

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Rehabilitación de Cojinetes de Turbina Pelton por medio  
de la Elaboración de Aleaciones Antifricción”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Angel Salvador Toapanta Toapanta

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2008

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a mi madre y a las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de esta tesis, a mis amigos, especialmente al Ing. Ignacio Wiesner F. por su invaluable colaboración y a la Empresa INTRAMET

## **DEDICATORIA**

A DIOS

A MI MADRE

A MI FAMILIA

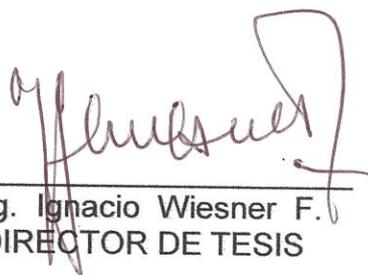
A MIS AMIGOS

## TRIBUNAL DE GRADUACION



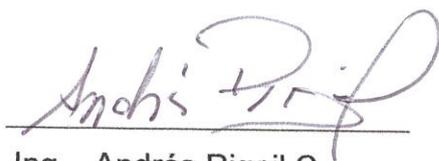
---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



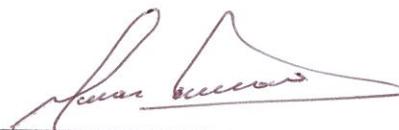
---

Ing. Ignacio Wiesner F.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Andrés Rigail C.  
VOCAL.



---

Ing. Omar Serrano V.  
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 LITOTAL”

(Reglamentación de Graduación de la ESPOL).



---

Angel Salvador Toapanta Toapanta

## RESUMEN

En la presente Tesis de grado se rehabilitaron cojinetes de fricción para la Turbina Pelton de la Central Hidroeléctrica de Alao de 2,6 megavatios de potencia, para cumplir este objetivo se procedió a calificar en laboratorio los metales antifricción o metal blanco, también llamado Babbitt, que son usados en muchas aplicaciones de este tipo.

Luego de comprobar que las aleaciones de metal blanco adheridas a los cojinetes originales son ASTM B23 grado 3 y ASTM B23 grado 13, estas se usaron como patrón referencial y con la aplicación de las técnicas de laboratorio se depuro la técnica de cómo producir estas aleaciones, partiendo de metales puros y aleaciones certificadas.

La calidad de los metales y sus propiedades físicas y químicas fueron calificadas con microscopio óptico, análisis químicos, ensayos de tracción y dureza, como en la norma ASTM B 23, Además se calificaron las características naturales de estos metales blancos por medio de observación visual, Después se procedió a adherir estos metales certificados a las chapas de Hierro gris originales ensambladas con semimoldes metálicos.

Todas las acciones de rehabilitación de los cojinetes fueron cuantificadas en dólares puesto que se demostró que existen algunas ventajas económicas con respecto a los originales de fábrica y con la misma confiabilidad técnica,

porque para realizar este trabajo se tuvieron que armonizar técnicas y conocimientos artesanales y de Ingeniería.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Descripción de central hidroeléctrica.....	4
1.2 Condición de desgaste de cojinetes.....	18
1.3 Análisis metalúrgicos de los metales de fábrica.....	19
1.4 Materiales existentes en el mercado.....	29
1.5 Plan de trabajo para la reparación, cronograma.....	44
CAPITULO 2	
2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	45
2.1 Metodología experimental en el desarrollo de aleaciones de metal blanco “Babbitt”.....	45
2.2 Producción de la aleación babbitt 3 en laboratorio.....	51

2.3	Producción de la aleación babbitt 13 en laboratorio.....	56
2.4	Control metalúrgico de aleaciones por microscopio óptico, ensayos de dureza y tracción.....	83
2.5	Preparación de los cojinetes para el remetalado, fusión y Colado.....	87
CAPITULO 3		
3.	EVALUACIÓN DEL REMETELADO.....	95
3.1	Verificación de estructura babbitt en chumaceras.....	95
3.2	Análisis de costo del proceso de remetalado .....	101
CAPITULO 4		
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
4.1	Conclusiones.....	103
4.2	Recomendaciones.....	104
APÉNDICES		
BIBLIOGRAFÍA		

## ABREVIATURAS

m	metros
Mw.	Megavatios
mm	milímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
RPM	Revoluciones por minuto
%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
máx.	Máximo
g	gramos
g/m <sup>3</sup>	Gramos sobre metro cúbico
ms	Mili segundos
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo
g/cm. <sup>3</sup>	Gramos sobre centímetro cúbico
Kg	kilogramos
250X	Aumento a 250 veces el original
BHN	Dureza Brinell (Brinell Hardness Number)
\$	dólares
e	Espesor
$\rho$	Densidad
$m$	Masa
$V$	Volumen
ASTM	American Society for Testing and Materials
SAE	Society of Automotive Engineers

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 Empresa Eléctrica Riobamba S.A.....	5
Figura 1.2 Cojinete Grande.....	9
Figura 1.3 Cojinete Pequeño.....	10
Figura 1.4 Cojinetes para turbinas hidráulicas.....	15
Figura 1.5 Casa de maquinas .....	16
Figura 1.6 Turbina hidráulica Pelton .....	18
Figura 1.7 Condición superficial de cojinetes de turbina Pelton...	19
Figura 1.8 Toma de muestras de los cojinetes.....	20
Figura 1.9 Identificación de las muestras de los cojinetes.....	21
Figura 1.10 Mesa de pulido con lija .....	22
Figura 1.11 Mesa de pulido para pasta de diamante.....	22
Figura 1.12 Ataque Químico con Reactivo .....	23
Figura 1.13 Probetas de Babbitts originales, preparadas para ser observadas al microscopio Leitz .....	23
Figura 1.14 Microscopio Leitz asistido por computadora.....	24
Figura 1.15 Microestructura N° 1 Babbitt 3.....	25
Figura 1.16 Microestructura N° 2 Babbitt 13.....	25
Figura 1.17 Lingotes de Babbitts, Beraco, PK especial, y Federico 8.....	29
Figura 1.18 Probetas de Babbitt del mercado, preparadas para ser observadas al microscopio Leitz.....	30
Figura 1.19 Microestructura N° 3 Babbitt 1 .....	30
Figura 1.20 Microestructura N° 4 Babbitt no tiene equivalencia ASTM 31.....	31
Figura 1.21 Microestructura N° 5 Babbitt 7.....	31
Figura 1.22 Molde metálico para cuña de temple.....	35
Figura 1.23 Vaciado de colada con flujo laminar en molde metálico...	35
Figura 1.24 Cuña de temple de metal Babbitt 3, original y obtención de probeta.....	36
Figura 1.25 Cuña de temple de metal Babbitt 3 original con sus respectivos espesores y microestructuras .....	37
Figura 1.26 Cojinetes dibujados en auto CAD en sólidos.....	38
Figura 1.27 Representación en porcentajes de Babbitt 3 Remetalado...	39

Figura 1.28	Representación en porcentajes de Babbitt 13 Remetalado..	40
Figura 1.29	Semimoldes de cojinetes vista frontal.....	42
Figura 1.30	Semimoldes de cojinetes vista posterior.....	42
Figura 1.31	Semimoldes acoplados a partes fundidas de los cojinetes.....	43
Figura 1.32	Semimoldes de cojinetes vista superior.....	43
Figura 2.1	Molde metálico de medallón.....	46
Figura 2.2	Medallón para ensayo de la metalografía y dureza...	47
Figura 2.3	Molde metálico para hacer barras.....	47
Figura 2.4	Barras para probetas de ensayo de tracción.....	48
Figura 2.5	Diagrama de flujo para la obtención del Babbitt ASTM grado 3.....	52
Figura 2.6	Probeta de Sn sometida al ensayo de tracción.....	59
Figura 2.7	Equipo completo Versatester 30M adaptado a computadora para ensayo de probetas en base de Sn.....	59
Figura 2.8	Fractura frágil de probeta de Babbitt en base de Sn.....	60
Figura 2.9	Fractura de Cuña en Base de Sn.....	61
Figura 2.10	Babbitt en base de Sn y su tipo de viruta.....	61
Figura 2.11	Diagrama de flujo para obtención Babbitt ASTM B23 grado 13 .....	67
Figura 2.12	Probeta de Babbitt 13 en base de Pb sometida al ensayo de tracción .....	76
Figura 2.13	Fractura levemente frágil de probeta en base de plomo...	77
Figura 2.14	Fractura de cuña en base de plomo .....	78
Figura 2.15	Medallón de Babbitt base Pb y su tipo de viruta.....	78
Figura 2.16	Lingotes de Babbitts de Intramet.....	84
Figura 2.17	Diagrama de flujo para el proceso de Remetalado o Metalizado .....	91
Figura 3.1	Toma de muestras de cojinetes metalizados.....	96
Figura 3.2	Probetas de cojinetes metalizados atacadas con 2% de nital.....	96
Figura 3.3	Excelente acabado superficial.....	99
Figura 3.4	Viruta del mecanizado.....	99
Figura 3.5	Cojinetes metalizados premecanizados.....	100
Figura 3.6	Cojinetes listos para el uso en la turbina Pelton.....	100

## INDICE DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1	Presentación de Babbitt según norma ASTM en base de plomo .....	11
Tabla 2	Presentación de Babbitt según norma ASTM en base de estaño .....	12
Tabla 3	Característica de la turbina hidráulica .....	17
Tabla 4	Resultado de análisis químico del Babbitt base de estaño .....	26
Tabla 5	Resultado de análisis químico del Babbitt base de plomo.....	27
Tabla 6	Propiedades físicas de las aleaciones en base de Sn y Pb.....	28
Tabla 7	Durezas de las aleaciones en base de Sn y Pb.....	28
Tabla 8	Babbitts disponibles en nuestro mercado local.....	29
Tabla 9	Resultado de análisis químico para Babbitt PK especial (base Sn).....	32
Tabla 10	Resultado de análisis químico para Babbitt Federico 8 (base Sn).....	32
Tabla 11	Resultado de análisis químico para Babbitt Beraco (base Pb).....	33
Tabla 12	Peso de cojinetes en base de estaño.....	39
Tabla 13	Peso de cojinetes en base de plomo.....	40
Tabla 14	Retazos de materiales para la construcción de semimoldes .....	41
Tabla 15	Cronograma de trabajo.....	44
Tabla 16	Resultado del Capitulo 1 .....	45
Tabla 17	Metalografía a distintos espesores.....	49
Tabla 18	Comparación de metalografías del primer ensayo Babbitt .3.....	53
Tabla 19	Cálculo de ajuste de carga en base Sn.....	54
Tabla 20	Cálculo según iteración.....	55
Tabla 21	Presentación en peso de PK especial (base Sn) con incrementos de Sb y Cu .....	56

Tabla 22	Presentación en porcentaje de PK especial corregido = ASTM B Grado 3.....	56
Tabla 23	Comparación de metalografías del segundo ensayo Babbitt 3.....	57
Tabla 24	Comparación en porcentajes del segundo ensayo Babbitt 3.....	58
Tabla 25	Propiedades físicas del Babbitt en base de Sn.....	60
Tabla 26	Datos experimentales prueba uno, Babbitt 3 original en forma de medallón (8mm) .....	62
Tabla 27	Datos experimentales prueba dos, PK especial en forma de medallón (8mm).....	63
Tabla 28	Datos experimentales prueba tres, PK especial + incrementos de Sb Y Cu.....	64
Tabla 29	Presentación en masa porcentajes de PK especial (base Sn) con incrementos de Sb y Cu= ASTM B 23 Grado 3 ...	65
Tabla 30	Comparación de Metalografías del primer ensayo Babbitt 13.....	68
Tabla 31	Presentación en porcentajes de BERACO (base Pb)....	69
Tabla 32	Presentación en peso de BERACO (base Pb).....	70
Tabla 33	Cálculo de la primera iteración.....	70
Tabla 34	Presentación en pesos de BERACO (Base Pb) con incrementos de plomo de primera iteración .....	71
Tabla 35	Presentación en porcentajes de BERACO (Base Pb) con incrementos de plomo de primera iteración.....	71
Tabla 36	Cálculo de segunda iteración .....	72
Tabla 37	Presentación en pesos de BERACO (Base Pb) con incrementos de Pb+Sb de segunda iteración .....	72
Tabla 38	Presentación en porcentajes de BERACO (Base Pb) con incrementos de Pb+Sb de segunda iteración.....	73
Tabla 39	Comparación de Metalografías del segundo ensayo Babbitt 13.....	74
Tabla 40	Comparación de porcentajes del segundo ensayo Babbitt 13.....	75
Tabla 41	Propiedades físicas de las aleaciones en base de Pb	
Tabla 42	Datos experimentales prueba uno, Babbitt 13 original.....	79
Tabla 43	Datos experimentales prueba dos, BERACO (base Sn) en forma de medallón (8mm).....	80
Tabla 44	Datos experimentales prueba tres, BERACO (base Pb) en forma de medallón(8mm)+ 584 gramos de Pb+ 16 gramos de Sb .....	81
Tabla 45	Presentación en porcentajes de BERACO (base Pb) con incrementos de Pb y Sb= ASTM B 23 Grado 13.....	82
Tabla 46	Resultados de pesos para Babbitt 13 en base de plomo.....	83

Tabla 47	Resultados de Aleación Babbitt 3 en base de estaño.....	85
Tabla 48	Resultados de Aleación Babbitt 13 en base de plomo.....	86
Tabla 49	Cronograma del Remetalado o Metalizado.....	92
Tabla 50	Presentación en secuencia de fotos del 1 – 8 del proceso de Metalizado .....	93
Tabla 51	Presentación en secuencia de fotos de la 9 – 15 del proceso de Metalizado .....	94
Tabla 52	Resultados de Babbitt 3 adheridos al cojinete.....	97
Tabla 53	Resultados de Babbitt 13 adheridos al cojinete.....	98
Tabla 54	Costos de materiales para el remetalado.....	101
Tabla 55	Costos de operaciones auxiliares.....	102

## INTRODUCCIÓN

La Producción de Energía Eléctrica por medio de centrales aprovechando energía de saltos de agua en la región andina de nuestro país, es totalmente desconocida en nuestro medio, existen centrales de pequeña envergadura que también suministran energía al Sistema Nacional, ese es el caso de la Empresa Eléctrica de Riobamba que genera un total de 10,4 megavatios, a esta le pertenece la Central Hidroeléctrica de Alao que tiene 4 turbinas Pelton que generan 2,6 megavatios cada una.

Nuestro objetivo general es que dicha empresa evite tiempos de parada por fallas en los cojinetes de deslizamiento de las turbinas, por fallas inesperadas por el tipo de operación al que están sometidas que los pone a funcionar con un nivel de exigencia que sobre pasa su normal desempeño.

El objetivo específico de este trabajo fue realizar la rehabilitación de los cojinetes principales de una de las Turbinas Hidráulicas con el metalizado de las chapas con metal antifricción normalizados según la norma ASTM B23.

Hace algún tiempo en Intramet se había tenido el caso del buque insignia de La Armada del Ecuador al que no se le encontraba solución a la reposición de los cojinetes antifricción de la turbina principal de propulsión y fue una experiencia valiosa para encontrar la solución de este caso por medio del mejoramiento de una aleación importada de gran prestigio en nuestro medio

naval, pero como se descubrió con los ensayos metalúrgicos realizados en nuestros laboratorios, la composición química tenía carencia de elementos de aleación y que fue corregida en la tesis de grado del Ing. Jorge A. Muñoz Martínez, “Uso de Material Compuesto en chapas para Cojinetes” en la que se demuestra como se modificó la aleación y el éxito que se consiguió.

Esta experiencia sirvió para tomar este nuevo reto, que tenía sus problemas muy particulares ya que las técnicas de trabajo utilizadas anteriormente para el metalizado de revestir los cojinetes de deslizamiento, esta ahora prácticamente en desuso.

Además no fue fácil conseguir las aleaciones preparadas ni metales puros para la preparación de las aleaciones, y también se hizo difícil conseguir un artesano experto en la aplicación de los Babbitt.

Se estableció un método de trabajo de investigación y desarrollo en laboratorio tomando como patrón de calidad los materiales que estaban en los cojinetes originales los cuales se demostraron con metalografía y análisis químicos que corresponde al ASTM B23 grado 3 (Babbitt 3) y ASTM B23 grado 13 (Babbitt 13) y para la certificación de los mismos se homologan las dos aleaciones con sus respectivas normas, en este caso las que se sometieron a todos los controles metalúrgicos que exigen estas normas norteamericanas.

Y se encuentra documentado en todos sus detalles con la finalidad que pueda ser registrado para utilidad de otros que tengan que enfrentar la responsabilidad técnica de mantener maquinas en funcionamiento sin tener que depender de la importación, ya que no es una solución apropiada en casos de emergencias por el tiempo de parada que representa la adquisición de estas partes.

# CAPITULO 1

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de Central Hidroeléctrica

Para generar electricidad en la central de Alao se aprovechan las aguas de los ríos Alao (con 5 metros cúbicos por segundo) y del Maguazo (con 2,5 metros cúbicos por segundo).

En la bocatoma, donde se capta el agua, las compuertas y desarenadores permiten el ingreso regulado de agua sin sólidos; desde allí, mediante un canal de conducción, el agua se traslada hasta el tanque de presión, recorre algo más de 12 kilómetros, pasando por 19 túneles.

Cerca del tanque de presión, existe el canal de desfogue, que conduce hasta el río Chambo el agua sobrante cuando la central opera de forma normal.

Además están las rejillas de entrada de las tuberías de presión, por donde luego bajara el agua por gravedad.



**FIGURA 1.1 EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA S.A.**

En esta central existen dos tuberías de presión de 737 metros de longitud, que conducen el agua a la casa de máquinas, cuentan con una capacidad de 1,94 metros cúbicos por segundo, con una caída neta de 321 metros hacia las turbinas.

En la central de Alao están instalados cuatro grupos de turbina tipo Pelton. Por medio de dos inyectores ingresa 0,97 metros cúbicos por segundo, lo que las hace girar a 720 revoluciones por minuto, el generador acoplado a la turbina es de 2,6 megavatios de potencia, dando un total de 10,4 megavatios en la central.

El voltaje de generación de los grupos es de 2.400 voltios, los dos primeros elevan a 44 mil voltios y los otros a 69 mil voltios; estos son acoplados por un auto transformador, con una capacidad de 6,56 megavatios.

La energía eléctrica producida es trasladada a la subestación No. 1 en Riobamba, para transformarse en luz, calor y movimiento.

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. aprovecha el recurso hídrico para generar el suministro de energía para Riobamba y todos los cantones de la provincia de Chimborazo.

La Central Hidroeléctrica de Alao tiene cuatro grupos de generación y produce 10.4 megavatios, por lo que se constituye en la más importante planta de generación de energía, aprovechando el recurso hídrico en la Provincia.

La provincia de Chimborazo cuenta además con dos centrales hidroeléctricas adicionales: la de Río Blanco, ubicada en la parroquia Químiag, que con las aguas del río del mismo nombre, genera 3 megavatios; y la central hidroeléctrica de Nízag, ubicada en la comunidad Nízag del cantón Alausí, que aprovecha el caudal del río Zula y genera 0,3 megavatios. De esta forma la energía eléctrica sirve al sector residencial, comercial e industrial, para fomentar el desarrollo.

En el año 2004, la Empresa se autoabasteció con el 60% de energía producida por las centrales descritas. Actualmente se registran 130 mil abonados. El compromiso de la empresa no sólo es proteger los recursos naturales, sino generar, desarrollo y preservar el ecosistema del páramo, que es donde están ubicadas las plantas generadoras de energía.

Con el propósito de conservar este recurso natural, la Empresa Eléctrica Riobamba, a través de su Unidad Ambiental, protege y conserva las micro cuencas de Alao, Río Blanco y Zula.

Además de bajar los niveles de sedimentación mediante el incremento de la cobertura vegetal, para lo cual se establecen programas de forestación, con especies nativas que permitan mantener los recursos del agua y el suelo.

Se trabaja sobre un programa de capacitación y concienciación de los actores locales de estos sectores, sobre la importancia de cuidar el recurso hídrico, no solo para las generaciones actuales sino para las que vendrán más adelante.

### **Petición de la Reparación de cojinetes para turbina Pelton**

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. en su afán de incorporar tecnología nacional en los trabajos de mantenimiento de las turbinas invito a fabricantes de la localidad a que participen en la reparación de los cojinetes de la central Alao y que consistía en el revestimiento de dos cojinetes grandes de 250 mm de diámetro, dos cojinetes pequeños de 180 mm de diámetro de las turbinas hidráulicas de la central Alao.

#### **Tipo de trabajo a realizar:**

Por la naturaleza del trabajo de fricción de los cojinetes con el eje y el tiempo de utilización, se ha producido un desgaste en estas piezas, por lo que se requiere realizar los siguientes trabajos, a fin de recuperar las dimensiones normales.

#### **Cojinetes grandes y pequeños del eje principal de la turbina**

- a) Vaciado de casquillo, limpieza y eliminación de materiales extraños.
- b) Rellenado de magnolia (Babbitt) de acuerdo a dimensiones requeridas.
- c) Rectificado y pulido de las superficies de contacto de los cojinetes según las medidas de planos.
- d) Pintar el equipo con pintura anticorrosiva.

