultados obtenidos en el ensayo final realizado en Talleres Unidos Cevallos, junto con los requerimientos mínimos de la norma ASTM B584:

TABLA XXVI
TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS VS. NORMA

Muestra	Cu (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (%)	Al (%)	Ni (%)	σ_t (MPa)	E (%)	Dureza (HB)
13	56,67	40,24	1,12	0,58	1,04	0,04	542,39	19,93	132
Norma	55-60	36-42	0,4-2	0,1-1,5	0,5-1,5	1,00 max	448	20	130



La muestra cumple con el análisis químico, con las pruebas de tracción, con el porcentaje de elongación, y con la prueba de dureza.

Las experiencias en los primeros ensayos fueron muy importantes, pues ayudaron a mejorar las técnicas utilizadas inicialmente, corregirlas, obtener la aleación buscada, y así llevar con éxito la prueba real en taller para la fabricación de una hélice propulsora con aleación normalizada.

Es muy importante incluir este procedimiento en futuras fundiciones para poder garantizar la alta calidad de las mismas y tener una ventaja competitiva con respecto a otros talleres artesanales.

Como el taller no posee los equipos de laboratorio necesario para realizar los análisis químicos, los ensayos de tracción ni de dureza, es recomendable realizar primero fundición de lingotes, hacer la caracterización de los materiales y una vez obtenido el material normalizado, continuar con el proceso de fabricación de las hélices.

3.2 Método de reciclaje

En la Figura 2.1 del Capítulo 2, se pudo apreciar la metodología adoptada para la obtención de la aleación requerida, la misma que se debe incluir en el proceso de fabricación de las hélices, como se muestra a continuación:

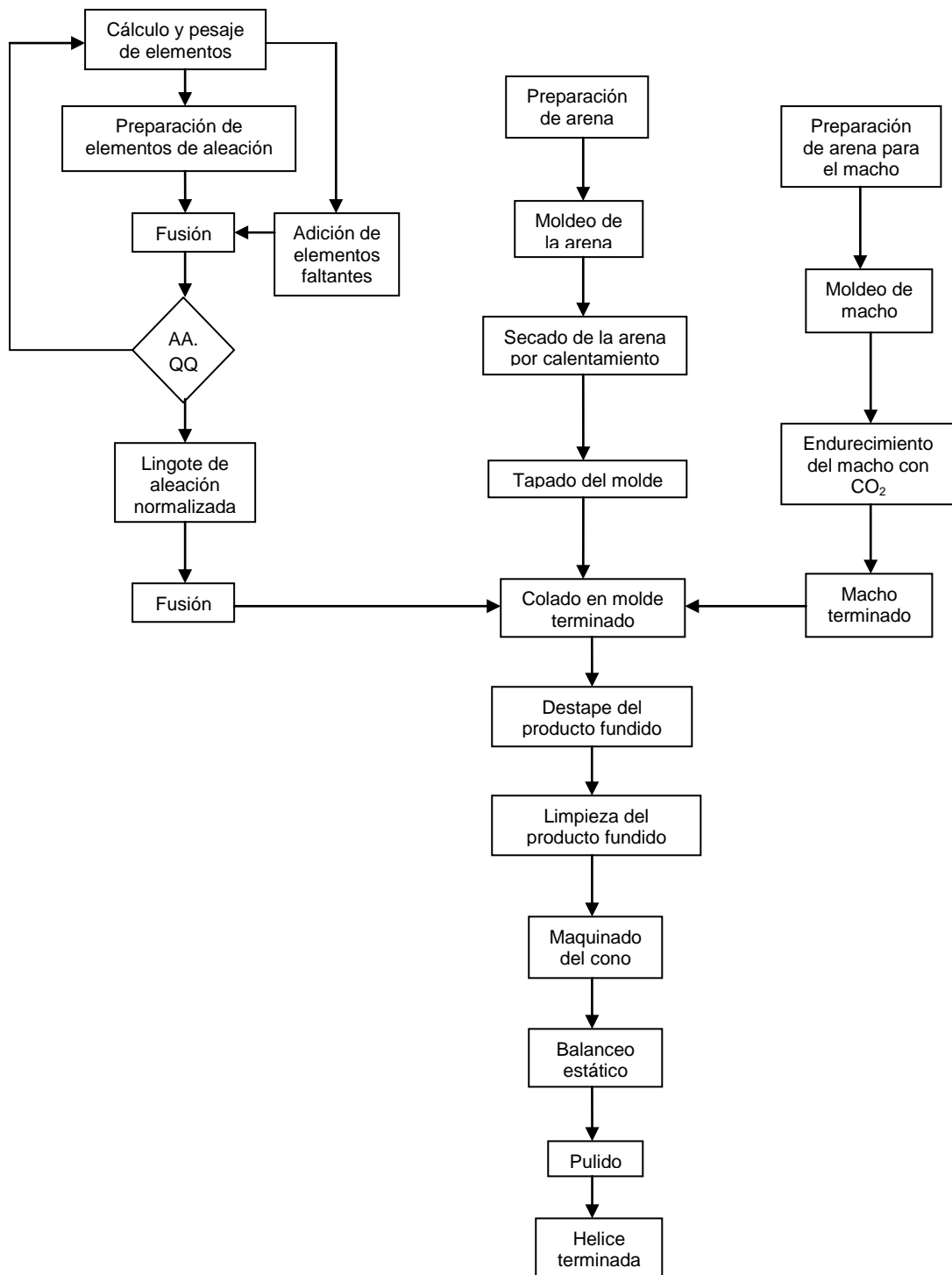


FIGURA 3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA EL TALLER OBTENIDA DE LAS EXPERIENCIAS GANADAS EN LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

De acuerdo al objetivo general y a los objetivos específicos planteados al comienzo de ésta tesis, se tienen las siguientes conclusiones en base a los las experiencias y los resultados obtenidos en las pruebas:

- La prueba realizada en Talleres Unidos Cevallos resultó un éxito de transferencia de tecnología y una ganancia para todos los involucrados



- Los análisis químicos de los ensayos de laboratorio resultaron favorables una vez que se ajustó la técnica de trabajo.
- Los bronce al manganeso UNS C86500 son de fácil fabricación en relación a los otros bronce de alta resistencia, tienen suficiente fluidez y colabilidad, que son características muy deseables para los fabricantes de hélices, en cambio el bronce al aluminio es difícil de trabajar.
- La resistencia mecánica de estos bronce es lo suficientemente alta para soportar golpes (troncos en el agua u otros objetos en río o en altamar), aunque las hélices no son diseñadas para este propósito, pero tienen que soportar este tipo de cargas.
- El material obtenido muestra características físicas y químicas muy superiores a los materiales usados normalmente para la fabricación de hélices marinas, hechas tradicionalmente por los fundidores artesanales a un costo ligeramente superior, pero tienen la garantía de una calidad que dará larga vida en servicio.

4.2 Recomendaciones

El proyecto de fabricación de hélices con aleación normalizada de bronce al manganeso UNS C86500 fue un éxito y para continuar así, se dan las siguientes recomendaciones:

- Capacitar al personal del taller, para que sigan aplicando esta nueva tecnología.
- Uso de método visual para analizar probetas coladas en molde metálico, que darán al fundidor una idea del estado del metal antes de proceder al colado.
- Uso de termómetro
- Uso de ensayo de impacto, para verificar la resistencia y la ductilidad del material colado.
- Es recomendable tener un mejor control de la temperatura y de la atmosfera en el horno, dado que el cobre se oxida fácilmente.
- Al momento de añadir los elementos aleantes, se recomienda batir correctamente la colada para garantizar una mezcla con las proporciones requeridas.
- Añadir el zinc es la parte más delicada del proceso de fusión, ya que es el material con menor punto de fusión y evaporación, por lo que es recomendable añadir un porcentaje adicional debido a las pérdidas. Este porcentaje lo da la experiencia.

APÉNDICES

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO	
------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Edición 3

Hoja: 1 de 9 **Fecha de emisión:** 22/07/2009
Nº Informe: 09-110 **Número de Orden:** OT-135

DATOS GENERALES DEL CLIENTE			
Nombre:	Victor Palacios		
Dirección:	Santa Cecilia Mz UA		
Teléfono:	2852681	Correo electrónico:	N/C
Persona de Contacto:	Sr. Víctor Palacios		

DATOS DE LA MUESTRA					
Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
09-405	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-406	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-409	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-410	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-411	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-412	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-415	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-416	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-417	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-420	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-421	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-422	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-423	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009
09-426	Probeta para Ensayo de Tensión- Sección Circular	30/06/2009	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Irregular	03/07/2009

**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.
 Fax: (593-4) 2269293 Teléfono: 2269375
 Email: lemat@espol.edu.ec
 MIC2207

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO	
------------------------------------------------------------------------------	--	--------------------------	--

Edición 3

Hoja: 2 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSION

EQUIPO UTILIZADO SHIMADZU UH 600 KNI
TEMP. ENSAYO 18 °C
NORMA DE REFERENCIA ASTM E8-08
MATERIAL Bronce

PROBETA	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	DESIGNACIÓN PROBETA	ESFUERZO	ESFUERZO	ESFUERZO	ELONGACIÓN (%)
				MÁXIMO (N/mm ²)	ROTURA (N/mm ²)	FLUENCIA (N/mm ²)	
09-405	7,39	42,89	2	508,09	358,238	382,50	6,9
09-406	8,16	52,30	3	527,23	518,836	347,99	10,9
09-407	7,39	42,89	4	447,07	380,926	392,16	2,0
09-408	8,08	51,28	5	512,89	360,038	386,59	6,3
09-409	8,15	52,17	6	360,06	326,96	267,26	2,0
09-410	8,44	55,95	7	488,67	478,078	304,04	9,9
09-411	8,47	56,35	8	483,98	316,498	354,10	9,9
09-412	8,46	56,21	9	419,52	385,893	336,89	4,5
09-413	8,40	55,42	10	508,39	427,222	303,12	11,6
09-414	7,66	46,08	11	531,57	491,253	311,95	16,0
09-415	8,16	52,30	12	464,27	289,373	204,83	34,7
09-416	8,16	52,30	13	459,86	415,004	203,65	39,6
09-417	8,51	56,88	14	278,42	84,3903	211,01	4,7
09-418	8,55	57,41	15	286,14	54,6029	224,36	5,5
09-419	8,24	53,33	16	508,70	427,87	314,62	10,5
09-420	7,25	41,28	17	535,35	492,249	350,50	14,6
09-421	7,75	47,17	18	475,62	281,689	330,46	10,3
09-422	7,9	49,02	19	503,78	502,405	361,03	5,7
09-423	8,63	58,49	20	542,40	447,161	211,85	19,9
09-424	8,24	53,33	21	575,79	444,888	236,60	17,2
09-425	8,58	57,82	22	411,56	343,523	213,32	7,7
09-426	9,25	67,20	23	531,36	489,811	233,37	11,6

Tabla 1. Resultados de Ensayo de Tensión



OBSERVACIONES:

* Las probetas ensayadas y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdlia. Santa Cecilia.
Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375
Email: lemat@espol.edu.ec
MC2201