**2 Cojinetes grandes del eje principal.**

**Diámetros:** Interior N1 =250 mm, Exterior N2= 393 mm.

**Longitud=** 360 mm.

**Material de respaldo:** Hierro fundido de dos piezas con revestimiento.

En la siguiente foto se aprecian las características de estos cojinetes



**FIGURA 1.2 COJINETE GRANDE**

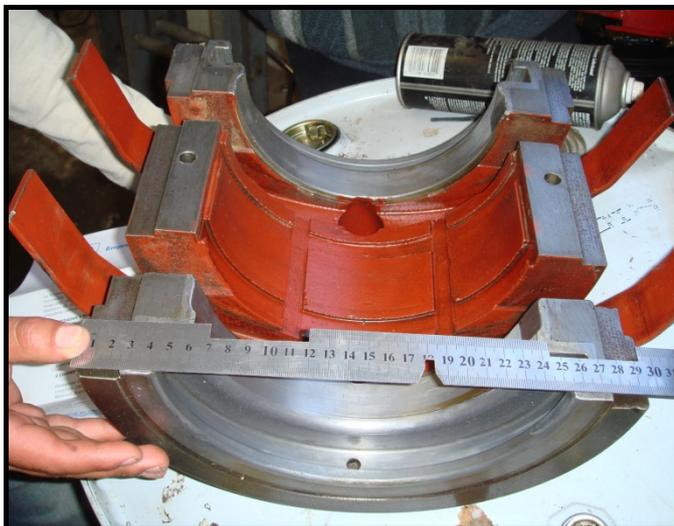
**2 Cojinetes pequeños del eje principal.**

**Diámetros:** Interior N1 =180 mm, Exterior N2 =295 mm.

**Longitud=** 286 mm.

**Material de respaldo:** Hierro fundido de dos piezas con revestimiento de magnolia.

En la Figura 1.3 se ve en detalle un cojinete de este tipo. En anexo A se encuentran los planos de los cojinetes.



**FIGURA 1.3 COJINETE PEQUEÑO**

Aunque se menciona en los requerimientos técnicos para la realización del trabajo el uso de “magnolia”, el término es muy genérico y se debe entender a nivel de ingeniería que los materiales que se usan son los de la Norma ASTM B23 y sus diferentes grados varían de acuerdo a su composición química y se dividen en dos grandes familias. Los grados 1, 2, 3, 11 son en base de estaño y los grados 7, 8, 13, 15 son en base de plomo.

El nombre magnolia se hizo popular en el léxico de los mecánicos debido a la gran fama que adquirió un proveedor de este metal Babbitt el cual le puso su nombre comercial “magnolia” esto sucede en la época cuando se necesita mucho de este metal en la industria naval y de ferrocarriles, y con ello nace la confusión, para despejar cualquier

duda citamos al metal blanco llamado “magnolia” el cual es solo en base de plomo y por cierto no consta en las normas Norteamericanas ASTM B23, SAE J460e ni QQ-T-390, su composición química en base de Pb es la que consta en la tabla 1 y se compara con otras marcas conocidas internacionalmente. En la tabla 2 se presentan las aleaciones comerciales en base de Sn. Y que sirven para ilustrar, que se trata de aleaciones normalizadas y que no tiene formulas secretas.

Como es creencia en el medio de los operadores de turbina que nos ocupa.

**TABLA 1**

**PRESENTACIÓN DE BABBITT SEGÚN NORMA ASTM EN BASE DE PLOMO**

<b>Nombre Industrial</b>	<b>ASTM B23</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Pb % (Plomo)</b>	<b>As % (Arsénico)</b>
Numero 13	Grado 13	5.5 - 6.5	9.5 - 10.5	Balance	0.25 (Máx.)
Ancla Fresa	-	4.0 - 6.0	11.5 - 12.5	Balance	0.25 (Máx.)
Durite	Grado 15	0.8 - 1.2	14.5 - 17.5	Balance	0.8 - 1.4
Estrella	-	5.0 - 5.5	13.5 - 14.5	Balance	0.30 - 0.60
Magnolia	-	2.0 - 4.0	13.0 - 15.0	Balance	0.30 - 0.60
Plata tono	-	1.0 - 3.0	17.5 - 18.5	Balance	0.25 (Máx.)
Real	Grado 8	4.5 - 5.5	14.0 - 16.0	Balance	0.30 - 0.60
Presión Pesado	Grado 7	9.3 - 10.7	14.0 - 16.0	Balance	0.30 - 0.60
Sierra Guía Especial	-	9.0 - 11.0	18.5 - 19.5	Balance	0.25 (Máx.)
Máximas Impureza Permitidas: Cu=0.50, Fe=0.10, Bi=0.10, Zn=0.005, Al=0.005, Cd=0.05					

**TABLA 2**  
**PRESENTACIÓN DE BABBITT SEGÚN NORMA ASTM EN BASE DE**  
**ESTAÑO**

Nombre Industrial	ASTM B23	Sn % (Estaño)	Sb % (Antimonio)	Cu % (Cobre)	Pb % (Plomo)
Marina 11 D	-	90.0 - 92.0	4.5 - 5.5	3.5 - 4.5	0.35 (Máx.)
Numero 1	Grado1	90.0 - 92.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	0.35 (Máx.)
Marina 11R	-	89.0 - 89.5	7.5 - 8.5	2.5 - 3.0	0.35 (Máx.)
Níquel Genuino	Grado 2	88.0 - 90.0	7.0 - 8.0	3.0 - 4.0	0.35 (Máx.)
Marina 11	-	88.0 - 90.0	5.5 - 6.0	5.0 - 5.5	0.35 (Máx.)
4x Níquel Genuino Real	-	87.5 - 89.5	7.25 - 7.75	3.25 - 3.75	0.35 (Máx.)
Gasóleo Especial	-	87.5 - 88.0	6.5 - 7.0	5.0 - 6.0	0.35 (Máx.)
Numero 11	Grado 11	86.0 - 89.0	6.0 - 7.5	5.0 - 6.5	0.35 (Máx.)
SAE 11	-	85.0 - 87.0	7.0 - 8.0	6.0 - 7.0	0.35 (Máx.)
Imperial Genuino	-	85.0 - 87.0	6.5 - 7.5	6.5 - 7.5	0.35 (Máx.)
Turbina	-	84.0 - 86.0	6.5 - 7.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)
Amateur Real	-	83.5 - 84.0	8.0 - 8.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)
Estupendo Resistente	Grado 3	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)
Máximas Impureza Permitidas: Fe=0.08, As=0.10, Bi=0.08, Zn=0.005, Al=0.005, Cd=0.05					

### **Aplicaciones de estos materiales en la industria**

La Fabricación de estas aleaciones por ende la reparación de cojinetes de Babbitt, no es una técnica fácil de cumplir por que implica conocer el estado del arte de esta actividad ya que están involucrados ciencia y artesanía para hacer una reparación apropiada, esta clase de trabajo

involucra equipos de enorme importancia y tamaño en equipos industriales, tales como:

Turbinas de Vapor, Turbinas de Gas, Turbinas Hidráulicas, Motores Eléctricos, Reductores, Bombas, Compresores y Molinos.

### **Características tecnológicas del metal blanco o material antifricción “Babbitt”**

Se conocen como aleaciones o metales antifricción determinadas aleaciones mas o menos complejas , empleadas para revestir cojinetes a los que se le proporciona cualidades muy superiores a las de metal base.

Los metales más comúnmente usados en las aleaciones antifricción son: el estaño, plomo, cobre y antimonio.

Micro estructuralmente hablando, las aleaciones antifricción están formadas por un constituyente de gramos duros que esta englobado en la masa plástica formada por el otro constituyente.

El constituyente duro resiste el desgaste con un coeficiente de rozamiento reducido y el constituyente blando permite el ajuste automático del cojinete al eje y asegura un reparto equitativo de las cargas además, debe tener la capacidad de adherir a él partículas

extrañas (polvo y suciedad del aceite) y soltar su lubricación, para que no produzca el desgaste natural de la matriz blanda.

Las propiedades que deben reunir una buena aleación antifricción son las siguientes:

- Plasticidad, para que se deforme con facilidad adaptándose a los defectos de alineación del eje y para resistir además sin romperse los choques que le transmite este
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la corrosión para que no pierda calidad, si es atacado por los agentes corrosivos de los lubricantes o productos de combustión incorporados a ellos.
- Conductividad calorífica, para que disipe el calor producido en el rozamiento.
- Adherencia con el metal base (casquillo)
- Bajo coeficiente de rozamiento
- Bajo punto de fusión
- Deformabilidad con Incrustabilidad

### **Presentación de los 4 cojinetes de deslizamiento a reparar**

A las turbinas se les hace mantenimiento entre seis meses a un año, sin embargo se puede volver a usar el mismo cojinete siempre y cuando su desgaste no ha sido crítico hasta unas tres o cuatro paradas, esto nos da un promedio de vida útil del cojinete de dos a cuatro años, las Chumaceras antifricción deberán tener un tiempo de vida de 40,000

horas = 4,5 años promedio, por lo que según el criterio del ingeniero a cargo decide el remetalado a los casquillos, los parámetros básicos para remplazar el Babbitt es el juego que hay entre el Babbitt y el árbol debido al desgaste, si este es exagerado produce la vibración del eje principal y en la turbina Pelton existirá ruido y la producción de calor se incrementa, en pocas palabras se tiene una turbina ineficiente.

En la siguiente figura se presenta el conjunto de partes que deben ser reparadas en su metal antifricción en mal estado.



**FIGURA 1.4 COJINETES PARA TURBINAS HIDRÁULICAS**

Se inspecciona las fallas superficiales en los cojinetes, se registran los desgastes mediante fotos y se clasifican los mismos, como resultado tenemos tres cojinetes en base de plomo, dos pequeños y uno grande y en base de estaño tenemos solo un cojinete grande. (El espesor del metal Babbitt = 8mm).

### Condiciones de operación

La central hidroeléctrica Alao esta ubicada en la serranía del Ecuador y la zona tiene un ambiente limpio, seco y frío los cuales se convierten en condiciones favorables para la operación describimos a continuación las condiciones ambientales de la central:

- ♦ La casa de maquinas esta hecha de una estructura de hormigón armado con su piso que es de baldosa lo que nos permite deducir que el ambiente es basado en la pulcritud, lo que garantiza que esta libre de polvo, que es un elemento indeseable ya que en cualquier momento se convierten en partículas extrañas que contaminan el aceite y por lo tanto disminuyen la vida útil de los cojinetes de fricción



**FIGURA 1.5 CASA DE MAQUINAS**

- ◆ En La zona de la casa de maquinas existe un ambiente seco, el cual esta libre de humedad que se convierte en una condición que beneficia el manipuleo del aceite con menos probabilidad de que se contamine con el agua procedente del ambiente en forma de condensación.
- ◆ El clima es frío con una temperatura de 6 a 15 grados centígrados lo cual se convierte en un parámetro propicio para el Babbitt, ya que la temperatura de trabajo del cojinete tiende a ser moderada

### Características técnicas de la turbina.

**TABLA 3**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA HIDRÁULICA**

Características	Datos
Tipo	Pelton
Diámetro	1650mm
Número de alabes	20
Ancho de alabe	285 mm
Longitud de alabe	170 mm
Peso	1000 kg
Material	Acero INOX. Martensítico fundido en una sola pieza Composición metalográfica en % C=0,15 máx.; Cr= (11,5-13); Si= (0,15-1) Mn=1 máx.
Marca	Alco



**FIGURA 1.6 TURBINA HIDRAULICA PELTON**

### **1.2 Condición de desgaste de cojinetes.**

Los cojinetes de tipo radial tienen un sistema de lubricación con anillos de aceite por mecha o goteo y por tanto una lubricación de película delgada o capa límite y se estima un tiempo de vida útil de dos años aproximadamente sin embargo, por las maniobras de arranques y paradas, su vida útil puede disminuir dramáticamente.

En el caso de los arranques, como parte de velocidad cero existe un leve deslizamiento en seco entre el material del cojinete y el árbol de acero hasta vencer la inercia y conseguir su velocidad de trabajo, aunque involuntariamente la turbina se embala, esto quiere decir que al realizar las paradas de mantenimiento y se reinicia la operación, se suprime la carga de generación lo que ocasiona que la turbina gire en vacío hasta llegar a tener una velocidad de 1300 rpm.



**FIGURA 1.7 CONDICIÓN SUPERFICIAL DE COJINETES DE TURBINA PELTON**

Como se ve en la figura, las huellas en la superficie de contacto o representa las áreas donde se produjo el desgaste en la parte derecha por su arranque y la huella izquierda por su parada producto del embale de la turbina.

Se entiende que el sistema de operación de esta turbina no es usual y es en consecuencia potencialmente pueden constituirse en la causa principal de desgaste por lo que colapsan los cojinetes.

### **1.3 Análisis metalúrgico de los metales de fábrica**

Los metales usados por el fabricante son investigados por medio de laboratorios para establecer la calidad de los mismos y así considerarlos

como patrones de calidad y tener una referencia para el trabajo que se realizará.

De las muestras que se tomaron se llega a la conclusión que existen 2 tipos de Babbitt uno en base a Sn. y otro en base a Pb.

Para llegar a este diagnostico se utilizaron las técnicas de laboratorio metalúrgico y para ello se siguen las siguientes operaciones:

- ◆ Preparación de una probeta a partir de una muestra representativa del metal del cojinete.

De las cuatro chumaceras tres son en base de plomo y una en base de estaño por lo tanto son ocho probetas las que hemos tomado de muestras del Babbitt original, en cada caso una tomada en la tapa y otra tomada en el fondo que son las que se muestran en las siguientes fotos.



**FIGURA 1.8 TOMA DE MUESTRAS DEL LOS COJINETES**



**FIGURA 1.9 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LOS COJINETES**

En la figura 1.8 se indica el sitio de toma de muestras en los cojinetes de tapas y fondos y en la figura 1.9 se tienen las 8 muestras debidamente rotuladas e identificadas.

#### **PROCEDIMIENTO PARA OBTENER RESULTADOS DE METALOGRAFÍAS**

En adelante se sigue la secuencia en operaciones para preparación del metal hasta que esté apto para la observación microscópica, actividad que no es fácil ya que las aleaciones en base Pb y Sn son muy suaves y la preparación es delicada.

Los pasos de pulido siguen de la siguiente manera.

- **Paso 1** en primer lugar se hizo el pulido inicial por medio de lija de carburo de silicio en mesas de pulido con diseño Intramet hechos con base de vidrio canales de acrílico, en la figura 1.10 se ve la mesa de pulido y la técnica de preparación “en seco”.



**FIGURA 1.10 MESA DE PULIDO CON LIJA**

- **Paso 2** el pulido final se hizo con pasta de diamante de 0,5 micras en una mesa también de diseño Intramet para pulido manual



**FIGURA 1.11 MESA DE PULIDO PARA PASTA DE DIAMANTE**

En la figura 1.11 el operador hace uso de mesa de pulido manual de Intramet, no se requiere de mesa giratoria porque la técnica de pulido de Intramet permite pulidos finos y ultrarrápidos.

- **Paso 3** hacer el ataque químico con reactivo nital al 2 %



**FIGURA 1.12 ATAQUE QUIMICO CON REACTIVO**

En la figura 1.12 el operador usa agua para limitar el tiempo de reacción y tener una verdadera Microestructura para observación y análisis de fases presentes.

- **Paso 4** observar con microscopio la superficie pulida y atacada químicamente.



**FIGURA 1.13 PROBETAS DE BABBITTS ORIGINALES,  
PREPARADAS PARA SER OBSERVADAS AL MICROSCOPIO  
LEITZ**

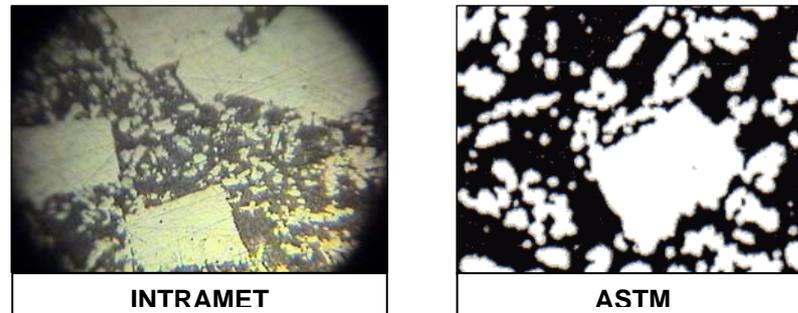


**FIGURA 1.14 MICROSCOPIO LEITZ ASISTIDO POR COMPUTADORA**

- **Paso 5** Realizar la técnica de pulido final con ataque químico y observación por tres veces hasta que se repita la misma observación en el microscopio, con la adaptación tecnológica hecha en Intramet y con ello cuenta con una herramienta cuya velocidad de respuesta es rápida, lo cual fue muy valioso en el presente caso.
- **Paso 6** Observación y comparaciones microscópicas. Luego de observar las ocho probetas y con la técnica de tres veces de pulido y ataque químico en cada una de las probetas tenemos las metalografías más representativas, las cuales al compararlas con metalografías conocidas en el manual de Microestructuras de la ASTM llegamos a la siguiente conclusión:

**1. Microestructura en base de Sn identificada como:**

Babbitt ASTM B 23 grado 3, atacada al 2% de Nital, a 250X

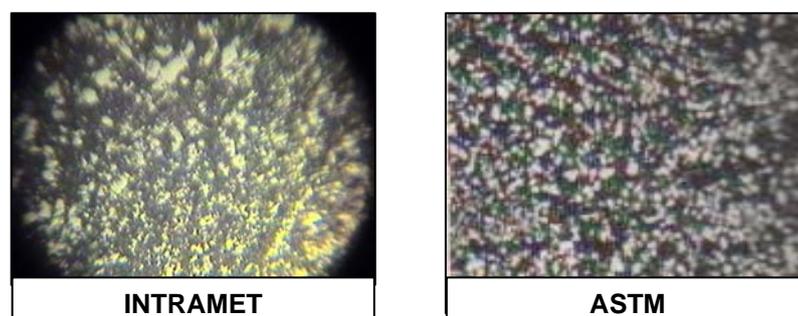


**FIGURA 1.15 MICROESTRUCTURA N°1 BABBITT 3**

Esta Microestructura tiene tres fases. La primera fase alfa  $\delta$  está compuesta de cristales primarios en forma de cuboides o prismáticos de un compuesto de Sn-Sb de base cuadrada y la segunda fase beta  $\beta$  esta compuesta de cristales secundarios en forma de estrella o agujas constituidas ricas en Cu-Sn y el resto de color negro le pertenece a la matriz blanda en base de Sn

**2. Microestructura en base de Pb identificada como:**

Babbitt ASTM B 23 grado 13, atacada al 2% de Nital, a 250X



**FIGURA 1.16 MICROESTRUCTURA N°2 BABBITT 13**

La Microestructura en base de plomo tiene el mismo principio, tiene tres fases la primera fase alfa  $\alpha$  está compuesta de cristales primarios en forma de pequeños cuboides de Sn-Sb de base cuadrada, y la segunda fase beta  $\beta$  esta compuesta de cristales secundarios en forma de estrella o agujas constituidas ricas en Pb-Sb y que forman una especie de eutéctico con una matriz blanda en base de Pb de color negro.

### **ANÁLISIS QUÍMICO PARA LOS BABBITT ASTM B 23 GRADO 3 Y BABBITT ASTM B 23 GRADO 13**

Fueron realizados mediante espectrofotómetro de absorción atómica de la ESPOL y los porcentajes de los elementos que componen la aleación se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 4**

#### **RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO DEL BABBITT BASE DE ESTAÑO**

<b>Muestras de Babbitt</b>	<b>Sn %</b>	<b>Sb %</b>	<b>Cu %</b>	<b>Pb %</b>
<b>En base de estaño</b>	<b>(Estaño)</b>	<b>(Antimonio)</b>	<b>(Cobre)</b>	<b>(Plomo)</b>
Muestra 1 Fondo 1	84,20	7,79	7,78	0,23
Muestra 2 Tapa 1	83,82	7,95	8,02	0,21
<b>Promedio de Resultado</b>	<b>84,01</b>	<b>7,87</b>	<b>7,9</b>	<b>0.22</b>
Babbitt ASTM B 23 grado 3	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)

En definitiva los metales analizados no tienen inconformidades con la norma de los Babbitts en base de estaño, por lo tanto se homologa la aleación con la norma = ASTM B 23 grado 3

**TABLA 5**

**RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO DEL BABBITT BASE DE PLOMO**

<b>Muestras de Babbitt</b>	<b>Sn %</b>	<b>Sb %</b>	<b>Pb %</b>	<b>As %</b>
<b>En base de plomo</b>	<b>(Estaño)</b>	<b>(Antimonio)</b>	<b>(Plomo)</b>	<b>(Arsénico)</b>
Muestra 3 Fondo 2	5,66	10,3	83,9	0,14
Muestra 4 Tapa 2	5,83	9.61	84,4	0,16
Muestra 5 Fondo 3	5,57	10,4	83,8	0,23
Muestra 6 Tapa 3	6,22	9.56	84,1	0,12
Muestra 7 Fondo 4	6,13	9,66	84,0	0,21
Muestra 8 Tapa 4	5,91	10,2	83,7	0,19
<b>Promedio de Resultado</b>	<b>5,98</b>	<b>9,95</b>	<b>83,9</b>	<b>0.17</b>
Babbitt ASTM B 23 grado 13	5.5 - 6.5	9.5 - 10.5	Balance	0.25 (Máx.)

Los materiales analizados no tienen inconformidades con los Babbitt en base de plomo, por lo tanto se homologa la aleación con la norma = ASTM B 23 grado 13.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA**

De la información del manual ASTM correspondientes al volumen 2, la norma ASTM B23 se tienen los siguientes datos de Norma y

propiedades físicas de las aleaciones en base Sn y Pb, ASTM B23 grado 3 (Babbitt 3) y ASTM B23 grado 13 (Babbitt 13).