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO	
---------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Edición 3

Hoja: 3 de 9 **Fecha de emisión:** 22/07/2009
Nº Informe: 09-110 **Número de Orden:** OT-135

INFORME ENSAYO DE DUREZA			
EQUIPO UTILIZADO:			
Durómetro: LECO			
Modelo: LR300TDL			
MÉTODO:			
Acorde a ASTM E18-08			
RESULTADOS:			
MUESTRA	DUREZA ROCKWELL (HRB) +	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	OBSERVACIONES
09-405	78	2,2	Ninguna
09-406	74	1,1	Ninguna
09-407	78	1,0	Ninguna
09-408	75	1,5	Ninguna
09-409	74	0,4	Ninguna
09-410	78	1,5	Ninguna
09-411	77	2,1	Ninguna
09-412	78	0,6	Ninguna
09-413	76	0,5	Ninguna
09-414	76	0,2	Ninguna
09-415	59	1,0	Ninguna
09-416	61	1,5	Ninguna
09-417	73	1,1	Ninguna
09-418	74	1,6	Ninguna
09-419	73	0,6	Ninguna
09-420	74	3,0	Ninguna
09-421	68	2,6	Ninguna
09-422	77	0,1	Ninguna
09-423	72	0,6	Ninguna
09-424	72	4,2	Ninguna
09-425	75	1,9	Ninguna
09-426	80	1,5	Ninguna

Tabla 2. Resultados de Ensayo de Dureza

*El resultado es el promedio de tres mediciones
 + Hardness Rockwell B

**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

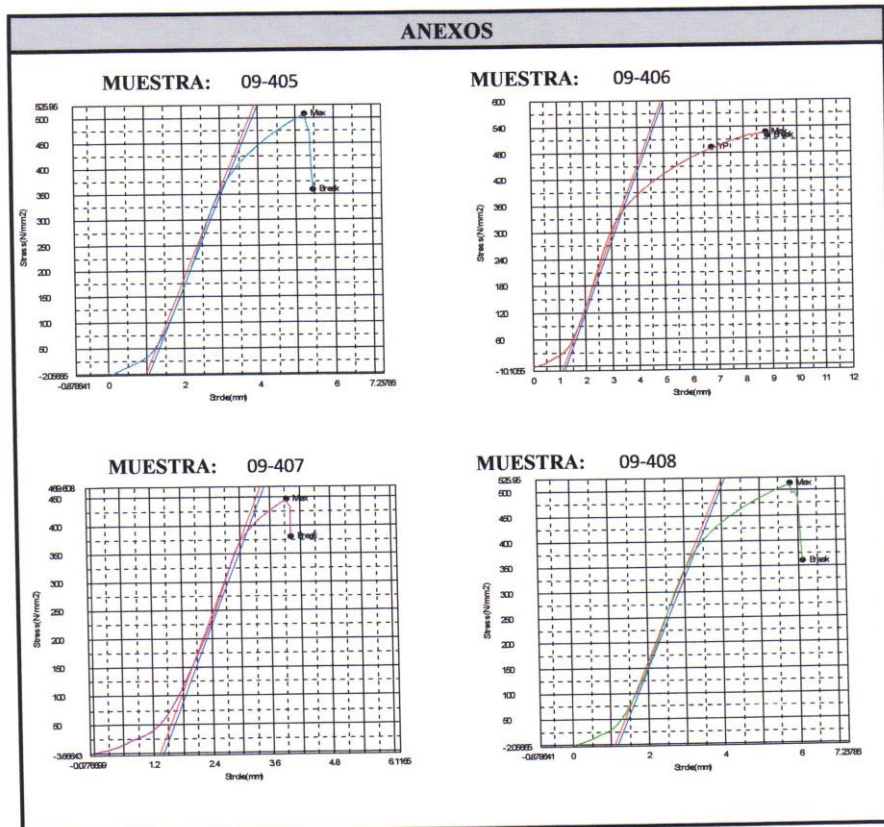
Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.
 Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375
 Email: lemat@espol.edu.ec
 MC2207

<p>Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT</p>		<p>INFORME DE ENSAYO</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------	--

Edición 3

Hoja: 4 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135



**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdlia. Santa Cecilia.
Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375.
Email: lemat@espol.edu.ec
MC2207

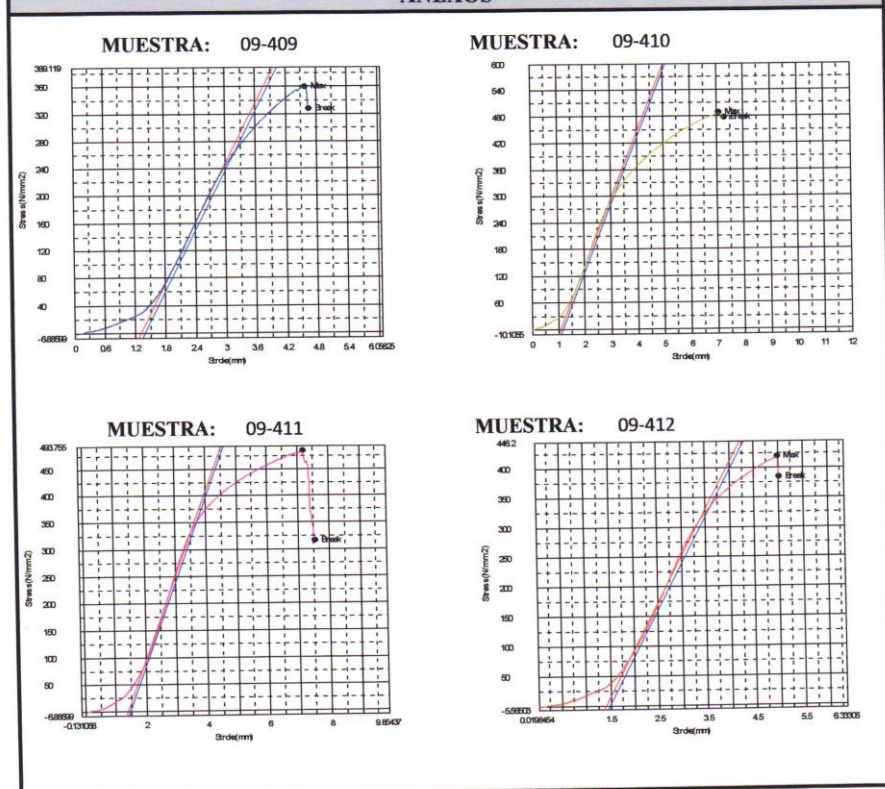
<p>Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT</p>		<p>INFORME DE ENSAYO</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------	--

Edición 3

Hoja: 5 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135

ANEXOS



LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdlra. Santa Cecilia.
Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375
Email: lemat@espol.edu.ec
MC2207

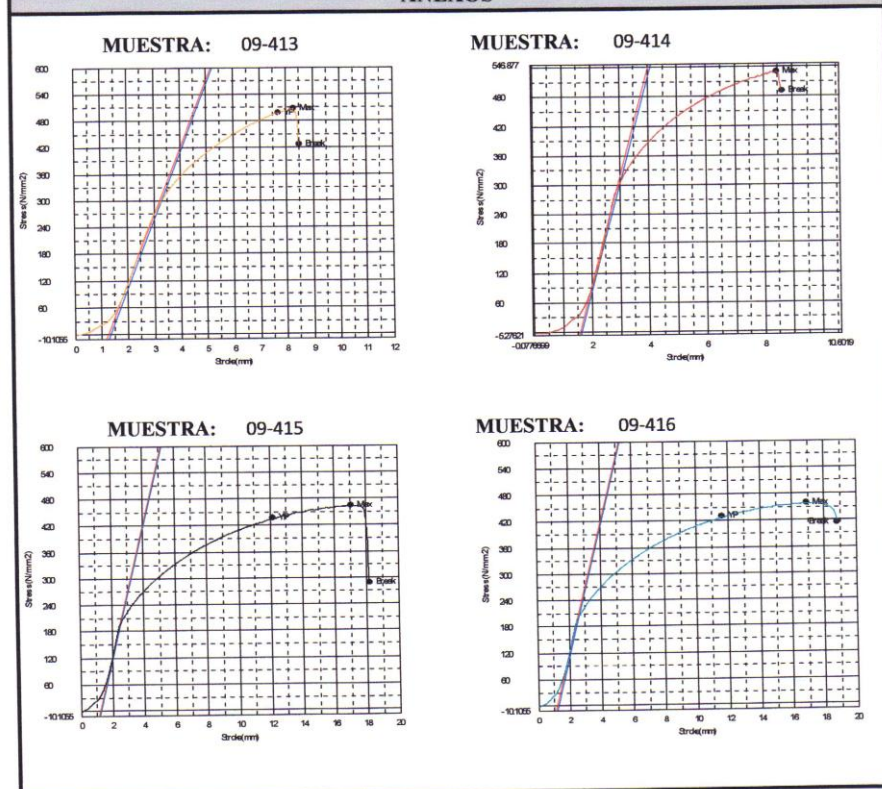
<p>Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT</p>		<p>INFORME DE ENSAYO</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------	--

Edición 3

Hoja: 6 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135

ANEXOS



**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

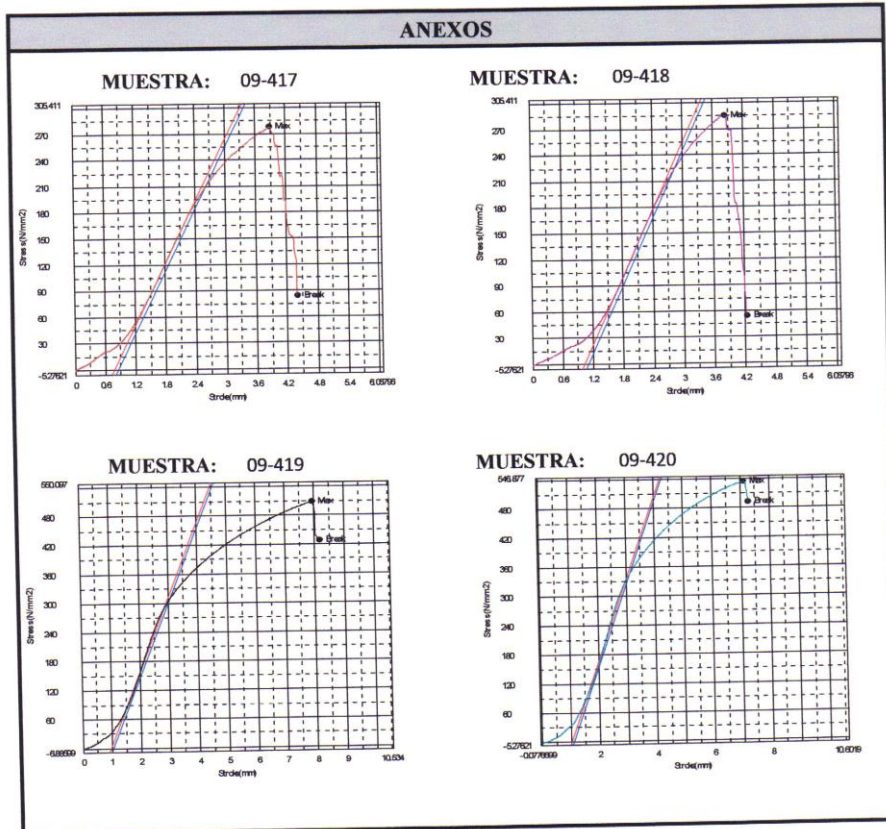
Guayaquil, "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.
Fax: (593-4) 2269293 Teléfono: 2269375
Email: lemat@espol.edu.ec
MC2204