**TABLA 6**

**PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALEACIONES EN BASE DE Sn y Pb**

Propiedades	ASTM B23 grado 3	ASTM B23 grado 13
Peso específico	7.46	10.05
Dureza Brinell (20 ° C)	27	21
Punto de solidificación	240 ° C	248 ° C
Punto de fusión	422 ° C	281 ° C
Temperatura para vaciar	491 ° C	350 ° C

Ensayadas las probetas con durómetro Brinell adaptado en la maquina Versa Tester 30 M usando el programa LAB-View, los resultados son los siguientes y que consta en la tabla 7.

**TABLA 7**

**DUREZAS DE LAS ALEACIONES EN BASE DE Sn Y Pb**

Probetas	Dureza Brinell BHN
BABBITT BASE DE Sn (25 ° C)	25
BABBITT BASE DE Pb (25 ° C)	19

#### 1.4. Materiales existentes en el Mercado.

Una complejidad técnica que se presentó en el presente trabajo radicaba sobre todo, por que no existen en el mercado aleaciones preparadas, sin embargo en la tabla que ponemos a consideración en las aleaciones encontradas en el mercado local.

**TABLA 8**

#### **BABBITS DISPONIBLES EN NUESTRO MERCADO LOCAL**

EMPRESA	PRODUCTO	COMENTARIO	Disponible
Maquinarias	Tandem ( base Pb)	Origen Ingles	NO
Enríquez	Súper Tandem (base Sn)	Origen Ingles	NO
FUNDAMETZ (BERA)	PK ESPECIAL (base Sn)	Origen ecuatoriano	SI
	FEDERICO 8 (base Sn)	Origen ecuatoriano	SI
	BERACO (base Pb)	Origen boliviano Sin certificación	SI

Siguiendo el procedimiento se hicieron las respectivas verificaciones de las muestras de cada uno de estos materiales, en la figura 1.17 se ubican las muestras en forma de lingotes que pasaron a ser calificadas.



**FIGURA 1.17 LINGOTES DE BABBITS, BERACO, PK ESPECIAL Y FEDERICO 8**



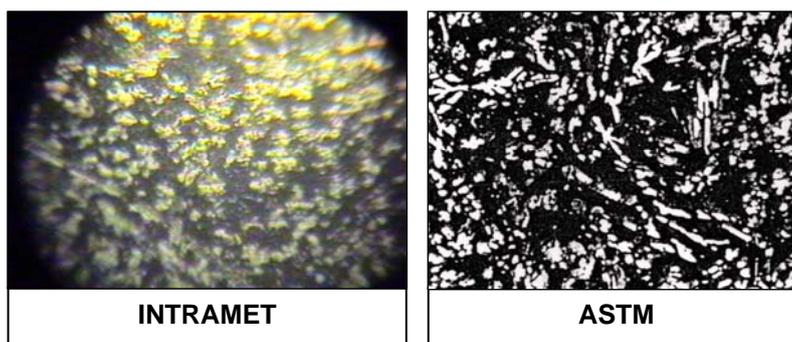
**FIGURA 1.18 PROBETAS DE BABBITTS DEL MERCADO, PREPARADAS PARA OBSERVARLAS AL MICROSCOPIO LEITZ**

- **Observaciones microscópicas**

Luego de observar las tres probetas, tenemos las metalografías más representativas, de los materiales ensayados las cuales al comparar con metalografías conocidas por ASTM, llegamos a la siguiente conclusión:

1. **Microestructura PK ESPECIAL (base Sn) identificada como:**

Babbitt ASTM B 23 grado 1 atacada al 2% de Nital, a 250X

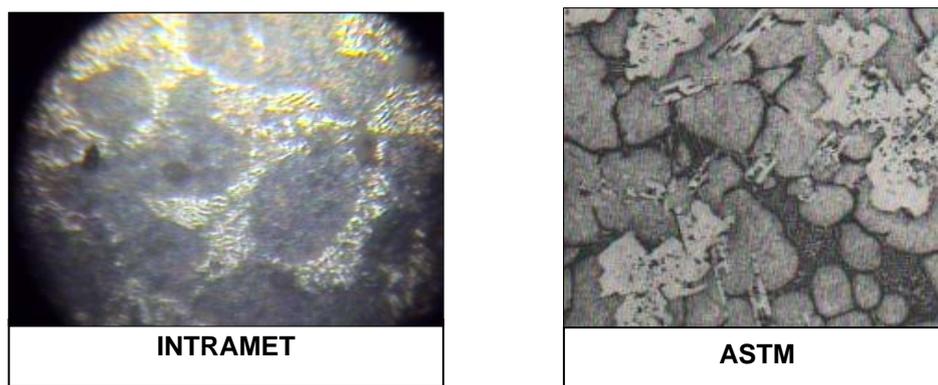


**FIGURA 1.19 MICROESTRUCTURA N°3 BABBITT 1**

2. **Microestructura FEDERICO 8 (base Sn):** No tiene su equivalencia en la norma ASTM B23 sin embargo buscando en las metalografías encontramos una similar (75Sn-12Sb-10Pb-3Cu) que también se

considera Babbitt en base de estaño, aunque es inusual que tenga porcentaje de plomo, porque los Babbitts con norma ASTM B23 solo se permite que tenga como máximo 0,35 %, de plomo.

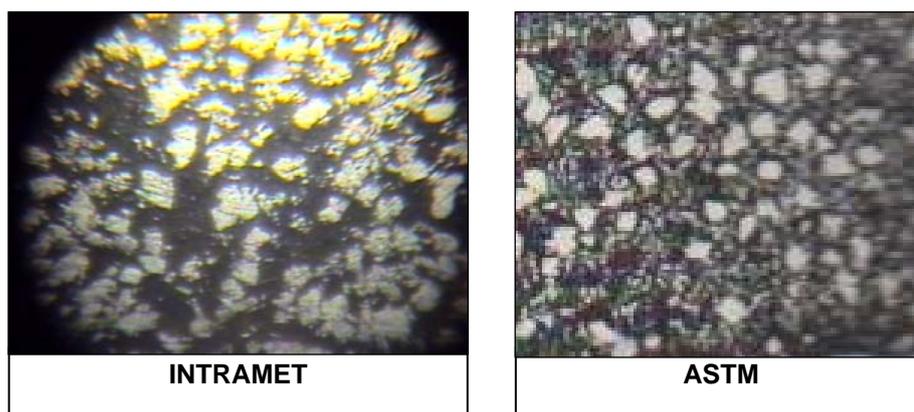
Babbitt en base Sn Desconocido, Atacada al 2% de Nital, a 250X



**FIGURA 1.20 MICROESTRUCTURA N°4 BABBITT NO TIENE EQUIVALENCIA EN ASTM**

**3. Microestructura BERACO (base Pb) identificada como:**

Babbitt ASTM B 23 grado 7, Atacada al 2% de Nital, a 250X



**FIGURA 1.21 MICROESTRUCTURA N°5 BABBITT 7**

**ANÁLISIS QUÍMICO PARA LOS BABBITT PK ESPECIAL (BASE Sn),  
FEDERICO 8 (BASE Sn) Y BERACO (BASE Pb)**

Fueron realizados mediante espectrofotómetro de absorción atómica de la ESPOL y los porcentajes de los elementos que componen las aleaciones se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 9**

**RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO PARA BABBITT PK ESPECIAL (BASE Sn)**

<b>Muestras de Babbitt En base de estaño</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Cu % (Cobre)</b>	<b>Pb % (Plomo)</b>	<b>Precio(Kg.) incluye VA</b>
PK ESPECIAL (BASE Sn)	90,5	4,6	4,8	0,1	\$61,6
Babbitt ASTM B 23 grado 1	90.0 - 92.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	0.35 (Máx.)	-
Babbitt ASTM B 23 grado 3 Composición química requerida para el trabajo	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)	-

Conclusión: Babbitt PK ESPECIAL (BASE Sn) = ASTM B 23 grado 1

**TABLA 10**

**RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO PARA BABBITT FEDERICO 8 (BASE Sn)**

<b>Muestras de Babbitt En base de estaño</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Cu % (Cobre)</b>	<b>Pb % (Plomo)</b>	<b>Precio(Kg.) incluye IVA</b>
FEDERICO 8 (BASE Sn)	80	11,5	5,5	3	\$50,4
Babbitt (base Sn) parecido	75	12	3	10	-
Babbitt ASTM B23 grado 3 Composición química requerida para el trabajo	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	0.35 (Máx.)	-

La norma exige limitar el porcentaje de plomo por tanto este Babbitt no nos sirve para llegar al Babbitt 3 que es nuestro objetivo.

Conclusión: Babbitt FEDERICO 8 (BASE Sn) no tiene una composición asimilable a las normas ASTM.

**TABLA 11**

**RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO PARA BABBITT BERACO  
(BASE Pb)**

<b>Muestras de Babbitt En base de plomo</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Pb % (Plomo)</b>	<b>As % (Arsénico)</b>	<b>Precio(Kg.) incluye IVA</b>
BERACO (base Pb)	9,6	14,4	75,9	0,10	\$11,8
Babbitt ASTM B 23 grado 7	9.3 - 10.7	14.0 - 16.0	Balance	0.30 - 0.60	-
Babbitt ASTM B 23 grado 13 Composición química requerida para el trabajo	5.5 - 6.5	9.5 - 10.5	84	0.25 (Máx.)	-

Conclusión: Babbitt BERACO (BASE Pb) = ASTM B 23 grado 7

De Los datos que encontramos en los materiales existentes en el mercado decidimos utilizar, mismos que son:

Babbitt PK ESPECIAL (BASE Sn) = ASTM B 23 grado 1 y Babbitt BERACO (BASE Pb) = ASTM B 23 grado 7.

Servirán para hacer Los lingotes certificados, pero debemos modificar sus composiciones químicas incrementando los porcentajes; en caso del PK ESPECIAL, antimonio y cobre, y para la aleación BERACO, plomo y Estaño.

Sin embargo los cálculos de ajuste de composición química los haremos luego de conocer el peso total de aleación que necesitaremos para el remetalado, de los cojinetes, el cual depende del espesor a utilizar en el remetalado, que es de mucha importancia por que la estructura metalográfica del Babbitt depende mucho de la velocidad de enfriamiento que a su vez depende del espesor donde se solidifica la colada de Babbitt, en pocas palabras el metal Babbitt tiene “sensibilidad a la velocidad de enfriamiento”, esto lo conocemos por nuestra experiencia en el anterior trabajo donde se le hizo la reparación de los cojinetes de una turbina a vapor para el sistema de propulsión del B.A.E. Rafael Moran Valverde.

### **MÉTODO PARA DIMENSIONAR EL ESPESOR ÓPTIMO DEL REMETALADO**

El espesor del metal adherido a las chapa del cojinete es de 8mm pero nosotros tenemos que hacer el remetalado con un mayor espesor considerando la contracción, mecanizado para dar medidas finales y lo mas importante su estructura interna que tiene que ser de matriz blanda con cristales duros, Para lograr este objetivo se necesita utilizar el metal original y colarlo en molde metálico tipo cuña. La cuña de temple del Babbitt 3 original sirve para ver el comportamiento de los granos del metal dependiendo de diferentes velocidades de enfriamiento.



**FIGURA 1.22 MOLDE METALICO PARA CUÑA DE TEMPLE**

### **PROCESO DE COLADO PARA PROBETAS TIPO CUÑA DE TEMPLE**

- Se funde el Babbitt 3 a una temperatura de  $490^{\circ}\text{C}$  (base de estaño) y  $350^{\circ}\text{C}$  (base de plomo) en un crisol pequeño de 1 kilo de capacidad.
- Se coloca el molde libre de grasa y a una temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$  en ambos casos
- Se vierte la colada con cuidado tratando que el flujo sea laminar



**FIGURA 1.23 VACIANDO COLADA CON FLUJO LAMINAR EN MOLDE METALICO**

- Se espera que enfrié lentamente y se retira del tornillo de banco el molde metálico se separa y se retira la cuña de temple.

Luego de tener la cuña se separa con un corte de sierra parte del perfil de la cuña (25 mm espesor ancho x 100 mm de largo) para usarla como probeta y someterla a todos los procesos de laboratorio con el fin de tener su metalografía en todos sus espesores



**FIGURA 1.24 CUÑA DE TEMPLE DE METAL BABBITT 3 ORIGINAL Y OBTENCIÓN DE PROBETA**

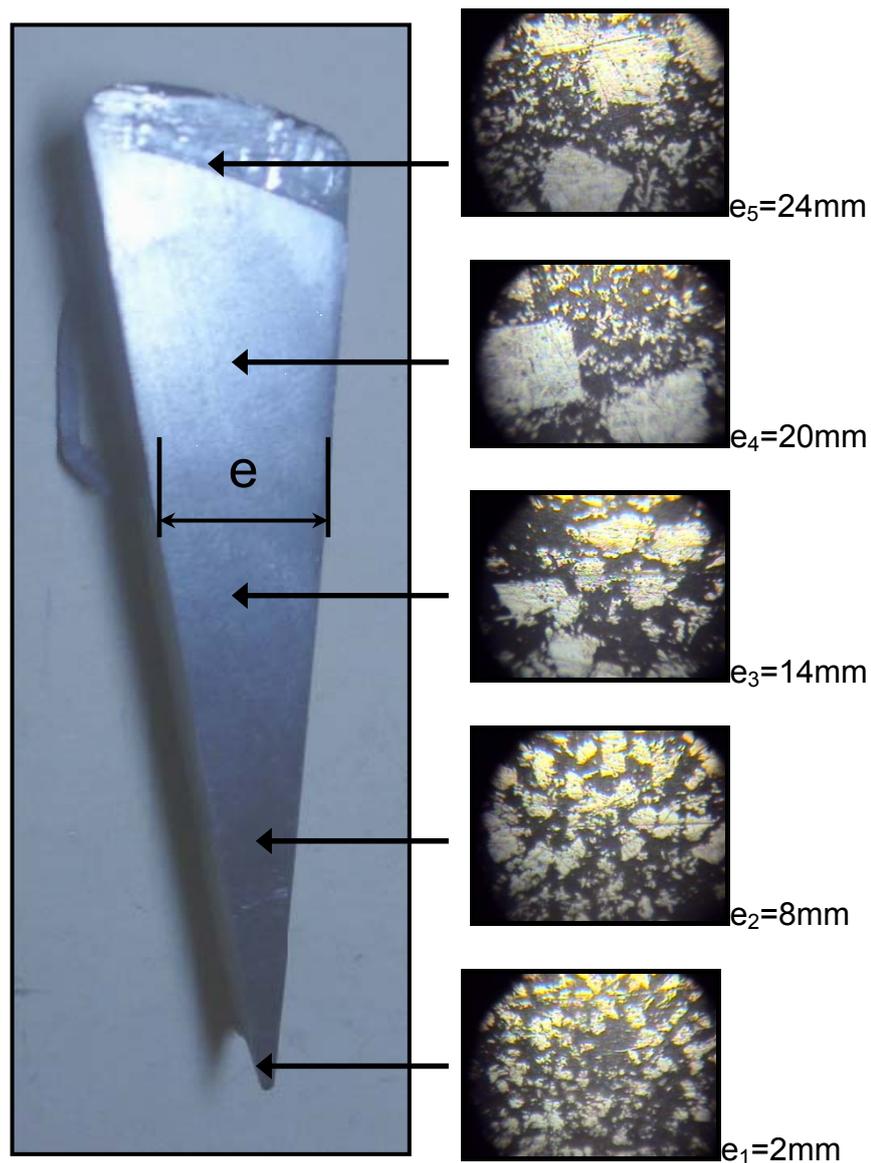
- **Observación microscópicas**

Luego de observar la probeta y seleccionar los espesores de 2, 8, 14, 20 y 24 mm con un promedio de tres veces en cada zona seleccionada tenemos las metalografías más representativas de la cuña.

Este procedimiento también se hizo para el Babbitt 13 en base de plomo, sus resultados son similares al de base de estaño.

### CALIFICACIÓN METALÚRGICA DE LA CUÑA DE TEMPLE

Esta calificación está dada por los resultados de los ensayos del tamaño de grano, en la probeta con forma de cuña a lo largo de la misma, atacada al 2% de Nital, a 250X.

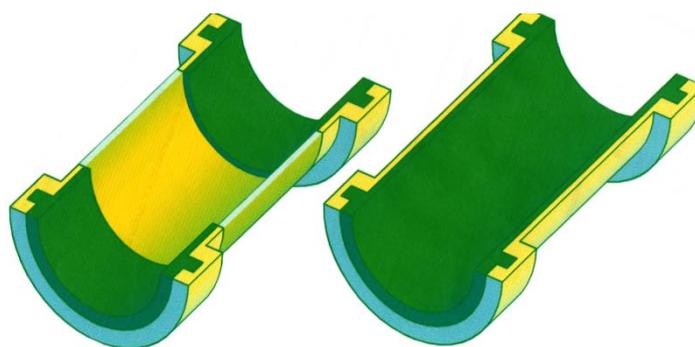


**FIGURA 1.25 CUÑA DE TEMPLE DE METAL BABBITT 3 ORIGINAL CON SUS RESPECTIVOS ESPESORES Y MICROESTRUCTURAS**

El tamaño de grano obedece al comportamiento de sensibilidad al espesor ya que a mayor espesor mas grandes son los cristales o granos y nos damos cuenta que a partir del espesor de 20mm ya no existen cambios por tanto este es el espesor optimo.

### CÁLCULOS DE PESOS PARA COJINETES EN BASE DE Sn y Pb

Tenemos dos opciones para hacerlo de manera manual sumando los volúmenes por tramos o simplemente se lo dibuja en autocad en sólidos (verde para el caso del Babbitt), se usa la operación de sólidos de revolución obtenemos su volumen y lo multiplicamos por la densidad del metal respectivo.



**FIGURA 1.26 COJINETES DIBUJADOS EN AUTO CAD EN SÓLIDOS**

Al sumar los volúmenes de tapa y fondo del cojinete en base de Sn nos da el siguiente volumen de Babbitt 3 ( $\rho = 6970 \text{ cm}^3$ )

$$\rho \equiv \frac{m}{V} \Rightarrow m \equiv \rho \times V$$

$$m \equiv 7,46 \times 6970 = 51996 \text{ gramos de Babbitt 3 (52kg)}$$

Al sumar los volúmenes de las tapas y fondos de los 3 cojinetes en base de Pb tenemos el siguiente volumen de Babbitt 13 ( $Pb = 14427 \text{ cm}^3$ )

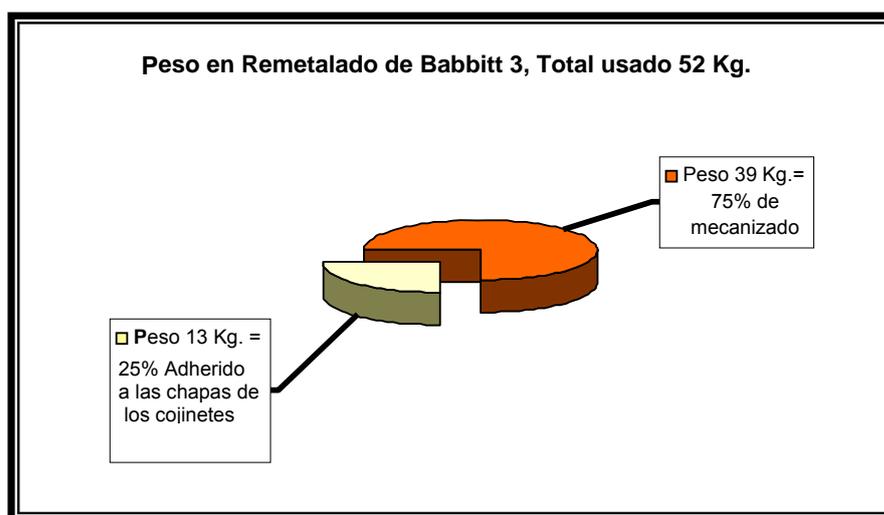
$$m \cong 10,05 \times 14427 = 144991 \text{ gramos de Babbitt 13 (145kg)}$$

**TABLA 12**

**PESOS DE COJINETES EN BASE DE ESTAÑO**

ítem	Tipo de cojinete	Con Babbitt original maquinado a medidas de trabajo (Kg)	Solo los casquillos(Kg)	Con remetalado de Intramet(Kg)	Peso requerido (Kg)
1	Tapa de cojinete grande 1	74	64	94	30
2	Fondo de cojinete grande 1	62	59	81	22
Total		136	123	175	52

Del Babbitt remetalado en las chumaceras dio un total de 52 kg a pesar que solo quedan en el Babbitt 13 kg lo cual nos dice que 39 kg se usaron para el mecanizado de los cojinetes.