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO	
---------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Edición 3

Hoja: 7 de 9
 Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
 Número de Orden: OT-135



LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

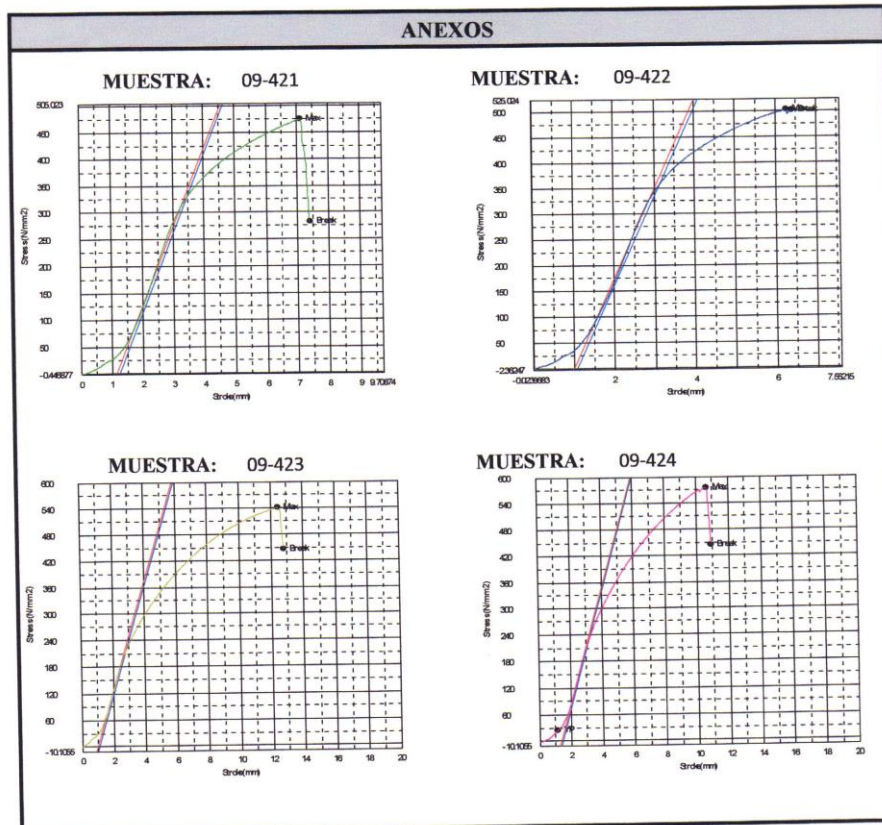
Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdlra. Santa Cecilia.
 Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375.
 Email: lemat@espol.edu.ec
 MC2201

<p>Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT</p>		<p>INFORME DE ENSAYO</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------------	--

Edición 3

Hoja: 8 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135



**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

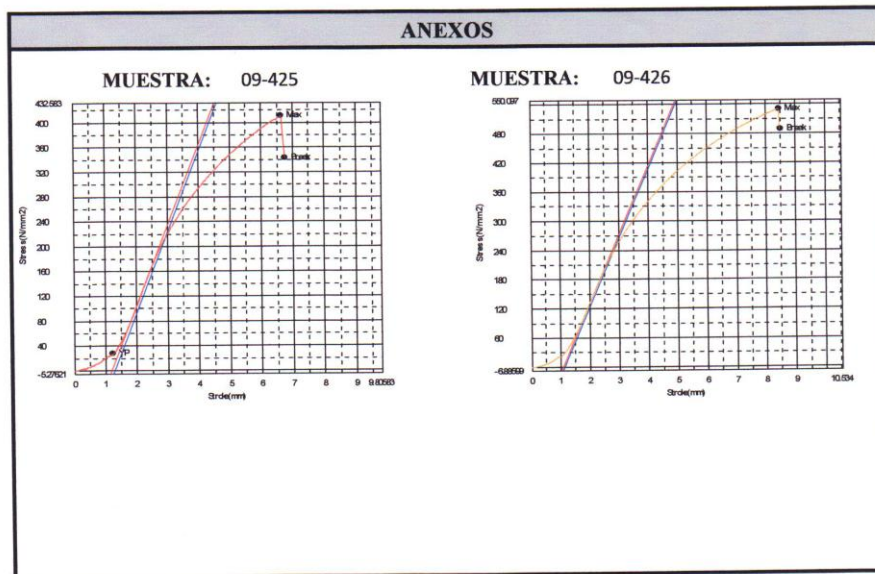
Guayaquil: "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cdlra. Santa Cecilia.
Fax: (593-4) 2269293. Teléfono: 2269375.
Email: lemat@espol.edu.ec
MC2201

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO	
------------------------------------------------------------------------------	--	--------------------------	--