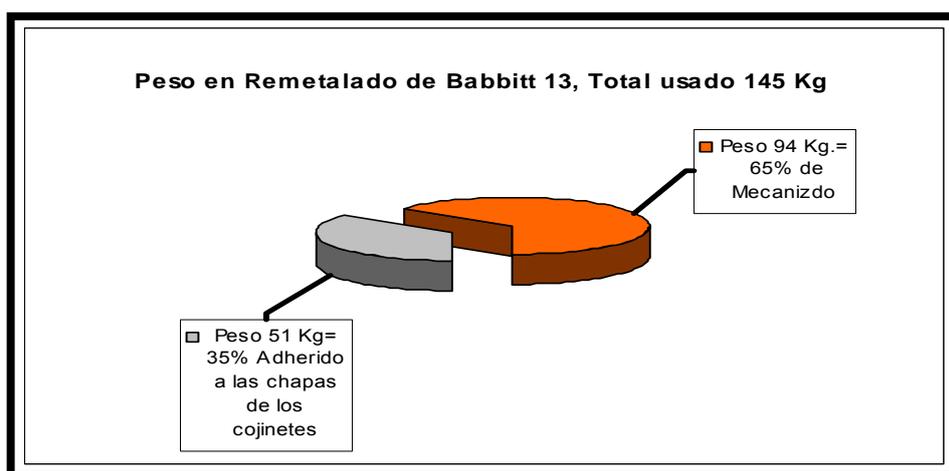


**FIGURA 1.27 REPRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE BABBITT 3 REMETALADO**

**TABLA 13**  
**PESO DE COJINETES EN BASE DE PLOMO**

Ítem	Tipo de cojinete	Con Babbitt original maquinado y con medidas al trabajo (Kg)	Solo los casquillos (Kg)	Con remetalado de Intramet(Kg)	Peso requerido (Kg)
3	Tapa de cojinete pequeño 1	31	26.5	39,5	13
4	Tapa de cojinete pequeño 2	31	26.5	39,5	13
5	Fondo de cojinete pequeño 2	39	31.5	51,5	20
6	Fondo de cojinete pequeño 2	39	31.5	51,5	20
7	Tapa de cojinete grande 2	82	64	110	46
8	Fondo de cojinete grande 2	68	59	92	33
Total		290	239	384	145

Del Babbitt remetalado en las chumaceras dio un total de 145 kg a pesar que solo quedan en el Babbitt 51 kg lo cual nos dice que 94 kg se usaron para el mecanizado de los cojinetes.



**FIGURA 1.28 REPRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE BABBITT 13 REMETALADO**

## CONSTRUCCIÓN DEL SEMIMOLDE METÁLICO

Ya con el dato del espesor optimo (20mm) y el peso requerido para el remetalado procedemos a construir los semimoldes metálico los cuales son de cuatro tipos, dos para los cojinetes grandes y dos para los cojinetes pequeños,

Este se lo arma con una plancha de acero de 6 mm y los retazos se presentan en la siguiente tabla

**TABLA 14**  
**RETAZOS DEL MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE SEMIMOLDES**

ítem	Moldes	Medidas de retazos (mm)	Cantidad
1	Tapa de cojinetes pequeños	120x320	2
		82x90	4
		Semicircunferencia de 156 de diámetro x 90 de altura	2
2	Fondo de cojinetes pequeños	180x320	2
		82X320	4
		Semicircunferencia de 156 de diámetro x 320 de altura	2
3	Tapa de cojinetes grandes	160x420	2
		86x110	4
		Semicircunferencia de 226 de diámetro x 110 de altura	2
4	Fondo de cojinetes grandes	240x420	2
		86x390	4
		Semicircunferencia de 226 de diámetro x 390 de altura	2

Luego se le da la forma a los siguientes retazos de 120x320 y 160x420 según las curvaturas de cada tapa de los cojinetes respectivamente como se muestra en la FIGURA 1.29



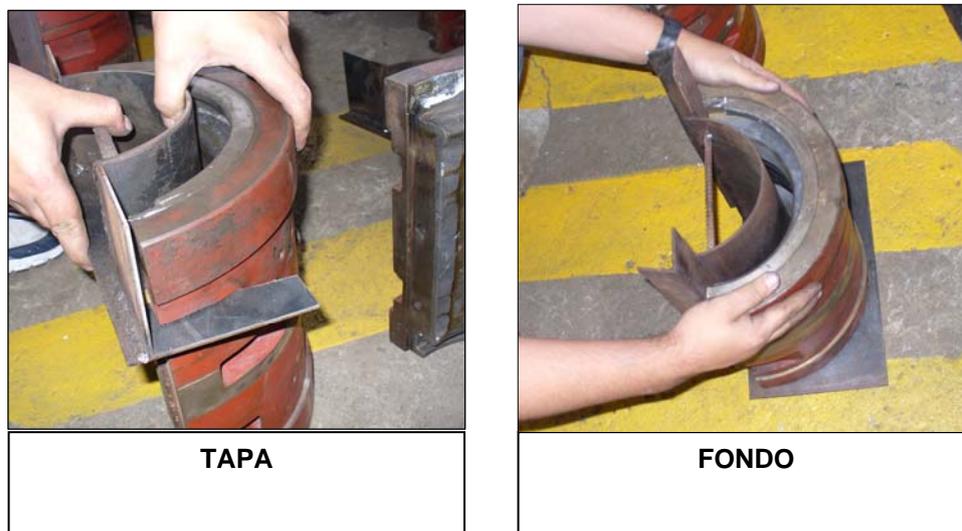
**FIGURA 1.29 SEMIMOLDES DE COJINETES VISTA FRONTAL**

Después se ensambla con soldadura de 1/8" 6011 considerando que la costura de la soldadura solo debe ir por el lado donde no hay contacto con el Babbitt como se muestra a continuación



**FIGURA 1.30 SEMIMOLDES DE COJINETES VISTA POSTERIOR**

Los que una vez acoplado con los casquillos (chapas) queda como mostramos a continuación:



**FIGURA 1.31 SEMIMOLDES ACOPLADOS A PARTES FUNDIDAS DE LOS COJINETES**

Espeor de 12 mm + 8 mm del espeor original da un total de 20 mm del espeor de remetalado lo que se evidencia en la siguiente foto



**FIGURA 1.32 SEMIMOLDES DE COJINETES VISTA SUPERIOR**

### 1.5 Plan de trabajo para la reparación, Cronograma

**TABLA 15  
CRONOGRAMA DE TRABAJO**

CRONOGRAMA DE REMETALADO DE COJINETES CON METAL BABBITT EN BASE DE ESTAÑO Y PLOMO																		
ACTIVIDADES	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4					
1 Recibir cojinetes inspeccionar fallas, tomar fotos, pesos de c/u y clasificarlos	x																	
2 Análisis metalúrgicos y químicos de los metales de fábrica " originales"		x	x															
3 Análisis metalúrgicos y químicos de los metales existentes en el mercado			x	x														
4 Método para dimensionar el espesor óptimo del remetalado					x													
5 Cálculos de pesos de Babbitts en base de Sn y Pb para los cojinetes						x												
6 Construcción de los semimoldes metálicos							x	x	x									
7 Producción de la aleación Babbitt 3 en laboratorio								x	x									
8 Producción de la aleación Babbitt 13 en laboratorio									x	x								
9 Control metalúrgico de las aleaciones por microscopio óptico ensayos de dureza y tracción										x	x							
10 Preparar las aleaciones y dejar listos los lingotes con el peso requerido para el remetalado											x	x						
11 Preparación de los cojinetes para el remetalado													x	x	x	x	x	x

## CAPITULO 2

### 2. TRABAJO DE LABORATORIO

#### 2.1. Metodología experimental en el desarrollo de las aleaciones de metal blanco “BABBITT”.

Se partirá de los datos conseguidos en el Capitulo 1, De lo que podemos resaltar los siguientes resultados:

**TABLA 16**  
**RESULTADOS DEL CAPITULO 1**

ÍTEM	DATOS	RESULTADOS
1	Metales según norma ASTM EN COJINETES ORIGINALES	ASTM B23 grado 3
		ASTM B23 grado 13
2	Metales según norma ASTM EXISTENTES EN EL MERCADO	ASTM B23 grado 1
		ASTM B23 grado 7
3	Espesor del metal Babbitt a restituir en cojinetes	20 mm
4	Peso a restituir en cojinetes	ASTM B23 grado 3 (52 Kg)
		ASTM B23 grado 13 (145Kg)

Además Se seguirá la secuencia de operaciones descritas en el capítulo 1 para obtener las metalografías en nuestros experimentos. En este capítulo se trabaja la parte de ingeniería del proyecto y tiene como objetivos específicos los enunciados en la introducción y que son:

- Procedimiento para tener metales certificados de las aleaciones ASTM B23 grado 3 y Babbitt ASTM B23 grado 13 y hacer lingotes certificados
- Hacer el colado sobre moldes ensamblados o remetalado de los cojinetes
- Mecanizado y pulido de las superficies de contacto de los cojinetes según las medidas de planos.

### **Equipo experimental**

A continuación se exhiben los moldes metálicos que se hicieron para mostrar las aleaciones en estudio y para comparar los resultados bajo las mismas condiciones de elaboración

- Molde para hacer medallones de 25 mm de diámetro y 8 mm de espesor que se usaran para la metalografía y el ensayo de dureza.



**FIGURA 2.1 MOLDE METALICO DE MEDALLON**

Se presentan los medallones que salen del molde



**FIGURA 2.2 MEDALLON PARA ENSAYO DE LA METALOGRAFÍA Y DUREZA**

- ◆ Molde para elaborar probetas de tipo barra que servirán para los ensayos de tracción.



**FIGURA 2.3 MOLDE METALICO PARA HACER BARRAS**

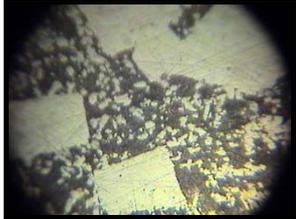
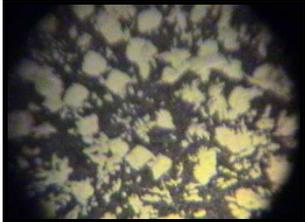
Se presentan las barras que salen del molde



**FIGURA 2.4 BARRAS PARA PROBETAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

Tenemos que tener claro que para certificar nuestro material necesitamos someterlos a cuatro parámetros básicos de control de calidad que son los que exige la norma ASTM B23 los cuales son metalografía, análisis químico, dureza y también ensayos de tracción , pero en el caso de las metalografías debemos homologar la probetas en forma de medallón ya que se demostró que los metal Babbitt tienen una gran sensibilidad al espesor por tanto nuestro primer paso en este capítulo es usar un nuevo patrón de esta forma tendremos una nueva metalografía a homologar o estandarizar que por obvias razones van a ser distintas y son las que presentamos a continuación:

**TABLA 17**  
**METALOGRAFÍAS A DISTINTOS ESPESORES**

ESPESOR	FORMA	ASTM B23 GRADO 3
<p>Muestra tomada en el cojinete original y en su forma en la que se encontraba adherida a los cojinetes (20mm)</p>		 <p>2% de Nital a 250X</p>
<p>Muestra tomada de el cojinete original pero fundida en molde metálico con forma de medallón(8mm)</p>		 <p>2% de Nital a 250X</p>

En La tabla 17 tenemos dos patrones de metalografía que debemos respetar, la de 20mm para la evaluación del metal Babbitt adherido en los cojinetes y la de 8mm que nos sirve para comparar en nuestra producción de la homologación del metales Babbitt , según la norma ASTM B23

Por las mismas razones también usamos las barras de los Babbitt originales para los ensayos de tracción

## **CALIFICACIÓN CUALITATIVA DE ENSAYOS EXPERIMENTALES**

Estos parámetros constituyen una forma de calificar cualitativamente los experimentos realizados a fin de encontrar las características ya que el comportamiento mecánicos los mas cercanos a nuestro patrones de calificación, que como recordaremos son los materiales originales

Se usaron dos probetas de diferentes formas para hacer estas observaciones:

Con las probetas en forma de cuña de temple Se hicieron las siguientes observaciones y características:

- **Color de la fractura** A la cuña de temple se le realiza una fractura con la ayuda de una entalla para darle dirección a la fractura, teniendo como patrón la probeta de material original.
- **Tamaño de grano** Tomado de la cuña de temple y su fractura, esta observación se hace a la mitad de la cuña
- **Sensibilidad al espesor** se observa de manera general y superficial todos los granos, esto servirá para encontrar un tamaño de grano apropiado para el espesor que se fundirá
- **Comportamiento al impacto** tomado en cuenta durante la operación de la fractura de la cuña de temple

Con las probetas en forma de medallón se hicieron las siguientes observaciones y características:

- **Coeficiente de fricción** ensayado con una lima y se evalúa la facilidad o dificultad del rayado.
- **Comportamiento en el pulido** que califica las condiciones durante la operación en la lija de carburo de silicio y esta dado por la facilidad o dificultad de eliminación de líneas de pulido.
- **Tipo de viruta** califica previamente el comportamiento del material en el mecanizado.

## 2.2. Producción de la aleación Babbitt 3 en laboratorio

De lo que resumimos en del capítulo anterior sabemos que en el mercado encontramos la aleación de metal Babbitt en base de estaño llamado "PK especial" y ya se estableció que corresponde a la especificación ASTM B23 grado 1.

Pero el metal requerido es ASTM B23 grado 3, sin embargo nos sirve de metal base para llegar a nuestro objetivo y por tanto tenemos que ajustar su composición química con el incremento de antimonio y cobre como se evidencia en la tabla 9.

Ahora que sabemos como llegar a nuestra aleación certificada de ASTM B23 grado 3, debemos elaborar un procedimiento que es el que presentamos a continuación:

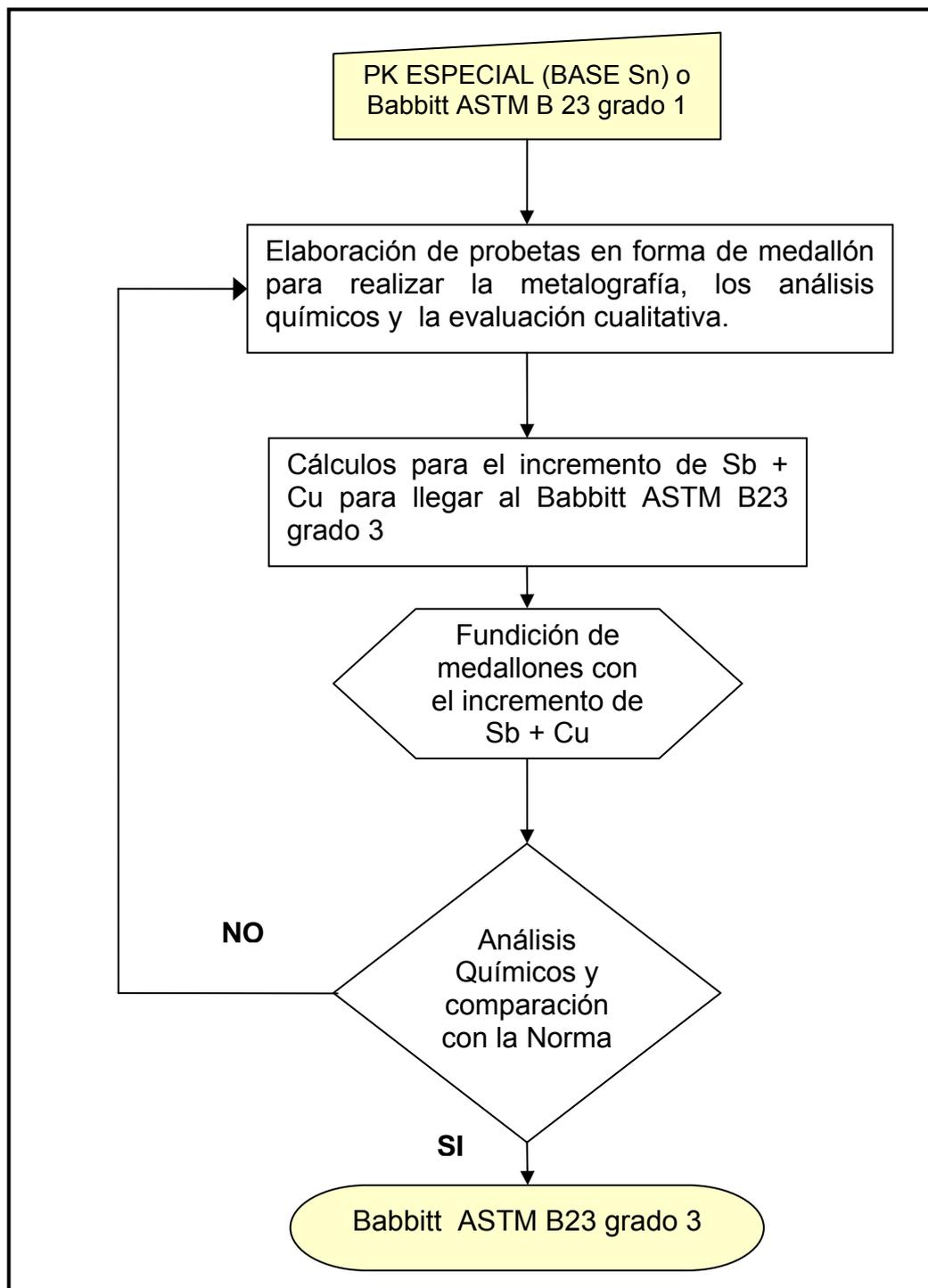


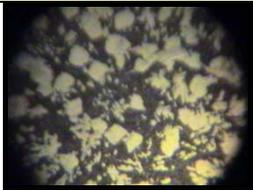
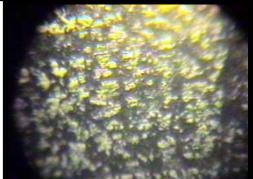
FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DEL BABBITT ASTM GRADO 3

Como todos los materiales usados para hacer las aleaciones tienen un alto costo la eficiencia del trabajo de fundición y colado de lingotes tiene que ser de alto grado en la preparación, para optimizar resultados, por eso antes de hacer lingotes decidimos manipular solo un kilo de Babbitt ASTM B23 grado 1. En consecuencia una vez que obtengamos el Babbitt ASTM B23 grado 3, simplemente conociendo los incrementos porcentuales se hará la fundición final de lingotes para la carga de 52 kilos. Procediendo de acuerdo al diagrama de bloques establecido para el trabajo de laboratorio tenemos los resultados de la evaluación para el kilo Babbitt 3

### **CÁLCULOS Y ENSAYOS PARA 1 KILO DE PK ESPECIAL (BASE Sn)**

**Paso 1** Elaboración de probetas en forma de medallón con molde metálico para tener la metalografía y análisis químicos con el fin de poder comparar con las demás aleaciones estando en las mismas condiciones incluyendo su espesor.

**TABLA 18**  
**COMPARACIÓN DE METALOGRAFÍAS DEL PRIMER ENSAYO**  
**BABBITT 3**

Ensayo	Cantidad	Forma	Metalografía
00	Muestra tomada del cojinete original pero fundida en molde metálico con forma de medallón (8mm)		 Nuevo patrón
01	Muestra tomada del PK ESPECIAL (BASE Sn) pero fundida en forma de medallón (8mm)		

El ensayo 01 No tiene la matriz blanda bien definida además los cristales no están bien formados por lo que se deben hacer ajustes en la composición química.

**Paso 2** Cálculos para el incremento de Sb + Cu para llegar al Babbitt ASTM B23 grado 3. Los datos los debemos resumir solo con tres elementos con datos fijos y ya no con los rangos que usa la norma por eso tomamos la media e incrementamos el 0.1 % plomo al porcentaje de estaño ya que son compatibles y estamos seguros que su porcentaje esta dentro del rango permitido (0,35 máx.).

Para empezar tenemos que transformar todos los valores de porcentajes a masa en gramos para de esa forma manipularlos, en total tenemos 1 kilo de PK ESPECIAL (BASE Sn)

**TABLA 19**

**CALCULO DE AJUSTE DE CARGA EN BASE Sn**

<b>Babbitts En base de estaño</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Cu % (Cobre)</b>
PK ESPECIAL (BASE Sn)	90,6	4,6	4,8
ASTM B 23 grado 3 OBJETIVO	84	8	8
PK ESPECIAL (BASE Sn) masa en gramos	906	46	48
ASTM B 23 grado 3 masa en gramos	840	80	80

### CÁLCULOS SEGÚN ITERACIÓN

De aquí en adelante se establecerá a través de cálculo iterativo las mezclas de materiales que servirán para hacer el tipo de materiales que se han encontrado en los cojinetes originales en este caso el ASTM B 23 grado 3.

Como la masa de estaño es la mayor se nos hace fácil con una sola iteración, entonces ahora la masa de 906 gramos de estaño pasa a ser nuestro nuevo porcentaje de 84% por lo que de esta manera ya sabremos cuanto es nuestro incremento de los elementos de antimonio y cobre con una regla de tres simple encontramos los pesos requeridos los valores se representan a continuación y son los que se deben considerar para hacer un nuevo ensayo.

**TABLA 20**  
**CALCULO SEGÚN ITERACIÓN**

PARA EL CASO DEL ANTIMONIO Sb	PARA EL CASO DEL COBRE Cu
84 % Sn → 906 gramos de Sn 8 % Sb → $X_1$	84 % Sn → 906 gramos de Sn 8 % Cu → $X_2$
$X_1 = 86,285$ gramos de Antimonio Sb	$X_2 = 86,285$ gramos de Cobre Cu

**TABLA 21**  
**PRESENTACIÓN EN PESO DE PK ESPECIAL (BASE Sn) CON**  
**INCREMENTOS DE Sb Y Cu**

<b>Babbitts En base de estaño</b>	<b>Sn(gramos) Estaño(84%)</b>	<b>Sb(gramos) Antimonio(8%)</b>	<b>Cu(gramos) Cobre(8%)</b>
PK ESPECIAL (BASE Sn) Peso= 1Kilo	906	46	48
PK ESPECIAL (BASE Sn) Mas incrementos de Sb y Cu peso = 1,07857 kilos	906	86,285	86,285
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento para 1 kilo	<b>0</b>	<b>40,285</b>	<b>38,285</b>

Ahora presentamos en porcentajes los nuevos valores de masa con los incrementos de Sb y Cu.