Edición 3

Hoja: 9 de 9
Nº Informe: 09-110

Fecha de emisión: 22/07/2009
Número de Orden: OT-135



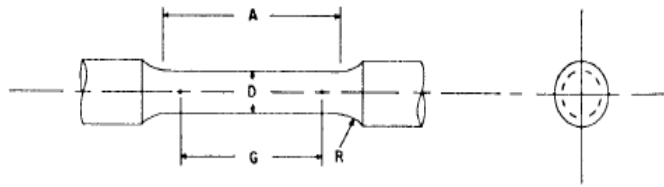
Ing. Clotario Tapia B.
 Director Técnico

M.Sc. Mauricio Córcejo M.
 Director del Laboratorio (e)

LEMAT
 Laboratorio de Ensayos
 Metrológicos y de Materiales

**LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.**

Guayaquil "Campus Gustavo Galindo V", Km 30.5 Vía Perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia
 Fax: (593-4) 2269293, Teléfono: 2269375
 Email: lemat@espol.edu.ec
 MC2201



Nominal Diameter	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/8	1/4	3/16	5/32	3/32
A—Length of reduced section, min Note 2)	2 1/4	1 1/4	1 1/4	3/4	5/8

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Fig. 8 and Fig. 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Similar specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

TABLE 4 Chemical Requirements
Composition, % Max Except as Indicated

Copper Alloy UNS No.	Major Elements										Residual Elements										
	Copper	Tin	Lead	Zinc	Iron	Nickel Incl. Cobalt	Alumi- num	Manga- nese	Silicon	Bismuth	Sel- num	Iron	Anti- mony	Nickel Incl. Cobalt	Sulfur	Pri- phorus	Alumi- num	Manga- nese	Silicon	Lead	
C93450	87.0-89.0	2.0-3.5	1.5-3.0	5.5-7.5	...	0.75-2.0	...	...	...	...	...	0.30	0.25	...	0.08	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C93600	84.0-86.0	4.0-6.0	4.0-6.0	4.0-6.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.30	0.25	...	0.08	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C93800	82.0-83.8	3.3-4.2	5.0-7.0	5.0-8.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.30	0.25	...	0.08	0.03	0.005	...	0.005	...	...
C94400	78.0-82.0	2.3-3.5	6.0-6.0	7.0-10.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.40	0.25	...	0.08	0.02	0.005	...	0.005	...	...
C94800	75.0-77.0	2.0-3.0	5.5-7.0	13.0-17.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.40	0.25	...	0.08	0.02	0.005	...	0.005	...	...
C95200	70.0-74.0	0.7-2.0	1.5-3.8	20.0-27.0	...	...	...	...	...	...	...	0.6	0.20	...	1.0	0.05	0.02	0.005	...	0.05	...
C95400	65.0-70.0	0.50-1.5	1.5-3.8	24.0-32.0	...	...	...	...	...	...	...	0.7	...	...	1.0	...	0.35	...	0.05	...	...
C95700	59.0-64.0	0.50-1.5	0.8-1.5	32.0-40.0	...	...	...	...	...	...	...	0.7	...	...	1.0	...	0.80	...	0.05	...	...
C96200	60.0-66.0	0.20	0.20	22.0-28.0	2.0-4.0	...	3.0-4.9	2.5-5.0	...	...	...	...	...	...	1.0	...	...	...	...	...	...
C96300	60.0-66.0	0.20	0.20	22.0-28.0	2.0-4.0	...	5.0-7.5	2.5-5.0	...	...	...	...	...	...	1.0	...	...	...	...	...	...
C96400	56.0-62.0	0.50-1.5	0.50-1.5	34.0-42.0	0.40-2.0	...	0.50-1.5	0.10-1.0	...	...	...	...	...	...	1.0	...	...	...	...	...	...
C96600	55.0-60.0	1.0	0.40	36.0-42.0	0.40-2.0	...	0.50-1.5	0.10-1.5	...	...	...	...	...	...	1.0	...	...	...	...	...	...
C96700	55.0-60.0	1.5	0.50-1.5	30.0-38.0	1.0-3.0	...	1.0-3.0	1.0-3.5	...	...	...	...	...	...	1.0	...	...	...	...	...	...
C97300	94.0 min	0.20	0.25	...	...	...	...	0.8-1.5	3.6-5.0	...	...	0.20	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C97400	79.0 min	...	1.0	12.0-16.0	...	...	...	...	2.5-4.0	...	...	...	...	...	...	...	0.80	...	...	...	...
C97500	79.0 min	...	0.50	12.0-16.0	...	...	...	...	3.0-5.0	...	...	...	...	...	...	...	0.50	...	...	...	...
C97600	88.0 min	...	0.50	4.0-7.0	...	...	...	...	3.5-5.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C97610	90.0 min	...	0.20	3.0-5.0	...	...	...	...	3.0-5.0	...	...	0.20	...	...	...	...	...	0.25	...	...	...
C99510	86.0-88.0	4.0-6.0	0.25	4.0-6.0	0.30	1.0	...	...	0.5-1.5	0.35-0.70	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C99520	85.0-87.0	5.0-6.0	0.25	4.0-6.0	0.20	1.0	...	...	1.8-2.2	0.8-1.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C99844	83.0-86.0	3.0-5.0	...	7.0-10.0	...	1.0 ^a	...	...	2.0-4.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.2
C99300	86.0-89.0	7.5-9.0	0.30	3.0-5.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.20	0.20	...	0.05	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C90500	86.0-89.0	9.0-11.0	0.30	1.0-3.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.20	0.20	...	0.05	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C92200	86.0-89.0	5.5-6.5	1.0-2.0	3.0-5.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.25	0.25	...	0.05	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C92210	86.0-89.0	4.5-5.5	1.7-2.5	3.0-4.5	...	0.7-1.0	...	...	...	...	...	0.25	0.20	...	0.05	0.03	0.005	...	0.005	...	...
C92300	85.0-89.0	7.5-9.0	0.30-1.0	2.5-5.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.25	0.25	...	0.05	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C92600	86.0-89.5	9.3-10.5	0.8-1.5	1.3-2.5	...	0.7 ^a	...	...	...	...	...	0.20	0.25	...	0.05	0.03	0.005	...	0.005	...	...
C93200	81.0-85.0	6.3-7.5	6.0-8.0	2.0-4.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.20	0.35	...	0.08	0.15	0.005	...	0.005	...	...
C93500	83.0-86.0	4.3-6.0	8.0-10.0	2.0	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.20	0.30	...	0.08	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C93700	78.0-82.0	9.0-11.0	8.0-11.0	0.8	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.15	0.50	...	0.08	0.15	0.005	...	0.005	...	...
C93800	75.0-79.0	6.3-7.5	13.0-16.0	0.8	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.15	0.80	...	0.08	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C94300	67.0-72.0	4.5-6.0	23.0-27.0	0.8	...	1.0 ^a	...	...	...	...	...	0.15	0.80	...	0.08	0.05	0.005	...	0.005	...	...
C94700	85.0-90.0	4.5-6.0	0.10	1.0-2.5	...	...	...	...	...	...	...	0.25	0.15	...	0.05	0.05	0.005	...	0.20	0.005	...
C94800	84.0-89.0	4.5-6.0	0.30-1.0	1.0-2.5	...	...	...	...	...	...	...	0.25	0.15	...	0.05	0.05	0.005	...	0.20	0.005	...
C94900	79.0-81.0	4.0-6.0	4.0-6.0	4.0-6.0	...	...	...	...	...	...	...	0.30	0.25	...	0.08	0.05	0.005	...	0.10	0.005	...
C96800	remainder	...	0.005	1.0	0.50	9.5-10.5	0.10	0.05-0.30	...	...	...	0.02	...	...	0.0025	0.005	...	...	...	...	...
C97300	53.0-58.0	1.5-3.0	8.0-11.0	17.0-25.0	1.5	11.0-14.0	...	...	...	...	...	0.35	...	...	0.08	0.05	0.005	...	0.50	0.15	...
C97600	63.0-67.0	3.5-4.5	3.0-5.0	3.0-9.0	1.5	19.0-21.5	...	...	...	...	...	0.25	...	...	0.08	0.05	0.005	...	1.0	0.15	...
C97800	64.0-67.0	4.0-5.5	1.0-2.5	1.0-4.0	1.5	24.0-27.0	...	...	...	...	...	0.20	...	...	0.08	0.05	0.005	...	1.0	0.15	...

^aIn determining copper minimum, copper may be calculated as copper plus nickel.
^bIt is possible that the mechanical requirements of copper alloy UNS No. C94700 (heat treated) will not be obtained if the lead content exceeds 0.01 %.
^cNiobium 0.10-0.30 %, boron 0.001 %, max; bismuth 0.001 %, max; magnesium 0.0005-0.15 %, and titanium 0.01 % max.

TABLE 2 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell B Hardness Range)^{A, B}

Rockwell B Hardness Number, 100-kgf (HRB)	Vickers Hardness Number (HV)	Brinell Hard- ness Number, 3000-kgf, (HBS)	Knoop Hard- ness Number, 500-gf, and Over (HK)	Rockwell A Hardness Number, 60-kgf, (HRA)	Rockwell F Hardness Number, 60-kgf, (HRF)	Rockwell Superficial Hardness Number			Rockwell B Hardness Number, 100-kgf, (HRB)
						15-T Scale, 15-kgf, (HR 15-T)	30-T Scale, 30-kgf, (HR 30-T)	45-T Scale, 45-kgf, (HR 45-T)	
100	240	240	251	61.5	...	93.1	83.1	72.9	100
99	234	234	246	60.9	...	92.8	82.5	71.9	99
98	228	228	241	60.2	...	92.5	81.8	70.9	98
97	222	222	236	59.5	...	92.1	81.1	69.9	97
96	216	216	231	58.9	...	91.8	80.4	68.9	96
95	210	210	226	58.3	...	91.5	79.8	67.9	95
94	205	205	221	57.6	...	91.2	79.1	66.9	94
93	200	200	216	57.0	...	90.8	78.4	65.9	93
92	195	195	211	56.4	...	90.5	77.8	64.8	92
91	190	190	206	55.8	...	90.2	77.1	63.8	91
90	185	185	201	55.2	...	89.9	76.4	62.8	90
89	180	180	196	54.6	...	89.5	75.8	61.8	89
88	176	176	192	54.0	...	89.2	75.1	60.8	88
87	172	172	188	53.4	...	88.9	74.4	59.8	87
86	169	169	184	52.8	...	88.6	73.8	58.8	86
85	165	165	180	52.3	...	88.2	73.1	57.8	85
84	162	162	176	51.7	...	87.9	72.4	56.8	84
83	159	159	173	51.1	...	87.6	71.8	55.8	83
82	156	156	170	50.6	...	87.3	71.1	54.8	82
81	153	153	167	50.0	...	86.9	70.4	53.8	81
80	150	150	164	49.5	...	86.6	69.7	52.8	80
79	147	147	161	48.9	...	86.3	69.1	51.8	79
78	144	144	158	48.4	...	86.0	68.4	50.8	78
77	141	141	155	47.9	...	85.6	67.7	49.8	77
76	139	139	152	47.3	...	85.3	67.1	48.8	76
75	137	137	150	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8	75
74	135	135	147	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8	74
73	132	132	145	45.8	98.5	84.3	65.1	45.8	73
72	130	130	143	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8	72
71	127	127	141	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8	71
70	125	125	139	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8	70
69	123	123	137	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8	69
68	121	121	135	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8	68
67	119	119	133	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8	67
66	117	117	131	42.3	94.5	82.1	60.4	38.7	66
65	116	116	129	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7	65
64	114	114	127	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7	64
63	112	112	125	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7	63
62	110	110	124	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7	62
61	108	108	122	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7	61
60	107	107	120	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7	60