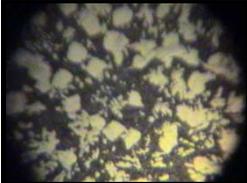
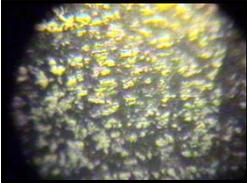
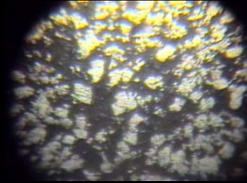
**TABLA 22**  
**PRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE**  
**PK ESPECIAL CORREGIDO= ASTM B 23 grado 3**

<b>Babbitts En base de estaño</b>	<b>Sn(gramos) Estaño</b>	<b>Sb(gramos) Antimonio</b>	<b>Cu(gramos) Cobre</b>
PK ESPECIAL (BASE Sn) Mas incrementos de Sb y Cu Peso = 1,078 kilo	906	86,285	86,285
Porcentajes % ASTM B 23 grado 3	84	8	8

Ahora se cumplen los porcentajes de norma ASTM B 23 grado 3 pero nuestro nuevo peso es de 1078,57 gramos, por que se suma el incremento de 40,285 gramos de Sb + 38,285 gramos de Cu.

**Paso 3** Fundición y presentación de probetas en forma de medallón

**TABLA 23**  
**COMPARACIÓN DE METALOGRAFÍAS DEL SEGUNDO ENSAYO**  
**BABBITT 3**

Ensayo	Cantidad	Forma	Metalografía
00	Muestra tomada del cojinete original pero fundida en molde metálico con forma de medallón (8mm) ASTM B 23 grado 3		 Nuevo patrón
01	Muestra tomada del PK ESPECIAL (BASE Sn) en forma de medallón (8mm) Peso= 1000 gramos		
02	Muestra tomada del PK ESPECIAL (BASE Sn) en forma de medallón (8mm) + 40.19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu. Peso=1078,57 gramos		

Resultado positivo ya que se demuestra que si es una buena aproximación de la matriz y sus granos respectivamente, presentados en la metalografía original de ASTM B 23 grado 3.

**Paso 4** Presentación de Análisis Químicos de las probetas en forma de medallón.

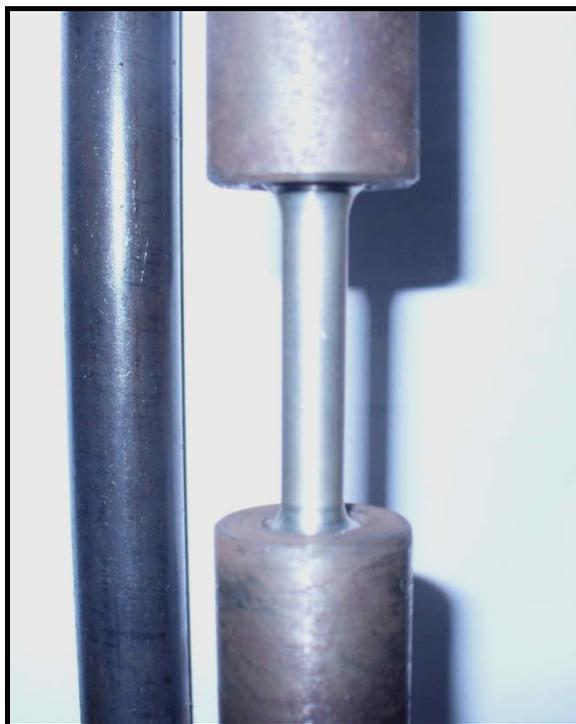
**TABLA 24**  
**COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DEL SEGUNDO ENSAYO**  
**BABBITT 3**

<b>Ensayo</b>	<b>Babbitts En base de estaño</b>	<b>Sn % (Estaño)</b>	<b>Sb % (Antimonio)</b>	<b>Cu % (Cobre)</b>
00	Babbitt ASTM B 23 grado 3 (En cojinetes)	<b>84,23</b>	<b>7,87</b>	<b>7,9</b>
01	PK ESPECIAL (BASE Sn)	90,6	4,6	4,8
02	PK ESPECIAL (BASE Sn) + 40.19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu.	84,13	7,96	7,91
03	PK ESPECIAL (BASE Sn) + 40.19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu.	84,11	7,97	7,92
Norma	Babbitt ASTM B 23 grado 3 OBJETIVO	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5

Se hace un tercer ensayo para verificaron y se comprueba que los porcentaje fueron correctos y de acuerdo norma, la cual representa un grado de confiabilidad elevado.

### **ENSAYOS DE TRACCIÓN PARA BARRAS DE BABBITT 3**

Luego de utilizar los moldes para las probetas en forma de barra se dispone a utilizar estos materiales para mecanizar las barras con medidas normalizadas Como se muestra en la figura 2,8



**FIGURA 2.6 PROBETA DE Sn SOMETIDA AL ENSAYO DE TRACCIÓN**



**FIGURA 2.7 EQUIPO COMPLETO VERSATESTER 30M ADAPTADO A COMPUTADORA PARA ENSAYO DE PROBETAS EN BASE DE Sn**



**FIGURA 2.8 FRACTURA FRÁGIL DE PROBETA DE BABBITT  
EN BASE DE Sn**

Después se procede hacer los ensayos de tracción a tres probetas en la maquina que esta en los laboratorios de Intramet Versa Tester 30M, los cuales al promediar nos dan los siguientes resultados:

**TABLA 25**

**PROPIEDADES FISICAS DEL BABBITT EN BASE DE Sn**

DATOS	UNIDAD(Mpa)	UNIDAD(Mpa)
	ASTM (20 °C)	Intramet (25 °C)
Resistencia a la Ruptura	(45,5)	(44,1)
Limite de Elasticidad	(36,9)	(35,6)

Comparando estos resultados con los de la norma ASTM no presenta inconformidades, si notamos que los ensayos se hicieron en diferentes temperaturas.

## EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS PROBETAS EN BASE DE ESTAÑO

Ya conocemos las características y observaciones que tenemos que realizar en las probetas tipo cuña y tipo medallón a continuación presentamos una muestra de las fracturas de cuñas y El medallón y su tipo de viruta



**FIGURA 2.9 FRACTURA DE CUÑA  
EN BASE DE Sn**



**FIGURA 2.10 BABBITT EN BASE  
Sn Y SU TIPO DE VIRUTA**

Luego de realizar todas estas observaciones decidimos presentarlas de manera resumidas como sigue a continuación:

**TABLA 26**  
**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA UNO, BABBITT 3 ORIGINAL EN**  
**FORMA DE MEDALLÓN (8MM)**

<b>MATERIAL PATRÓN</b> <b>PESO (1KILO)</b>	<b>Muestra tomada del cojinete original</b> <b>ASTM B 23 grado 3</b>		
	<b>84,23% Sn, 7,87% Sb, 7,9% Cu</b>		
<b>CARACTERÍSTICAS VISIBLES</b>	<b>RESULTADOS</b>		
<b>Color de la fractura</b>	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
			x
<b>Tamaño de grano</b>	Fino	Mediano	Grueso
			x
<b>Sensibilidad al espesor</b>	Baja	Media	Alta
			x
<b>Comportamiento al impacto</b>	Bajo	Medio	Alto
		x	
<b>Coefficiente de fricción</b>	Bajo	Medio	Alto
	x		
<b>Comportamiento en el pulido</b>	Fácil	Medio	Difícil
		x	
<b>Tipo de viruta</b>	Frágil	Medio	Dúctil
	X		

**TABLA 27**  
**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA DOS, PK ESPECIAL EN FORMA**  
**DE MEDALLÓN (8MM)**

<b>MATERIAL COMPRAS PESO(1KILO)</b>	<b>Muestra tomada del PK ESPECIAL (BASE Sn)</b>		
	<b>90.6% Sn, 4.6% Sb, 4.8% Cu</b>		
<b>CARACTERÍSTICAS VISIBLES</b>	<b>RESULTADOS</b>		
<b>Color de la fractura</b>	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
		X	
<b>Tamaño de grano</b>	Fino	Mediano	Grueso
		X	
<b>Sensibilidad al espesor</b>	Baja	Media	Alta
			x
<b>Comportamiento al impacto</b>	Bajo	Medio	Alto
		X	
<b>Coeficiente de fricción</b>	Bajo	Medio	Alto
		X	
<b>Comportamiento en el pulido</b>	Fácil	Medio	Difícil
			X
<b>Tipo de viruta</b>	Frágil	Medio	Dúctil
		X	

**TABLA 28**  
**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA TRES, PK ESPECIAL**  
**+ INCREMENTOS DE Sb Y Cu**

<b>MATERIAL CON INCREMENTO SEGÚN CALCULOS PESO(1,07857KILO)</b>	<b>Muestra tomada del PK ESPECIAL (BASE Sn) en forma de medallón (8mm) + 40.19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu</b>		
	<b>84.11% Sn,      7.97% Sb,      7.92% Cu</b>		
<b>CARACTERÍSTICAS VISIBLES</b>	<b>RESULTADOS</b>		
<b>Color de la fractura</b>	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
			x
<b>Tamaño de grano</b>	Fino	Mediano	Grueso
			x
<b>Sensibilidad al espesor</b>	Baja	Media	Alta
			x
<b>Comportamiento al impacto</b>	Bajo	Medio	Alto
		x	
<b>Coefficiente de fricción</b>	Bajo	Medio	Alto
	x		
<b>Comportamiento en el pulido</b>	Fácil	Medio	Difícil
		x	
<b>Tipo de viruta</b>	Frágil	Medio	Dúctil
	x		

**PRODUCCIÓN DE LA CARGA DE LINGOTES PARA EL  
REMETALADO DE ASTM B 23 GRADO 3**

El cálculo es simple se multiplica todo los valores por 52 Kg, los resultados los presentamos a continuación, se procede de la misma forma que se hizo para 1 Kg en los ensayos de laboratorio, como están presentados todos los valores en la tabla 20.

**TABLA 29**

**PRESENTACIÓN EN MASA PORCENTAJES DE PK ESPECIAL (BASE  
SN) CON INCREMENTOS DE SB Y CU= ASTM B 23 GRADO 3**

<b>Babbitts En base de estaño</b>	<b>Sn(gramos) Estaño</b>	<b>Sb(gramos) Antimonio</b>	<b>Cu(gramos) Cobre</b>
PK ESPECIAL (BASE Sn) Peso= 52 Kilos	47112	2392	2496
PK ESPECIAL (BASE Sn) Mas incrementos de Sb y Cu Peso = 56,084 kilos	47112	4486	4486
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento para 52 kilos	0	2094	1990
Porcentajes % de= ASTM B 23 GRADO 3	84	8	8

**Solución:** Para la carga que necesitamos de 52 kilos Si cumple con porcentajes de la norma ASTM B 23 grado 3 pero nuestro nuevo peso es de 56,084 kilos por que a los 52 kilos de PK ESPECIAL (BASE Sn) se le suma el incremento de 2,094 kilos de Sb + 1,99 kilos de Cu.

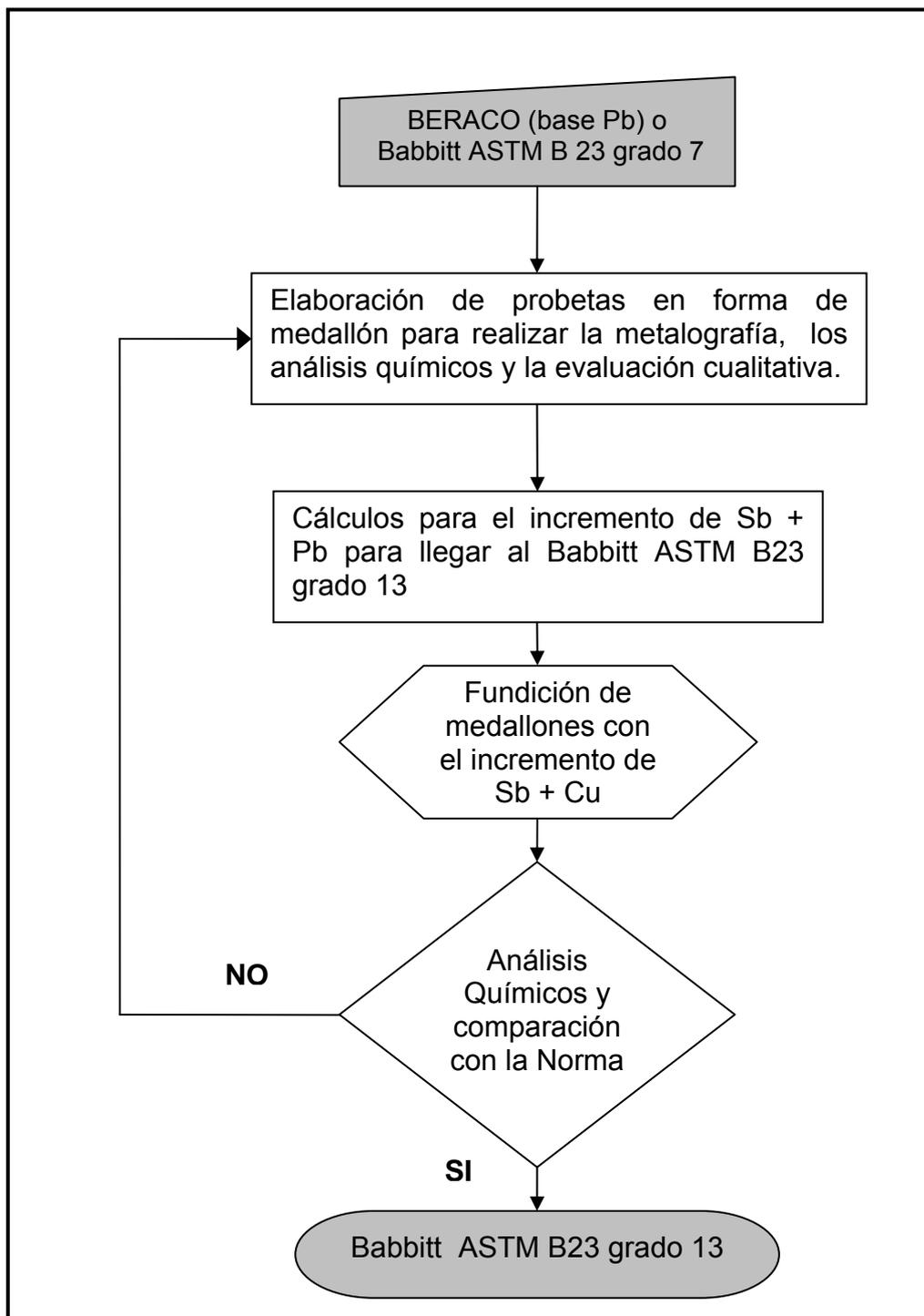
Los 4,084 kilos restantes sirven para la elaboración de probetas como sugiere la norma ASTM B23 los cuales son metalografía, análisis químico, dureza y también ensayos de tracción.

### **2.3 Producción de la aleación Babbitt 13 en laboratorio**

En el mercado encontramos la aleación de metal Babbitt en base de plomo llamado "BERACO" además se estableció que corresponde a la especificación ASTM B23 grado 7.

Pero nuestro metal a producir es ASTM B23 grado 13, y por tanto si nos sirve de metal base para llegar a nuestro metal antifricción al que se le debe hacer unas aportaciones de antimonio y plomo como se evidencia en la tabla 11

Ahora que sabemos como llegar a nuestra aleación certificada de ASTM B23 grado 13 debemos elaborar un diagrama de flujo que es el que presentamos a continuación:



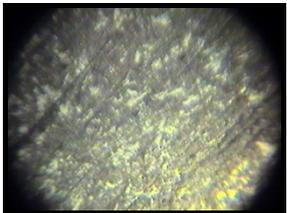
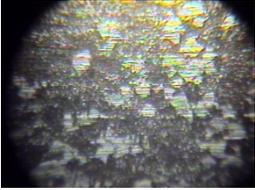
**FIGURA 2.11 DIAGRAMA DE FLUJO PARA OBTENCIÓN DEL BABBITT ASTM B23 GRADO 13**

Igual que para el caso del Babbitt en base de estaño, decidimos manipular solo 1 kilo de Babbitt ASTM B23 grado 7. En consecuencia una vez que obtengamos el Babbitt ASTM B23 grado 13, simplemente conociendo los incrementos en porcentajes, hacemos el mezclado final de lingotes para la carga de 145 kilos. Con el diagrama de bloques establecido para el trabajo de laboratorio tenemos los resultados de la evaluación para 1 kilo de Babbitt ASTM B23 grado 7 Ó BERACO (BASE Pb)

### **CÁLCULOS Y ENSAYOS PARA UN KILO DE BERACO (BASE Pb)**

**Paso 1** Elaboración de probetas en forma de medallón con molde metálico para tener la metalografía y análisis químicos con el fin de poder comparar con las demás aleaciones estando en las mismas condiciones incluyendo su espesor.

**TABLA 30  
COMPARACIÓN DE METALOGRAFÍAS DEL PRIMER ENSAYO  
BABBITT 13**

<b>Ensayo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Forma</b>	<b>Metalografía</b>
00	Muestra tomada del cojinete original pero fundida en molde metálico con forma de medallón (8mm)		 Nuevo patrón
01	Muestra tomada BERACO (BASE Pb) pero fundida en molde metálico en forma de medallón (8mm)		

El ensayo 01 tiene la matriz blanda bien definida pero los cristales a pesar de estar bien formados no equivalen al porcentaje que queremos por tanto se deben hacer ajustes químicos.

**Paso 2** Cálculos para el incremento de Estaño Sn + Cobre Cu para llegar al Babbitt ASTM B23 grado 13

Con el mismo concepto del caso anterior nos quedamos solo con tres elementos con datos fijos y ya no con los rangos que usa la norma por eso tomamos la media e incrementamos el 0.1 % de arsénico al porcentaje de plomo por ser el elemento en mayor porcentaje en la mezcla, ya que se lo puede considerar como una impureza despreciable, además estamos seguros que su porcentaje esta dentro del rango permitido. (0,25 máx.)

**TABLA 31**

**Presentación en porcentajes de BERACO (BASE Pb)**

<b>Babbitts</b>	<b>Sn %</b>	<b>Sb %</b>	<b>Pb %</b>
<b>En base de plomo</b>	<b>(Estaño)</b>	<b>(Antimonio)</b>	<b>(Plomo)</b>
BERACO (base Pb)	9,6	14,4	76
ASTM B 23 grado 13 OBJETIVO	6	10	84

Por lo conocido debemos tener los datos en masa para de esta forma manipularlos, tenemos un kilo de BERACO (BASE Pb)

TABLA 32

## Presentación en peso de BERACO (BASE Pb)

Babbitts En base de plomo	Sn (gramos) Estaño	Sb(gramos) Antimonio	Pb (gramos) Plomo
BERACO (Base Pb)	96	144	760
ASTM B 23 grado 13 OBJETIVO	60	100	840

## PRIMERA ITERACIÓN

En este caso el calculo iterativo para las mezclas de materiales deberá ser por lo menos dos veces, nuestro metal a llegar es el ASTM B 23 grado 13. Como dos elementos que tienen masa mayores a lo que dice la norma y solo uno tiene masa inferior a lo que dice la misma, tenemos que hacer mínimo dos iteraciones, y se procede con este artificio la masa de 144 gramos de (Antimonio) pasa a ser nuestro nuevo porcentaje de 10% de esta manera conocemos cuanto es nuestro incremento en masa de los elementos de (plomo) y (estaño) con una simple regla de tres, para un kilo de BERACO (Base Pb)

TABLA 33

## CALCULO DE LA PRIMERA ITERACION

PARA EL CASO DEL PLOMO Pb	PARA EL CASO DEL COBRE Sn
10 % Sb → 144 gramos de Sb 84 % Pb → $X_1$	10 % Sb → 144 gramos de Sb 6 % Sn → $X_2$
$X_1 = 1209,6$ gramos de Plomo Pb	$X_2 = 86,4$ gramos de Estaño Sn

**TABLA 34**  
**PRESENTACIÓN EN PESOS DE BERACO (BASE Pb) CON**  
**INCREMENTOS DE PLOMO DE PRIMERA ITERACIÓN**

<b>Babbitts</b> <b>En base de plomo</b>	<b>Sn (gramos)</b> <b>Estaño(6%)</b>	<b>Sb(gramos)</b> <b>Antimonio(10%)</b>	<b>Pb</b> <b>(gramos)</b> <b>Plomo(84%)</b>
BERACO (Base Pb)	96	144	760
BERACO (Base Pb) + Plomo Pb	86,4	144	1209.6
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento	-9,6	0	449.6

Ahora presentamos en porcentajes los nuevos valores de masa con el incremento de 449,6 gramos de Pb.

**TABLA 35**  
**PRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE BERACO (BASE Pb)**  
**CON INCREMENTOS DE PLOMO DE PRIMERA ITERACIÓN**

<b>Babbitts</b> <b>En base de plomo</b>	<b>Sn (gramos)</b> <b>Estaño(6%)</b>	<b>Sb(gramos)</b> <b>Antimonio(10%)</b>	<b>Pb (gramos)</b> <b>Plomo(84%)</b>
BERACO (Base Pb) + Pb Peso= 1449,6 gramos	96	144	1209.6
Porcentajes % primera iteración para llegar al ASTM B 23 grado 13	6,6	10	83,4

No cumple con porcentajes de norma ASTM B 23 grado 13 sin embargo nuestro nuevo peso es de 1449,6 gramos ya que se le suma el incremento de 449,6 gramos de plomo.