Rockwell B Hardness Number, 100-kgf, (HRB)	Vickers Hardness Number (HV)	Brinell Hardness Number, 3000-kgf, 10-mm Ball	Knoop Hardness Number, 500-gf and Over	Rockwell A Hardness Number, 60-kgf, Diamond Penetrator	Rockwell F Hardness Number, 60-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Rockwell Superficial Hardness Number			Rockwell B Hardness Number, 100-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball
						15-T Scale, 15-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	30-T Scale, 30-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	45-T Scale, 45-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	
59	106	106	118	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7	59
58	104	104	117	38.6	90.0	79.5	55.0	30.7	58
57	103	103	115	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7	57
56	101	101	114	37.7	88.8	78.8	53.7	28.7	56
55	100	100	112	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7	55
54	...	...	111	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7	54
53	...	...	110	36.3	87.1	77.9	51.7	25.7	53
52	...	...	109	35.9	86.5	77.5	51.0	24.7	52
51	...	...	108	35.5	86.0	77.2	50.3	23.7	51
50	...	...	107	35.0	85.4	76.9	49.7	22.7	50
49	...	...	106	34.6	84.8	76.6	49.0	21.7	49
48	...	...	105	34.1	84.3	76.2	48.3	20.7	48
47	...	...	104	33.7	83.7	75.9	47.7	19.7	47
46	...	...	103	33.3	83.1	75.6	47.0	18.7	46
45	...	...	102	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7	45
44	...	...	101	32.4	82.0	74.9	45.7	16.7	44
43	...	...	100	32.0	81.4	74.6	45.0	15.7	43
42	...	...	99	31.6	80.8	74.3	44.3	14.7	42
41	...	...	98	31.2	80.3	74.0	43.7	13.6	41
40	...	...	97	30.7	79.7	73.6	43.0	12.6	40

TABLE 2 Mechanical Requirements

Copper Alloy UNS No.	Tensile Strength, min		Yield Strength, [^] min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %
	ksi [®]	MPa [©]	ksi [®]	MPa [©]	
C83450	30	207	14	97	25
C83600	30	207	14	97	20
C83800	30	207	13	90	20
C84400	29	200	13	90	18
C84800	28	193	12	83	16
C85200	35	241	12	83	25
C85400	30	207	11	76	20
C85700	40	276	14	97	15
C86200	90	621	45	310	18
C86300	110	758	60	414	12
C86400	60	414	20	138	15
C86500	65	448	25	172	20
C86700	80	552	32	221	15
C87300	45	310	18	124	20
C87400	50	345	21	145	18
C87500	60	414	24	165	16
C87600	60	414	30	207	16
C87610	45	310	18	124	20
C89510	26	184	17	120	8
C89520	25	176	17	120	6
C89844	28	193	13	90	15
C90300	40	276	18	124	20
C90500	40	276	18	124	20
C92200	34	234	16	110	22
C92210	32	225	15	103	20
C92300	36	248	16	110	18
C92600	40	276	18	124	20
C93200	30	207	14	97	15
C93500	28	193	12	83	15
C93700	30	207	12	83	15
C93800	26	179	14	97	12
C94300	24	165	...	...	10
C94700	45	310	20	138	25
C94700 (HT)	75	517	50	345	5
C94800	40	276	20	138	20
C94900	38	262	15	103	15
C96800	125	862	100 [®]	689 [®]	3
C96800 (HT)	135	931	120 [®]	821 [®]	...
C97300	30	207	15	103	8
C97600	40	276	17	117	10
C97800	50	345	22	152	10

[^]Yield strength shall be determined as the stress producing an elongation under load of 0.5 %, that is, 0.01 in. (0.254 mm) in a gage length of 2 in. or 50 mm.

[®]ksi = 1000 psi.

[©]See Appendix X1.

BIBLIOGRAFÍA

1. Estándares ASTM American Society for Testing and Materials, ASTM B584, ASTM B208, ASTM E140, <http://www.astm.org/>
2. Albert G. Guy, Metalurgia física para ingenieros, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1964
3. Richard A. Flinn, Copper, brass and bronze castings, Non-Ferrous Founders Society, Inc., 1961
4. Felipe A. Calvo, METALOGRAFÍA PRACTICA, Primera Edición, 1972
5. Raymond A. Higgins, INGENIERÍA METALÚRGICA. 1980
6. Guía para Elaboración de Tesis de Grado, (Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Enero 2003)
7. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 7, 8th Edition, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
8. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams.
9. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 15, 8th Edition, Casting
10. R. S. Hollingshead/C. M. Hanham, Corrosion Problems in the Canadian maritime forces, Technical memorandum 84/BB, National Defence , Defense and Research branch. Diciembre 1984.
11. Ing. José A. Jara Espinoza, “Fabricación de cuproaluminios complejos” (Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 1994)
12. Baumeister/Avallone/Baumeister, Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Octava Edición, McGraw Hill, 1984
13. John Campbell, “Castings”, Editorial Elsevier, 2004
14. John Campbell, “Castings Practice”, Editorial Elsevier, 2004

15. www.copper.org, "Guidelines for the use of copper alloys in seawater"