## SEGUNDA ITERACIÓN

Ahora tenemos el primer elemento (Estaño) con un porcentaje mayor, el segundo elemento (Antimonio) con su porcentaje correcto y el tercer elemento (Plomo) con un menor porcentaje. Decidimos que nuestro nuevo artefacto es que ahora la masa de 96 gramos de (Estaño) pasa a ser nuestro nuevo porcentaje de 6% por lo que de esta manera ya sabremos cuanto es nuestro incremento de los elementos de (plomo) o (antimonio), con una simple regla de tres, los cálculos se representa a continuación:

**TABLA 36**

### CALCULO DE SEGUNTA ITERACIÓN

PARA EL CASO DEL PLOMO Pb	PARA EL CASO DEL ANTIMONIO Sb
6 % Sn → 96 gramos de Sn 84 % Pb → $X_1$	6 % Sn → 96 gramos de Sn 10 % Sb → $X_2$
$X_1 = 1344$ gramos de Plomo Pb	$X_2 = 160$ gramos de Estaño Sn

**TABLA 37**

### PRESENTACIÓN EN PESOS DE BERACO (BASE PB) CON INCREMENTOS DE Pb+Sb DE SEGUNDA ITERACIÓN

Babbitts En base de plomo	Sn (gramos) Estaño(6%)	Sb(gramos) Antimonio(10%)	Pb (gramos) Plomo(84%)
BERACO (Base Pb) primera iteración Peso= 1449,6 gramos	96	144	1209.6
BERACO (Base Pb) + Plomo Pb de segunda iteración, Peso= 1600 gramos	96	160	1344
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento	0	16	134,4

Ahora presentamos en porcentajes los nuevos valores de masa con los incrementos de 134,4 gramos de Pb + 16 gramos de Sb de la segunda iteración.

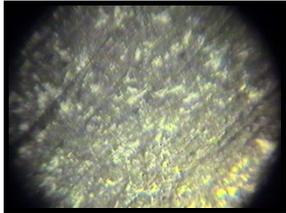
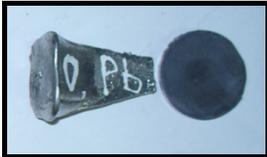
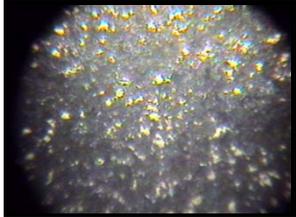
**TABLA 38**  
**PRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE BERACO (BASE PB)**  
**CON INCREMENTOS DE Pb+Sb DE SEGUNDA ITERACIÓN**

<b>Babbitts</b> <b>En base de plomo</b>	<b>Sn (gramos)</b> <b>Estaño(6%)</b>	<b>Sb(gramos)</b> <b>Antimonio(10%)</b>	<b>Pb</b> <b>(gramos)</b> <b>Plomo(84%)</b>
BERACO (Base Pb) + Pb y Sb Peso= 1600 gramos	96	160	1344
Porcentajes % segunda iteración para llegar al ASTM B 23 grado 13	6	10	84

Si cumple con porcentajes de norma ASTM B 23 grado 13 pero nuestro nuevo peso es de 1600 gramos, por que se suma el incremento de (449,6+134,4=584) gramos de plomo y 16 gramos de antimonio, un total de 600 gramos.

**Paso 3** Fundición y presentación de probetas en forma de medallón con los incrementos de Pb Sb

**TABLA 39**  
**COMPARACIÓN DE METALOGRAFÍAS DEL SEGUNDO ENSAYO**  
**BABBITT 13**

Ensayo	Cantidad	Forma	Metalografía
00	Muestra tomada del cojinete original pero fundida en molde metálico con forma de medallón (8mm) ASTM B 23 grado 13		 Nuevo patrón
01	Muestra tomada de BERACO (BASE Pb) pero fundida en molde metálico en forma de medallón (8mm) Peso= 1000 gramos		
02	Muestra tomada de BERACO (BASE Pb) pero fundida en molde metálico en forma de medallón(8mm) + 584 gramos de Pb + 16 gramos de Sb Peso=1600 gramos		

En el ensayo 02 se demuestra que si es una buena aproximación de la matriz y granos presentados en el ensayo 00 de la metalografía original de ASTM B 23 grado 13.

**Paso 4** Presentación de Análisis Químicos de las probetas en forma de medallón, con los incrementos finales de Pb + Sb

TABLA 40

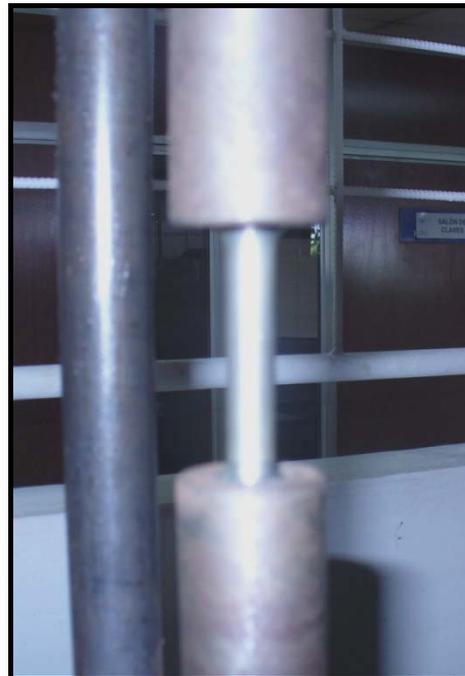
## Comparación de porcentajes del segundo ensayo Babbitt 13

Ensayo	Babbitt En base de plomo	Sn % (Estaño)	Sb % (Antimonio)	Pb % (Plomo)
00	Babbitt ASTM B 23 grado 13 (En cojinetes)	5,98	9,95	84,07
01	BERACO (base Pb)	9,6	14,4	76
02	BERACO (Base Pb) + 449,6 gr. De Pb de primera iteración + 134,4 gr. De Pb de segunda iteración + 16 gr. De Sb de segunda iteración Peso= 1600 gramos	5,9	9,98	84,12
03	BERACO (Base Pb) + 449,6 gr. De Pb de primera iteración + 134,4 gr. De Pb de segunda iteración + 16 gr. De Sb de segunda iteración Peso= 1600 gramos	5,91	9,99	84,10
Norma	Babbitt ASTM B 23 grado 13 OBJETIVO	5.5 - 6.5	9.5 - 10.5	83-85

Para arrancar cualquier duda decidimos volver a realizar un tercer análisis químico que solo sirvió para comprobar los porcentajes correctos que exige la norma ASTM B 23

### **ENSAYOS DE TRACCIÓN PARA BARRAS DE BABBITT 13**

Igual a estas barras de BABBITT 13 en base de Pb se disponen a utilizarlas para mecanizar con medidas normalizadas. Como se muestra en la figura 2,13.



**FIGURA 2.12 PROBETA DE BABBITT 13 EN BASE DE PB  
SOMETIDA AL ENSAYO DE TRACCIÓN**

Este ensayo se realizo con Equipo completo que consiste en el uso de la maquina Versa Tester 30 M la cual esta adaptada a la computadora con la ayuda del programa LAB-View. Con esta herramienta de ensayos destructivos se sometió las probetas de BABBITT 13 en base de Pb.



**FIGURA 2.13 FRACTURA LEVEMENTE FRÁGIL DE PROBETA EN BASE DE PLOMO**

Luego se procede hacer los ensayos de tracción a las probetas en la maquina que esta en los laboratorios de Intramet Versa Tester 30M, sus resultados son:

**TABLA 41**

**PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALEACIONES EN BASE DE Pb**

DATOS	UNIDAD(Mpa)	UNIDAD(Mpa)
	ASTM (20 °C)	Intramet (25 °C)
Resistencia a la Ruptura	(23,4)	(22,6)
Limite de Elasticidad	(18,3)	(17,2)

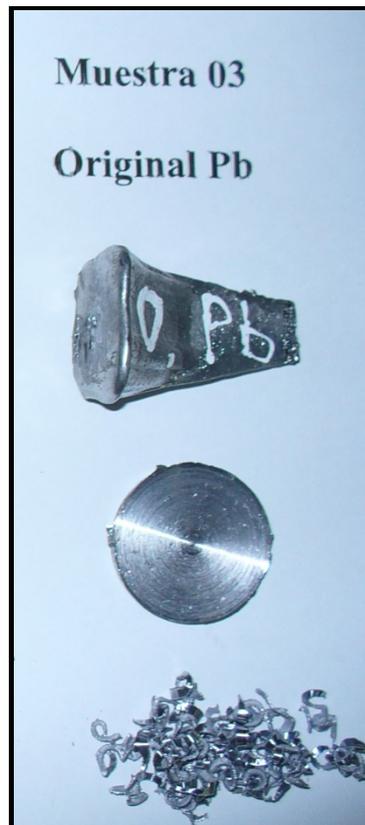
Resultados acorde a lo que precisa la norma ASTM B23

**CALIFICACIÓN CUALITATIVA DE LAS PROBETAS EN BASE DE PLOMO**

Igual que en la sección 2.2 se hacen todas las calificaciones según sus observaciones



**FIGURA 2.14 FRACTURA DE CUÑA  
EN BASE DE PLOMO**



**FIGURA 2.15 MEDALLON DE  
BABBITT BASE Pb Y SU TIPO DE  
VIRUTA**

En la cuña hay una leve curva esta se formo al realizar el ensayo de impacto por la ductilidad del material que tiene con respecto al Babbitt en base de estaño es mas rígido.

En consecuencia La viruta que sale del mecanizado también es dúctil con respecto a la viruta en base de estaño.

Después de estas observaciones se presentan los resultados de todas las evaluaciones a continuación:

**TABLA 42**  
**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA UNO, BABBITT 13 ORIGINAL**

<b>MATERIAL PATRÓN PESO(1KILOS)</b>	<b>Muestra tomada del cojinete original ASTM B 23 grado 13</b>		
	<b>5,98% Sn, 9,95% Sb, 84,07% Pb</b>		
<b>CARACTERÍSTICAS VISIBLES</b>	<b>RESULTADOS</b>		
<b>Color de la fractura</b>	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
		x	
<b>Tamaño de grano</b>	Fino	Mediano	Gruoso
		x	
<b>Sensibilidad al espesor</b>	Baja	Media	Alta
			x
<b>Comportamiento al impacto</b>	Bajo	Medio	Alto
		x	
<b>Coeficiente de fricción</b>	Bajo	Medio	Alto
	x		
<b>Comportamiento en el pulido</b>	Fácil	Medio	Difícil
			x
<b>Tipo de viruta</b>	Frágil	Medio	Dúctil
		x	

**TABLA 43**  
**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA DOS, BERACO**  
**(BASE Sn) EN FORMA DE MEDALLÓN (8MM)**

<b>MATERIAL COMPRAS PESO(1KILOS)</b>	<b>Muestra tomada del BERACO (BASE Sn)</b>		
	<b>9,6% Sn,</b>	<b>14,4% Sb,</b>	<b>76% Pb</b>
<b>CARACTERÍSTICAS VISIBLES</b>	<b>RESULTADOS</b>		
<b>Color de la fractura</b>	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
	x		
<b>Tamaño de grano</b>	Fino	Mediano	Grueso
	x		
<b>Sensibilidad al espesor</b>	Baja	Media	Alta
			x
<b>Comportamiento al impacto</b>	Bajo	Medio	Alto
			x
<b>Coeficiente de fricción</b>	Bajo	Medio	Alto
	x		
<b>Comportamiento en el pulido</b>	Fácil	Medio	Difícil
		x	
<b>Tipo de viruta</b>	Frágil	Medio	Dúctil
			x

TABLA 44

**DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA TRES, BERACO (BASE Pb) EN FORMA DE MEDALLÓN (8mm) + 584 GRAMOS DE Pb + 16 GRAMOS DE Sb**

MATERIAL CON INCREMENTO SEGÚN CALCULOS PESO(1,6KILOS)	Muestra tomada del BERACO (BASE Pb) en forma de medallón (8mm) + 584 gramos de Pb + 16 gramos de Sb		
	5,91% Sn,	99,9% Sb,	84,10% Pb
CARACTERÍSTICAS VISIBLES	RESULTADOS		
Color de la fractura	Gris Oscuro	Gris Medio	Gris Claro
		x	
Tamaño de grano	Fino	Mediano	Grueso
		x	
Sensibilidad al espesor	Baja	Media	Alta
			x
Comportamiento al impacto	Bajo	Medio	Alto
		x	
Coeficiente de fricción	Bajo	Medio	Alto
	x		
Comportamiento en el pulido	Fácil	Medio	Difícil
			x
Tipo de viruta	Frágil	Medio	Dúctil
		x	

### PRODUCCIÓN DE LA CARGA DE 145 KILOS DE ASTM B 23 GRADO 13

En este caso se considera el porcentaje que se incrementa al elaborar la aleación que es del 60% por tanto el valor de 145 kilos es nominal, para lograr tener 145 o mas decidimos usar 95 kilos de aleación BERACO (BASE Pb) lo que da  $95 + 95(0.6) = 95+57 = 152$  kilos, por

tanto todos los valores lo multiplicaremos por 95 kilos de Beraco (Base de Pb).

**TABLA 45**  
**PRESENTACIÓN EN PORCENTAJES DE BERACO (BASE Pb) CON**  
**INCREMENTOS DE Pb Y Sb= ASTM B 23 GRADO 13**

<b>Babbitts En base de plomo</b>	<b>Sn (gramos) Estaño</b>	<b>Sb (gramos) Antimonio</b>	<b>Pb (gramos) Plomo</b>
BERACO (1 Kilo Base Pb)	96	144	760
BERACO (Base Pb) primera iteración Peso= 1000 + 449,6 Pb= 1449,6 gramos	96	144	1209,6
BERACO (Base Pb) + Plomo Pb de segunda iteración, Peso= 1600 gramos	96	160	1344
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento en la segunda iteración	0	16	134,4
BERACO (95 kilos Base Pb)	9120	13680	72200
BERACO (Base Pb) 1 <sup>ra</sup> iteración Peso(95+ Pb)= 1000(95) {95000 Beraco} + 449,6(95) {42712 Pb} Pb= 1449,6(95) gramos Peso total= 137712 gramos de aleación corregida.	9120	13680	114912
BERACO(Base Pb) + Plomo Pb de 2 <sup>da</sup> iteración Peso= 1600(95)gramos, Peso total= 152000 gramos	9120	15200	127680
Restas de diferencia para conocer el incremento de masa en cada elemento en la segunda iteración	0	1520	12768
Aleación final y sus pesos 152 kilos de ASTM B 23 GRADO 13	9120	15200	127680
Porcentajes % de= ASTM B 23 GRADO 13	6	10	84

**Solución:** Para la carga que necesitamos de 145 kilos Si cumple con porcentajes de norma ASTM B 23 grado 13, pero nuestro nuevo peso es de 152 kilos del resultado de 1000(95)= 95000 gramos de Beraco

mas la suma del incremento de  $(42712+12768= 55480)$  gramos de Pb + (1520) gramos de Sb.

Da un total de 152 kilos de ASTM B 23 GRADO 13, siendo prácticos las sumas quedan así:

**TABLA 46**

**RESULTADOS DE PESOS PARA BABBITT 13 EN BASE DE PLOMO**

Valores(kilos)	Aleación o elementos
95	Beraco
+ 55,48	Plomo(Pb)
+ 1,52	Antimonio (Sb)
= 152	ASTM B 23 GRADO 13

De los 152 kilos usaremos 145 kilos en el metalizado los 7 kilos restantes sirven para la elaboración de probetas como sugiere la norma ASTM B23 los cuales son metalografía, análisis químico, dureza y también ensayos de tracción.

**2.4 Control metalúrgico de aleaciones por microscopio óptico, ensayos de dureza y tracción**

Después de elaborar la carga de los metales blancos Se procede a evaluar los lingotes como lo sugiere la norma para:

52 kilos de ASTM B23 Grado 3 (Babbitt 3) en base de estaño y

145 kilos de ASTM B23 Grado 13 (Babbitt 13) en base de plomo.

Los lingotes son barras redondas que se fundieron en un molde metálico de 30 mm de diámetro y 300 mm de largo.

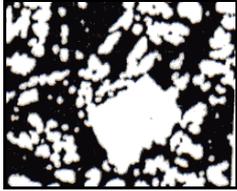
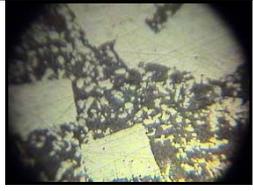
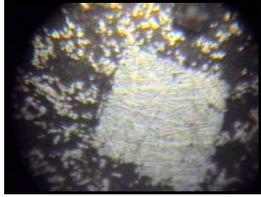


**FIGURA 2.16 LINGOTES DE BABBITS DE INTRAMET**

Luego se hacen probetas para Ensayo de tracción donde se logran datos de Resistencia a la Ruptura (Mpa) y Limite de Elasticidad (Mpa), también evaluamos con viruta en el espectrofotómetro de absorción atómica su Composición Química, después con un muestra de material seguimos el procedimiento para obtener las Metalografía y finalmente Ensayamos las probetas con durómetro Brinell adaptado en la maquina Versa Tester 30 M usando programa "LAB-View" para obtener sus Durezas BHN.

Todos estos resultados se presentan, para cada caso en las siguientes paginas.

**TABLA 47**  
**RESULTADOS DE ALEACIÓN BABBITT 3 EN BASE DE ESTAÑO**

ítem	Ensayo de tracción		Composición Química %			Microestructuras 2% de Nital a 250X	Dureza BHN
	Resistencia a la Ruptura (Mpa)	Limite de Elasticidad (Mpa)	Sn	Sb	Cu		
00	45,5 (20 ° C)	36,9 (20 ° C)	84	8	8		27
01	44,1 (25 ° C)	35,6 (25 ° C)	84,23	7,87	7,9		25
02	43,9 (25 ° C)	35,2 (25 ° C)	84,16	7,93	7,91		25

Donde:

**00** = Son los datos de la norma ASTM B 23 grado 3 (20 ° C)

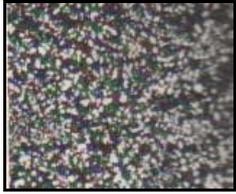
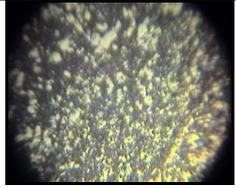
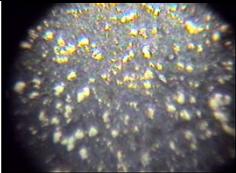
**01**= Datos del metal Babbitt 3 (ASTM B 23 grado 3) metalizado en cojinetes

**02** = Datos de lingotes de 30 mm x 300 m de largo preparados en

Intramet los cuales si cumple con lo que precisa la norma ASTM B

23 grado 3

**TABLA 48**  
**RESULTADOS DE ALEACIÓN BABBITT 13 EN BASE DE PLOMO**

ítem	Ensayo de tracción		Composición Química %			Microestructuras 2% de Nital a 250X	Dureza BHN
	Resistencia a la Ruptura (Mpa)	Limite de Elasticidad (Mpa)	Pb	Sb	Sn		
<b>00</b>	23,4 (20 ° C)	18,3 (20 ° C)	84	10	6		21
<b>01</b>	22,6 (25 ° C)	17,2 (25 ° C)	84,07	9,95	5,98		19
<b>02</b>	22,6 (25 ° C)	17,2 (25 ° C)	84,16	9,91	5,93		19

Donde:

**00** =Son los datos de la norma ASTM B 23 grado 13 (20 ° C)

**01**=Datos del metal Babbitt 13(ASTM B23 grado13) metalizado en cojinetes

**02**=Datos de lingotes de 30 mm x 300 m de largo, preparados en Intramet los cuales si cumple con lo que exige la norma ASTM B 23 grado 13.

## 2.5 Preparación de los cojinetes para el remetalado fusión y colado

Luego de tener ya los lingotes certificados y listos estamos a la mitad de conseguir el éxito, si por que el otro 50 % se debe al arte de cómo se adhiere a la superficie este metal Babbitt, lo cual según los expertos dicen que es todo un procedimiento casi como una ceremonia

Los cojinetes tienen que ser sometidos a los siguientes pasos para ser remetalado:

1. Calentar uniformemente todo el cojinete con un soplete por todos lados hasta una temperatura de 500 °C para el Babbitt 3 y 400 °C para el Babbitt 13, de esta manera con una espátula limpia retiramos todo el metal a restituir y se recoge todo lo posible, este metal nos sirve para hacer las pruebas descubrir que metal Babbitt es para cada caso.
2. Asegurar que no quede nada de grasa, limpiar por completo la superficie del cojinete con el 1<sup>er</sup> cepillo de acero inoxidable en caliente
3. Limpiar la superficie a lo largo del cojinete con detergente y abundante agua con 2<sup>do</sup> cepillo de acero inoxidable.
4. Estañar esto quiere decir que hay que calentar el cojinete a unos 344 °C con el fin de soldar el estaño a la superficie del cojinete

para que de esta manera se convierta en una capa que une el metal de hierro gris del cojinete al Babbitt, esto se logra untando el metal estaño con ayuda de la pasta para soldar y refregando con un 3<sup>er</sup> cepillo de acero inoxidable con rapidez y fuerza al cojinete.

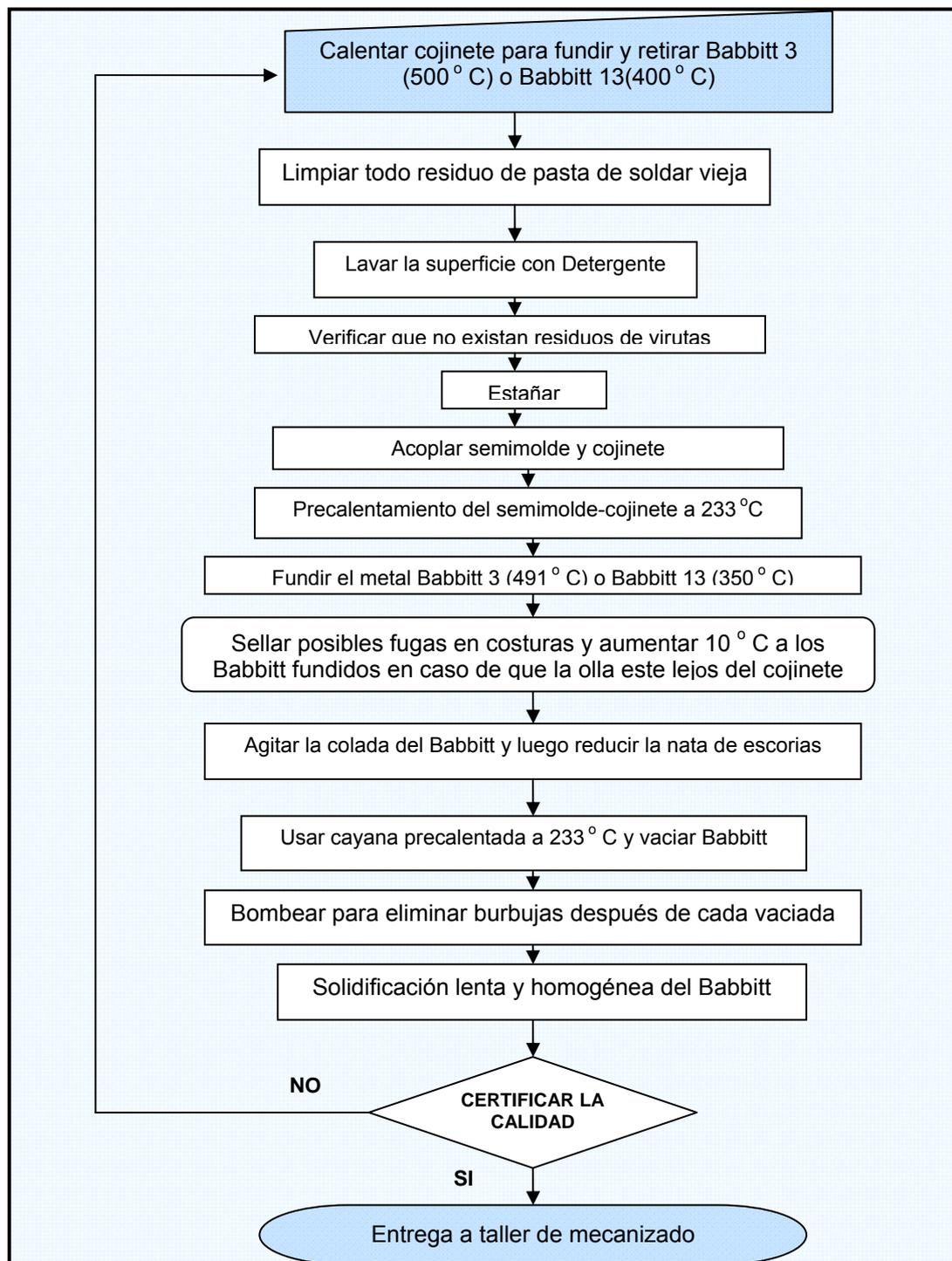
5. Con un trapo limpio, verificar que la superficie donde va adherir el Babbitt este libre de residuos de hilo de acero inoxidable que tal vez salió del 3<sup>er</sup> cepillo con cerdas de acero inoxidable, que todo quede con un acabado de limpieza brillante, usar lupa.
6. En conjunto limpiar y acoplar con la ayuda de unas mordazas y prensas y de una manera hermética, unir el semimolde metálico con el cojinete, todo esto se hace con una limpieza brillante luego con la ayuda de una mezcla de asbesto en polvo, goma y agua hasta tener una mezcla con la consistencia adecuada, que sirva para sellar los espacios entre la unión del semimolde metálico y el cojinete.
7. Ya listo el conjunto semimolde metálico y cojinete se procede a precalentar sin dejar que el calor caiga por debajo de los 233 °C
8. En paralelo se debe calentar la olla de metal para que en el, se funda los lingotes de Babbitts con la temperatura de vaciado

respectivamente (491 °C para el Babbitt 3 y 350 °C para el Babbitt 13)

9. Sellar todas las costuras que probablemente se abrieron con el precalentamiento (paso 8)
10. En este instante se debe tener el metal cerca del conjunto semimolde metálico y cojinete pero si la olla no esta cerca del mismo se debe aumentar el calor en unos 10 °C para compensar la caída de temperatura entre la olla y el semimolde metálico-cojinete
11. Agitar con un varilla de 10 mm de diámetro x 800 mm de largo libre de oxido la colada del Babbitt, para asegurar que se revuelva todo y tener una mezcla homogénea.
12. Reducir la escoria con una cuchara sacar todas las natas de impurezas y escoria de la superficie del metal.
13. Con una cayana precalentada a 233 °C y limpia preferiblemente de una capacidad adecuada con el volumen completo para cada metalizado del cojinete, en ese momento se procede a vaciar la colada de Babbitt en un flujo constante apegado al semimolde

metálico-cojinete evitando salpicaduras, en caso de que la altura del cojinete sea muy alto, vaciar en varias porciones, para este caso en tres niveles se debe vaciar el Babbitt y en el último vaciado no seguir vertiendo hasta el desbordamiento del metal, además se bombea después de cada vaciada.

14. Bombear es la actividad que se hace con una varilla de 8mm de diámetro por unos 600 mm de largo libre de óxido se bombea de arriba hacia abajo, para evacuar todas las burbujas de aire y así garantizar un metal libre de poros
15. Inmediatamente después de verter la última porción de Babbitt se debe solidificar homogéneamente, con un soplete se calienta levemente a todo el semimolde metálico-cojinete luego se retira el fuego para que se enfríe lento y homogéneamente.
16. Como medida de precaución, tener a mano los trapos húmedos por si hay que alguna dar una bofetada contra las fugas imprevistas del metal en líquido Babbitt en caso de que se puedan abrir costuras, esto suele pasar cuando la mezcla de asbesto no ha sido firmemente colocada.



**FIGURA 2.17 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE REMETALADO O METALIZADO**

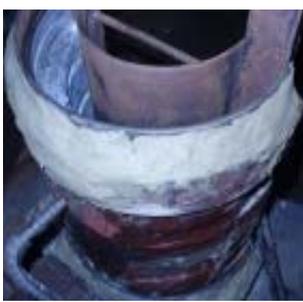
TABLA 49

## CRONOGRAMA DEL REMETALADO O METALIZADO

ítem	Actividad	Accesorios y herramientas	Temperatura de trabajo ( °C)	tiempo
1	Fundir el material	Soplete, espátula y guantes	500(Sn) 400(Pb)	30 min.
2	Limpiar	Cepillo de acero inoxidable	≈ 200	10 min.
3	Lavar	Agua, deja y cepillo	Ambiente	10 min.
4	Estañar	Cepillo , pasta de soldar, guantes y estaño	344	30 min.
5	Verificar limpieza	Lupa, trapo limpio	Ambiente	10 min.
6	Acoplar el molde metálico a cojinete	Asbesto, agua y goma	Ambiente	30 min.
7	Precalear	Soplete, guantes	233	10 min.
8	Fundir los lingotes	Horno, olla y guantes	491(Sn) 350 (Pb)	30 min.
9	Verificar y sellar costuras	Asbesto, agua, goma y guantes	233	10 min.
10	Si el caso amerita subir 10 °C a la colada	Horno, olla y guantes	501(Sn) 360(Pb)	10 min.
11	Agitar	Varilla libre de oxido	501 (Sn) 360(Pb)	5 min.
12	Reducir escoria	Cuchara, guantes	501(Sn) 360(Pb)	5 min.
13	Vaciar la colada en 3 porciones	Olla, Cayana, cuchara y guantes	491(Sn) 350(Pb)	10 min.
14	Bombear	Varilla libre de oxido de 8 mm de diámetro por 600 mm de largo	491(Sn) 350(Pb)	10 min.
15	Solidificar homogéneamente y tener a mano trapos húmedos por si hay fugas.	Soplete, guantes y trapos húmedos.	≈150(Sn)≈100(Pb)	30 min.
			TOTAL	240 min.

Este procediendo es independiente para cada cojinete

**TABLA 50**  
**PRESENTACIÓN EN SECUENCIA DE FOTOS DEL 1-8 DEL PROCESO DE METALIZADO**

ÍTEM	FOTOS	ÍTEM	FOTOS
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	

**TABLA 51**  
**PRESENTACIÓN EN SECUENCIA DE FOTOS DE LA 9-15 DEL PROCESO**  
**DE METALIZADO**

ÍTEM	FOTOS	ÍTEM	FOTOS
9		10	
11		12	
13		14	
15			

## CAPITULO 3

### 3. EVALUACIÓN DEL REMETALADO

#### 3.1 Verificación de estructura Babbitt en chumaceras

Se toman varias medidas de verificación de la calidad de los cojinetes terminados y que hemos llamado remetalado de los mismos, estos controles son adicionales a los análisis de laboratorio tales como análisis químico, dureza y el mas importante la observación de su Microestructura vista al microscopio que se hacen probetas tomadas de los mismos cojinetes.

Se requiere saber si el metal Babbitt esta bien adherido a los cojinetes las dos pruebas básicas con ensayos no destructivos que son la de sonido para certificar que no existen espacios vacíos entre el metal de hierro gris de los cojinetes y el metal Babbitt, que el sonido evidencie

que el material si esta compacto y no fofo luego se aplican tintas penetrantes para ver si existen fisuras, rechupes o porosidades que pueden presentarse, cuando no existe un control del enfriamiento lento lo que produce fallas de ese tipo.

En la siguiente foto se presenta la forma de tomar, las muestras para la confección de probetas para la verificación de calidad en laboratorio.



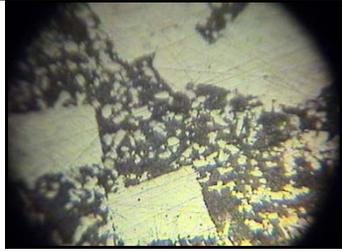
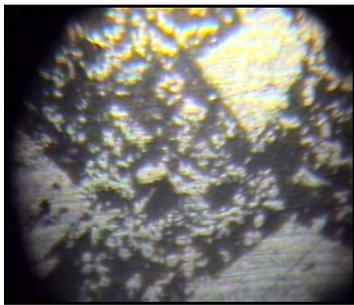
**FIGURA 3.1 TOMA DE MUESTRA DE COJINETES METALIZADOS**



**FIGURA 3.2 PROBETAS DE COJINETES METALIZADOS  
ATACADAS CON 2% DE NITAL**

En la tablas 48 y 49 se presentan los resultados de los ensayos, verificándose que la calidad es la esperada.

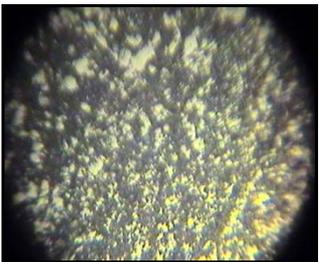
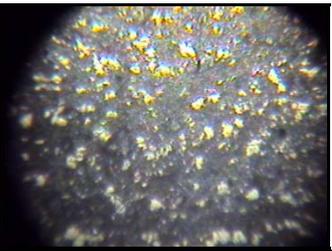
**TABLA 52**  
**RESULTADOS DE BABBITT 3 ADHERIDOS AL COJINETE**

ítem	Composición Química			Microestructuras 2% de Nital a 250X	Dureza BHN
	Sn %	Sb %	Cu %		
01	84,23	7,87	7,90		25
02	84,12	7,96	7,92		25

**01** = Babbitt 3 (ASTM B23 grado3) Metalizado en cojinetes originales

**02** = Metalizado en Intramet acorde a la Norma ASTM B23 grado 3

**TABLA 53**  
**RESULTADOS DE BABBITT 13 ADHERIDOS AL COJINETE**

ítem	Composición Química			Microestructuras 2% de Nital a 250X	Dureza BHN
	Pb %	Sb %	Sn %		
<b>01</b>	84,07	9,95	5,98		19
<b>02</b>	84,23	9,87	5,90		19

**01** = Babbitt 13 (ASTM B23 grado13) Metalizado en cojinetes originales

**02** = Metalizado en Intramet como precisa la Norma ASTM B23 grado 13

### **CALIFICACIÓN DEL ACABADO SUPERFICIAL DE LOS COJINETES**

En Intramet decidimos tomar en cuenta más Parámetros de evaluación

como:

- Comportamiento del mecanizado y Aspecto superficial:

El Babbitt es por naturaleza un excelente metal para el mecanizado en consecuencia su aspecto superficial es de gran calidad.



**FIGURA 3.3 EXCELENTE ACABADO SUPERFICIAL**

- Tipo de viruta del mecanizado:

El metal se deja cortar con facilidad y no se embota en la cuchilla, La viruta sale larga con una normal ductilidad



**FIGURA 3.4 VIRUTA DEL MECANIZADO**

Las pruebas acústicas se realizan dando varios golpes en sitios diferentes del Casquillo de los cojinetes, el sonido debe ser sólido como si fuese un solo metal es agudo y de acuerdo a la experiencia de los técnicos especialistas ya conocen y saben que hay buena adherencia al metal base, esta es una prueba empírica aunque efectiva que establece una forma de aprobación o rechazo.



**FIGURA 3.5 COJINETES METALIZADOS PREMECANIZADOS**



**FIGURA 3.6 COJINETES LISTOS PARA EL USO EN LA TURBINA  
PELTON**

### 3.2 Análisis de costo del proceso de remetalado

Los costos de los materiales Babbitt son de un alto precio en especial los de base en estaño, sin embargo al realizar los ajustes y la verificación de los mismos se logro tener un material de tan buena calidad como los que existen en el mercado internacional

A continuación presentamos los costos.

**TABLA 54**

#### **COSTOS DE MATERIALES PARA EL REMETALADO**

Recursos	Nombre	Costos (dólares)	Cantidad	Total(dólares)
Mano de obra por horas	Técnico especialista	10	50 horas	500
	2 ayudantes	5	100 horas	500
Materias primas	Beraco	11,8	95 kilos	1121
	Pk especial	61,6	52 kilos	3203,2
	antimonio	20	4 kilos	80
	Cobre	10	2 kilos	20
	Plomo	10	55,5 kilos	555
Accesorios	Wype, pasta para soldar asbesto goma Estaño, combustible	100	1	100
Trabajos externos	Mecanizado y pintado de 4 cojinetes	50	4	200
			<b>TOTAL</b>	<b>6279,2</b>

**TABLA 55**  
**COSTOS DE OPERACIONES AUXILIARES**

<b>Nombres de Recursos</b>	<b>Costos (dólares)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total(dólares)</b>
Costos de la investigación y desarrollo de la elaboración de los lingotes, (estudiantes)	5	20 horas	100
Búsqueda de los materiales en el mercado, (estudiantes)	5	10 horas	50
Costos del personal de investigación y desarrollo involucrados	20	10	200
Investigador principal (tesista)	40	20 días	800
Investigador guía	80	10 días	800
Personal de apoyo(obreros)	5	20 horas	100
Costos de análisis de laboratorios			
Análisis químicos \$10 / elemento	10	40	400
Análisis metalográficos \$10/ análisis	10	30	300
Ensayos de tracción \$10/ ensayo	10	5	50
Ensayos de dureza \$10/ ensayo	10	5	50
Costos del documento	150	1	150
Costos del uso del computador	5	20	100
		<b>TOTAL</b>	<b>3100</b>

**COSTO TOTAL** = Costos de materiales para el remetalado +  
Costos de operaciones auxiliares.

**COSTO TOTAL DEL METALIZADO**

**DE LOS 4 COJINETES** = 6279,2 + 3100 = 9379,2 dólares

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

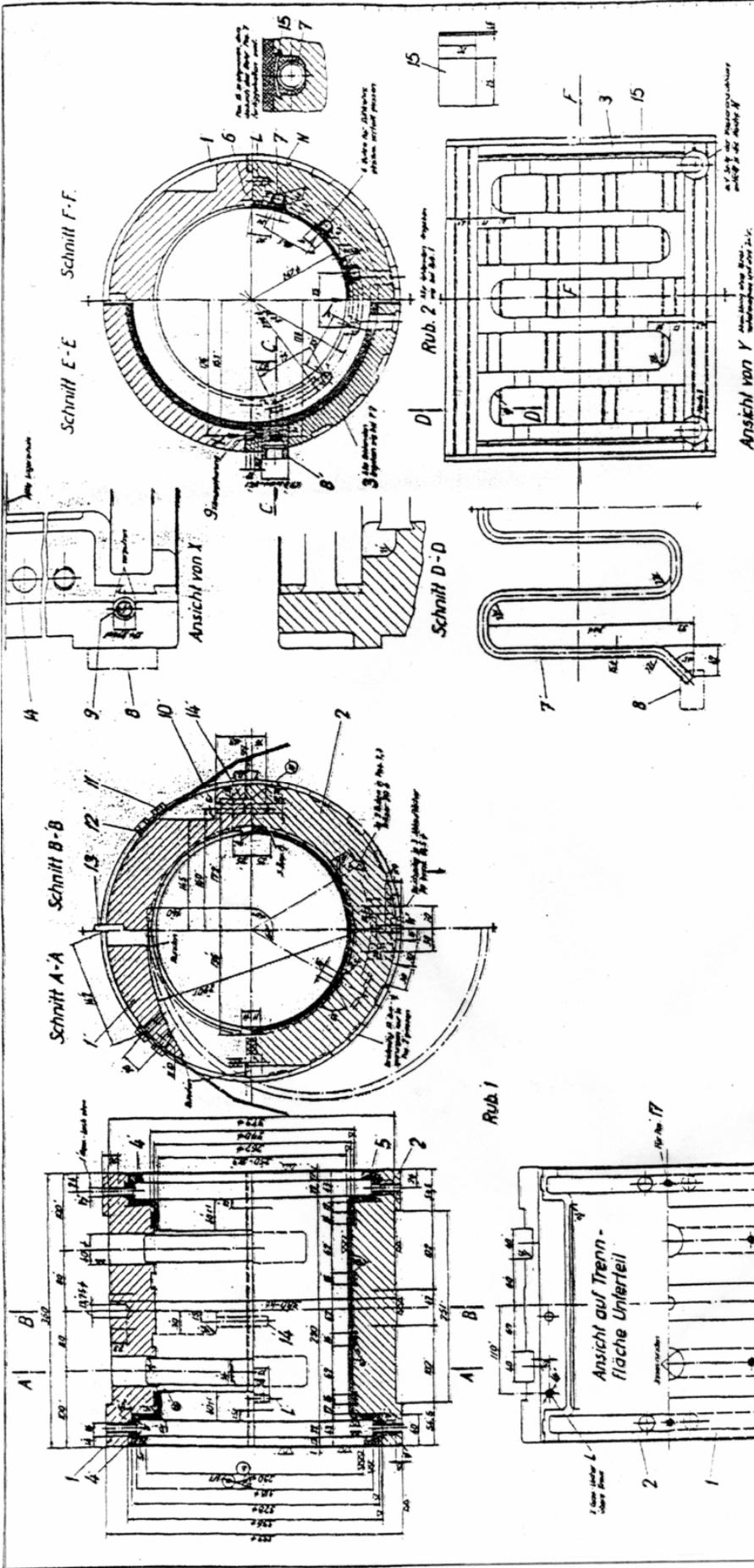
### 4.1 Conclusiones

- La rehabilitación de los cojinetes para evitar paradas de las turbinas Pelton, ha sido éxito, porque previo a su ejecución se hizo La investigación de todo este sistema y su funcionamiento.
- Los metales antifricción adheridos a los cojinetes tienen iguales características que los originales de fábrica, porque se homologaron tal como lo precisa la norma ASTM B 23

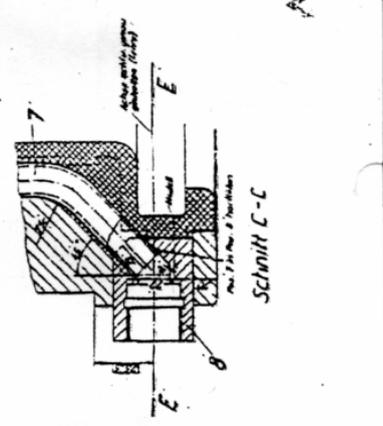
## 4.2 Recomendaciones

- Para ingenieros que tengan que hacer trabajos similares les recomendamos trabajar con metales de alta pureza comercial de esta forma se disminuye el grado de dificultad, de hacer los lingotes para vaciar a los cojinetes.
- Que La FIMCP promueva la creación de laboratorios de tribología para evaluar los materiales antifricción en acción y mejorarlos para otras aplicaciones de importancia donde existan este tipo de cojinetes de deslizamiento o de fricción.

## **APENDICE A: Planos de Cojinetes**



Lagerschale B 250		M 107142	
BROWN BOYER		M 107142	
1. Name	Lagerschale B 250	1. Zeichner	...
2. Material	...	2. Fertiger	...
3. Ausführung	...	3. Datum	...
4. Maßstab	...	4. Blatt	...
5. Fertigung	...	5. Blatt	...
6. Zeichnung	...	6. Blatt	...
7. Fertigung	...	7. Blatt	...
8. Zeichnung	...	8. Blatt	...
9. Fertigung	...	9. Blatt	...
10. Zeichnung	...	10. Blatt	...
11. Fertigung	...	11. Blatt	...
12. Zeichnung	...	12. Blatt	...
13. Fertigung	...	13. Blatt	...
14. Zeichnung	...	14. Blatt	...
15. Fertigung	...	15. Blatt	...



1) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 2) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 3) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 4) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 5) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 6) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 7) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.  
 8) Die Rollenschalen sind nicht zu überarbeiten.

Lagerschale B 250		M 107142	
BROWN BOYER		M 107142	
1. Name	Lagerschale B 250	1. Zeichner	...
2. Material	...	2. Fertiger	...
3. Ausführung	...	3. Datum	...
4. Maßstab	...	4. Blatt	...
5. Fertigung	...	5. Blatt	...
6. Zeichnung	...	6. Blatt	...
7. Fertigung	...	7. Blatt	...
8. Zeichnung	...	8. Blatt	...
9. Fertigung	...	9. Blatt	...
10. Zeichnung	...	10. Blatt	...
11. Fertigung	...	11. Blatt	...
12. Zeichnung	...	12. Blatt	...
13. Fertigung	...	13. Blatt	...
14. Zeichnung	...	14. Blatt	...
15. Fertigung	...	15. Blatt	...



## **APENDICE B: Información Relevante**

**TABLA DE TEMPERATURAS DE PUNTO DE FUSIÓN Y PARA VACIAR  
BABBITT**

<b>ASTM grado</b>	<b>Punto de fusión °F (°C)</b>	<b>Temperatura para vaciar °F(°C)</b>
1	433 (223)	825 (441)
2	466 (241)	795 (424)
3	464 (240)	915 (491)
7	464 (240)	640 (338)
8	459 (237)	645 (341)
13	460 (240)	646 (345)
15	479 (248)	662 (350 )

## EL ESPESOR MÍNIMO DE PELÍCULA PERMISIBLE

ítem	Depende de:
1	Grado de acabado de las superficies deslizantes
2	Velocidad de trabajo
3	Rigidez del eje
4	Estructura del cojinete
5	Dilatación térmica esperada
6	Tamaño máximo de partículas contaminantes del lubricante

## JUEGOS PARA CASOS PRÁCTICOS

APLICACIÓN	RPM	Cojinete	ho (pulg.)
Motores y Generadores	500 a 1500	Babbitt	0.0075
Turbogeneradores y Ventiladores (grandes)	1500 a 3600	Babbitt	0.003 a 0.005

Recomendación en función de Tolerancias ISO: D9 a E9

## JUEGOS DE HOLGURAS SEGÚN DIÁMETROS

<b>Juegos Diametrales propuestos para cojinetes en milésimas de mm</b>				
$\Phi$ eje en mm	<b>Ajuste libre (más de 500 rpm)</b>		<b>Ajuste medio(menos 500 rpm)</b>	
	Juego mínimo	Juego máximo	Juego mínimo	Juego máximo
4.75 – 8	15	56	10	35.5
11 – 14.5	23	73.5	15	46
17.5 – 20.5	30.5	91.5	18	53
24 – 27	35.5	100	23	63.5
30 – 35	40.5	112	25.5	71
41 – 47.5	51	132	33.5	84
47.5 – 54	56	137	35.5	86.5
54 – 60.5	61	147	38	89
60.5 – 70	66	157.5	43	99
70 – 82.5	73.5	170	48.5	109
82.5 - 95	81	183	53.5	114
95 – 106	89	195	58.5	124
106 – 120	96.5	203	63.5	130
120 – 140	104	216	66	137
140 – 165	117	238	76	152
165 – 190	130	256	84	160
190 - 215	142	274	91.5	173
215 - 240	154	292	99	186
240 - 265	166	310	106.5	199

**Propiedades físicas:**

Los metales, con la excepción del mercurio, que es líquido, son sólidos a la temperatura ordinaria y tienen todos brillos metálicos y un color casi siempre blanco grisáceo, salvo en los casos del cobre (rojo) y el oro (amarillo). Son de densidad muy variable. Así, el sodio y el potasio flotan en el agua mientras que otros poseen densidades muy elevadas. El magnesio y aluminio son los más ligeros de los metales utilizados en la industria por sus aplicaciones prácticas.

El mejor conductor de electricidad estaño la plata seguido por el cobre.

Hay ciertos metales que tienen la propiedad de ser maleables , lo que significa que se pueden cortar en finísimas láminas como el oro, el estaño y el aluminio; y otros como el hierro y el cobre que son tenaces o resistentes al la ruptura por tracción.

<b>Densidad de algunos metales. (g/cm<sup>3</sup>)</b>			
<b>Osmio</b>	<b>22.48</b>	<b>Cobre</b>	<b>8.7</b>
<b>Platino</b>	<b>21.5</b>	<b>Hierro</b>	<b>7.8</b>
<b>Oro</b>	<b>19.4</b>	<b>Estaño</b>	<b>7.3</b>
<b>Mercurio</b>	<b>13.6</b>	<b>Cinc</b>	<b>6.9</b>
<b>Plomo</b>	<b>11.5</b>	<b>Aluminio</b>	<b>2.6</b>
<b>Plata</b>	<b>10.4</b>	<b>Litio</b>	<b>0.53</b>

<b>Temperatura de fusión de algunos metales.</b>			
<b>Iridio</b>	<b>2350 °C</b>	<b>Plata</b>	<b>962 °C</b>
<b>Platino</b>	<b>1755 °C</b>	<b>Cinc</b>	<b>419 °C</b>
<b>Hierro</b>	<b>1510 °C</b>	<b>Plomo</b>	<b>327 °C</b>
<b>Cobre</b>	<b>1085 °C</b>	<b>Estaño</b>	<b>232 °C</b>
<b>Oro</b>	<b>1064 °C</b>	<b>Mercurio</b>	<b>39 °C</b>

<b>Temperatura de Ebullición de algunos metales.</b>			
<b>Cobre</b>	<b>2.567 °C</b>	<b>Estaño</b>	<b>2.260 °C</b>
<b>Aluminio</b>	<b>2.467 °C</b>	<b>Plomo</b>	<b>1.740 °C</b>
<b>Plata</b>	<b>2.212 °C</b>	<b>Cinc</b>	<b>907 °C</b>

Coeficientes de fricción según lubricación		
ítem	Grado de Lubricación	Coeficiente de fricción
1	De película mixta	0,02-0,08
2	De película delgada	0,08-0,14
3	Nula (en seco)	0,2-0,4

**Donde:**

**Lubricación de película mixta,** Significa lubricación parcialmente hidrodinámica y al límite, como la que podría obtenerse a partir de dispositivos de lubricación por mecha o goteo

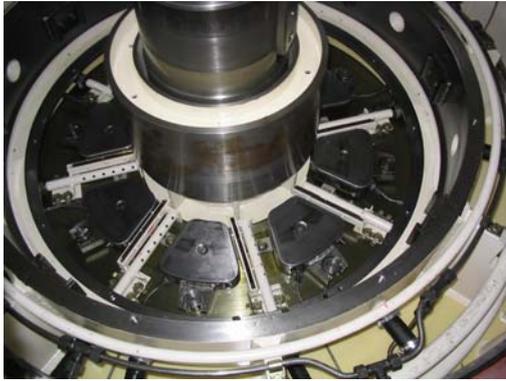
**Lubricación de película delgada,** Es una lubricación al límite, con grasa u otros lubricantes de ácidos grasos

**Lubricación Nula (en seco),** Es la falta total de lubricante (rotación en seco)

**Dureza del Babbitt:** La dureza de este metal con respecto al árbol o eje debe ser por lo menos diez veces menor, eso quiere decir que, si el Babbitt tiene una dureza de 25 HB el eje debe tener una dureza promedio de 250 HB. Con el objetivo de proteger la superficie pulida del eje.

## **APÉNDICE C: EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL BABBITT**





1. Motor de 3700 Hp
2. Consumo de 5000 Kw= 5 Mw.
3. Perdida de emegría total generado = % 0,25= 9,56 Hp=7,0744 Kw.
4. Capacidad de bomba = 24 m<sup>3</sup>/s
5. Motor en posición vertical de 11 metros de largo
6. Usa patines pivotantes revestidos de Babbitt para carga axial y radial independiente
7. Ubicación en el parque del lago, es de propiedad de Interagua el cual le sirve para dar agua a Cerecita, Zapotal y Playas de Villamil.

## **APÉNDICE D: Norma ASTM B 23**

## Standard Specification for White Metal Bearing Alloys (Known Commercially as "Babbitt Metal")<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation B 23, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### Scope

1 This specification covers eight typical white metal bearing alloys, in bar or ingot form, known commercially as "babbitt metal." The alloys are specified, covering the range commercially used, and are designated by the alloy numbers given in Table 1.

2 The values stated in inch-pound units are to be considered as the standard.

3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### Referenced Documents

#### ASTM Standards:

- 1 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>2</sup>  
 2 Methods for Chemical Analysis of White Metal Bearing Alloys<sup>3</sup>

### Ordering Information

Orders for materials under this specification shall include the following information:

- 1 Name of material (white metal bearing alloy),
- 2 Form and nominal weight of individual bars,
- 3 Quantity,
- 4 Alloy number,
- 5 Inspection required (Section 9),
- 6 Certification required (Section 10),
- 7 Marking required (Section 11), and
- 8 ASTM designation and year of issue.

### Materials and Manufacture

The bars or ingots shall be made in accordance with

such practice as to obtain the chemical composition, weight, and dimensions as prescribed in this specification.

4.2 The bars or ingots shall be as uniform in quality as practicable.

### 5. Chemical Composition

5.1 The alloys covered by this specification shall conform to the requirements for chemical composition prescribed in Table 1.

5.2 By agreement between manufacturer and purchaser, analysis may be required and limits established for elements not specified in Table 1.

### 6. Dimensions and Weights

6.1 The babbitt shall be furnished in bars of a convenient weight and size for handling. Unless otherwise agreed upon, no unnotched bar shall exceed 10 lb (4.5 kg) in weight, nor notched bar exceed 15 lb (6.8 kg).

6.2 By mutual agreement, babbitt may be furnished in small round bars about 3.5 in. (90 mm) in diameter.

### 7. Sampling

7.1 Three bars shall be selected to represent a shipment of less than 1000 lb (450 kg), five bars to represent a shipment of 1000 lb to 10 000 lb (4500 kg) inclusive, and ten bars to represent a shipment of over 10 000 lb to one carload.

7.2 Saw cuts shall be made at points in the bars as indicated in Fig. 1. No lubricants shall be used for sawing. The sawings shall be carefully treated with a magnet to remove any particles of steel introduced in taking the sample.

7.3 When babbitt is furnished in bars under 5 lb (2.3 kg) in weight, three bars shall be considered the equivalent of one bar (6.1) for sampling purposes. These may be remelted in a clean utensil at a temperature slightly above the liquidus point of the alloy, mixed thoroughly, poured into a cold mold forming a convenient size bar, and then handled in accordance with 6.2.

7.4 Sawings, thoroughly mixed, shall be separated into three equal portions, each of which shall be placed in a sealed package, one for the manufacturer, one for the purchaser, and one for an umpire, if necessary. Each portion should exceed 0.74 oz (21 g) in weight.

7.5 When bars, by agreement, exceed 15 lb (6.8 kg) in

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee B02 on Metals and Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee B02.01 on Refined Lead, Tin, Antimony, and Their Alloys.

<sup>2</sup> Present edition approved Oct. 10, 2000. Published November 2000. Originally issued as B23 - 26. Last previous edition B23 - 94.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

Reprinted—see 1986 Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.05.

TABLE 1 Chemical Composition<sup>a</sup>—wt% (range or maximum)

Chemical Composition, %	Alloy Number							
	Tin Base				Lead Base			
	1	2	3	11	7	8	13	15
	UNS—L13910	UNS—L13890	UNS—L13840	UNS—L13870	UNS—L53585	UNS—L53565	UNS—L53346	UNS—L53620
	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>	9.3–10.7	4.5–5.5	5.5–6.5	0.8–1.2
Carbon	4.0–5.0	7.0–8.0	7.5–8.5	6.0–7.5	14.0–16.0	14.0–16.0	9.5–10.5	14.5–17.5
	0.35	0.35	0.35	0.50	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>	remainder <sup>b</sup>
Iron	4.0–5.0	3.0–4.0	7.5–8.5	5.0–6.5	0.50	0.50	0.50	0.6
	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
Manganese	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30–0.50	0.30–0.60	0.25	0.8–1.4
Phosphorus	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
Sulfur	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Antimony	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Aluminum	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Other elements, %	99.80	99.80	99.80	99.80				

Alloy Number 9 was discontinued in 1946 and numbers 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, and 19 were discontinued in 1959. A new number 11, similar to SAE Grade 11, was added in 1966. <sup>a</sup>Values in parentheses may be determined by difference.

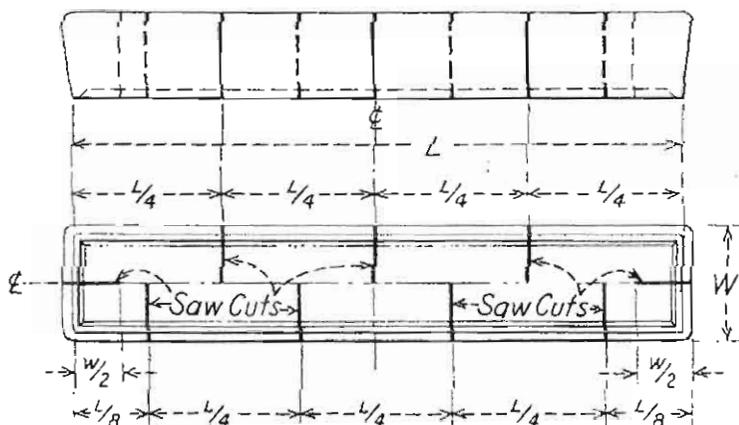


FIG. 1—With notched bars the saw cuts shall be distributed along the bar in a similar manner, avoiding if possible, saw cuts directly through a notch.  
FIG. 1 Method of Sampling Unnotched Bar

...the number of sample bars taken and the sampling procedure shall be by agreement between the manufacturer and purchaser.

**Test Methods**

- 1 In case of dispute, the chemical analysis shall be made in accordance with Methods E 57.
- 2 The method of analysis for cadmium and aluminum in case of dispute shall be as agreed upon between manufacturer and purchaser.
- 3 For purposes of compliance with the specified chemical composition limits, the reported analysis shall be rounded to nearest unit in the right hand place of figures used in expressing the limiting value, in accordance with the rounding method of Practice E 29.

**Inspection**

- 1 Inspection of the material shall be made as agreed upon between the manufacturer and the purchaser as part of the purchase contract.

**10. Rejection and Rehearing**

10.1 Material that fails to conform to the requirements of this specification may be rejected. Rejection should be reported to the producer or supplier promptly and in writing. In case of dissatisfaction with the results of the test, the producer or supplier may make claim for a rehearing.

**11. Certification**

11.1 When specified in the purchase order or contract, a producer's or supplier's certification shall be furnished to the purchaser that the material was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with this specification and has been found to meet the requirements. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

**Product Marking**

2.1 The name or trademark of the manufacturer shall be on each bar. The numerical designation of the alloy applied shall be stamped or cast on each bar for identification.

**13. Keywords**

13.1 Babbit metal; bar; bearing alloys; chemical composition; ingot; lead-tin-antimony alloys; physical properties; tin-antimony-copper alloys

**APPENDIX**

(Nonmandatory Information)

**X1. PROPERTIES OF WHITE METAL BEARING ALLOYS**

X1.1 The data in Table X1.1 do not constitute a part of this specification. They are given merely to indicate to the purchaser the physical properties of the various alloys specified which can be expected of carefully manufactured alloys of the formulas indicated, and to constitute a guide to the purchaser in selecting the grade best suited for meeting the service condition

for which the babbitt metal is to be used. Alloys 1 to 8 were prepared at the National Bureau of Standards from pure Banka tin, high grade "Star" antimony, and a commercially pure lead (99.94 % Pb), and the values given are the results of tests made in the Bureau laboratories. Data on alloy 15 and the liquidus temperature of alloy 1 have been added, based on work at other laboratories. All figures are subject to revision.

**TABLE X1.1 Composition and Physical Properties<sup>A</sup> of White Metal Bearing Alloys**

Alloy Number <sup>B</sup>	Specified Nominal Composition of Alloys, %					Specific Gravity <sup>C</sup>	Composition of Alloys Tested, %				Yield Point, psi <sup>D</sup> (MPa)	
	Tin	Antimony	Lead	Copper	Arsenic		Tin	Antimony	Lead	Copper	68°F (20°C)	212°F (100°C)
1	91.0	4.5		4.5		7.34	90.9	4.52	none	4.56	4400 (30.3)	2650 (18.3)
2	89.0	7.5		3.5		7.39	89.2	7.4	0.03	3.1	6100 (42.0)	3000 (20.6)
3	84.0	8.0		8.0		7.46	83.4	8.2	0.03	8.3	6600 (45.5)	3150 (21.7)
7	10.0	15.0	remainder		.45	9.73	10.0	14.5	75.0	0.11	3550 (24.5)	1600 (11.0)
8	5.0	15.0	remainder		.45	10.04	5.2	14.9	79.4	0.14	3400 (23.4)	1750 (12.1)
15	1.0	16.0	remainder		1.0	10.05						

Alloy Number <sup>B</sup>	Johnson's Apparent Elastic Limit, psi (MPa) <sup>E</sup>		Ultimate Strength in Compression <sup>F</sup>		Brinell Hardness <sup>G</sup>		Melting Point, °F (°C)	Temperature of Complete Liquefaction, °F (°C)	Proper Pouring Temperature, °F (°C)
	68°F (20°C)	212°F (100°C)	68°F (20°C)	212°F (100°C)	68°F (20°C)	212°F (100°C)			
1	2450 (16.9)	1050 (7.2)	12 850 (88.6)	6950 (47.9)	17 0	8.0	433 (223)	700 (371)	825 (441)
2	3350 (23.1)	1100 (7.6)	14 900 (102.7)	8700 (60.0)	24 5	12.0	466 (241)	669 (354)	795 (424)
3	5350 (36.9)	1300 (9.0)	17 800 (121.3)	9900 (68.3)	27.0	14.5	464 (240)	792 (422)	915 (491)
7	2500 (17.2)	1350 (9.3)	15 650 (107.9)	6150 (42.4)	22.5	10.5	464 (240)	514 (268)	640 (338)
8	2650 (18.3)	1200 (8.3)	15 600 (107.6)	6150 (42.4)	20.0	9.5	459 (237)	522 (272)	645 (341)
15					21.0	13.0	479 (248)	538 (281)	662 (350)

<sup>A</sup> The compression test specimens were cylinders 1.5 in. (38 mm) in length and 0.5 in. (13 mm) in diameter, machined from chill castings 2 in. (51 mm) in length and 0.5 in. (13 mm) in diameter. The Brinell tests were made on the bottom of parallel machined specimens cast in a mold 2 in. (51 mm) in diameter and 0.625 in. (16 mm) in length at room temperature.

<sup>B</sup> Data not available on Alloy Numbers 11 and 13.

<sup>C</sup> The specific gravity multiplied by 0.0361 equals the density in pounds per cubic inch.

<sup>D</sup> The values for yield point were taken from stress-strain curves at a deformation of 0.125 % of gage length.

<sup>E</sup> Johnson's apparent elastic limit is taken as the unit stress at the point where the slope of the tangent to the curve is 3/4 times its slope at the origin.

<sup>F</sup> The ultimate strength values were taken as the unit load necessary to produce a deformation of 25 % of the length of the specimen.

<sup>G</sup> These values are the average Brinell number of three impressions on each alloy using a 10-mm ball and a 500-kg load applied for 30 s.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

## BIBLIOGRAFÍA

1. Estándares ASTM American Society for Testing and Materials  
<http://www.astm.org/>
2. Normas SAE Society of Automotive Engineers <http://www.sae.org/>
3. Estándares ASME American Society of Mechanical Engineers  
<http://www.asme.org/>
4. Dudley D. Fuller, Teoría y práctica de la Lubricación, Primera Edición, 1961
5. Joseph Edward Shigley, Diseño en la Ingeniería Mecánica, Segunda Edición, 1979
6. Norton. Diseño de Máquinas. Editorial Prentice Hall, (1999)
7. A. D. SARKAR B., DESGASTES DE METALES, Primera Edición, 1990
8. Felipe A. Calvo, METALOGRAFÍA PRACTICA, Primera Edición, 1972
9. EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S. A., <http://www.eersa.com.ec>
10. UNITED AMERICAN METALS CORP' N, STONEWALL BABBITT & BEARING SPECIALISTS, <http://www.uamet.com-abc.htm>

11. MARYORY ASTRID GÓMEZ BOTERO (2005), CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TRIBOLÓGICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS DUROS, pdf. Barcelona-España 2005
12. Babbitt Bearing Alloys, REFERENCE GUIDE, pdf. 2002
13. Raymond A. Higgins, INGENIERÍA METALÚRGICA. 1980
14. Guía para Elaboración de Tesis de Grado, ( Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Agosto 2001)
15. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 7, 8<sup>th</sup> Edition, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
16. AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE, Volume 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams.
17. Ing. Jorge A. Muñoz Martínez, “Uso de Material Compuesto en chapas para Cojinetes” (Tesis Facultad De Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica Del Litoral, año 1999).
18. Ing. Fernando Araujo, seminario de Lubricación y Lubricantes, (Escuela Superior Politécnica Del Litoral, año 2007)
19. Ing. José Miguel Díaz Díaz, Ing. Francisco Lafargue, COMPORTAMIENTO FRICCIONAL DE MATERIALES DE COMPOSICIÓN SINTERIZADOS ANTIFRICCIÓN Cu-Sn-C, (TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXIV, No.3, 2004).