



**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO DE GRADO**



AUTOR DEL PROYECTO: Elkin Barajas Díaz
CÓDIGO: 65032037
CEDULA: 80197461 de Bogotá
TELÉFONO: 314-4253034
CORREO ELECTRÓNICO: Elkin.barajasd@unilibrebog.edu.co



AUTOR DEL PROYECTO: John Jairo Costo Bejarano
CÓDIGO: 065091029
CEDULA: 1026560059 de Bogotá
TELÉFONO: 320-8701777
CORREO ELECTRÓNICO: johnj.costob@unilibrebog.edu.co



**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO EN LAS
ALEACIONES BRONCE SAE 64 Y LATÓN 60-40 POR MEDIO DE ENSAYO DE
DUREZA, MICRODUREZA Y PRUEBAS DE DESGASTE PIN ON DISK.**

DIRECTOR: Ingeniero Mauricio Alejandro Sierra Cetina
PROFESIÓN: Ingeniero Mecánico
CORREO ELECTRÓNICO: mauricioa.sierrac@unilibrebog.edu.co
TEMA Y ÁREA DE INVESTIGACIÓN: Materiales, Ensayos mecánicos.

AUTORES DEL PROYECTO

DIRECTOR DE PROYECTO

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO EN LAS
ALEACIONES BRONCE SAE 64 Y LATÓN 60-40 POR MEDIO DE ENSAYO DE
DUREZA, MICRODUREZA Y PRUEBAS DE DESGASTE PIN ON DISK**

PRESENTADO POR

ELKIN BARAJAS DIAZ

JOHN JAIRO COSTO BEJARANO

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERÍA.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ 2016

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO EN LAS
ALEACIONES BRONCE SAE 64 Y LATÓN 60-40 POR MEDIO DE ENSAYO DE
DUREZA, MICRODUREZA Y PRUEBAS DE DESGASTE PIN ON DISK**

PRESENTADO POR

ELKIN BARAJAS DIAZ

JOHN JAIRO COSTO BEJARANO

DIRECTOR

MAURICIO ALEJANDRO SIERRA CETINA

INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERÍA.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ 2016

AGRADECIMIENTOS.

En la realización de este proyecto han intervenido muchas personas directa e indirectamente, desde cada uno de nuestros familiares y amigos, también las personas encargadas de los equipos que se utilizaron para realizar las pruebas contempladas por la investigación.

A los docentes que paso a paso nos dieron las nociones que se han usado para llevar a cabo los racionamientos aquí planteados, al personal de la universidad y a la vida misma que nos ha llevado a encontrarnos en este proceso, a Dios o energía que rige todo lo que pasa en el mundo. Infinitas gracias a todos.

Tabla de contenido

1	TÍTULO DEL PROYECTO	12
2	INTRODUCCIÓN.....	12
3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
3.1	Antecedentes del problema.	13
3.2	Formulación del problema.....	14
3.3	Descripción del problema.....	14
4	JUSTIFICACIÓN.....	15
5	OBJETIVOS	15
5.1	Objetivo general.....	15
5.2	Objetivos específicos	15
6	MARCO REFERENCIAL	16
6.1	Marco teórico	16
6.1.1	Historia acerca de las aleaciones de cobre.	16
6.1.2	Generalidades acerca de las aleaciones de cobre.	16
6.1.3	Influencia de los elementos en las aleaciones de cobre.	17
6.1.4	Criogenia, generalidades y tratamiento en materiales.	21
6.2	Marco conceptual	22
6.3	Estado del arte.....	23
6.4	Marco legal y normativo	27
7	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
7.1	Tipo de investigación.	27
7.2	Metodología	28
7.2.1	Recopilación y análisis de la literatura científica del tema.	29
7.2.2	Realización de pruebas piloto y diseño de experimentos	29
7.2.3	preparación de las probetas.	34
7.2.4	Predimensionamiento de las probetas.....	34
7.2.5	Ejecución del tratamiento criogénico.	35
7.2.1	Post dimensionamiento de las probetas.	35

7.2.1	Preparación de las probetas y análisis metalográfico.	36
7.2.1	Ensayo de dureza brinell y micro.....	38
7.2.2	dureza vickers.	38
7.2.1	ANÁLISIS (SEM)	39
7.2.1	Ensayo de desgaste abrasivo pin on disk.....	40
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
8.1	Análisis metalográfico	41
8.1.1	Latón 60-40	41
8.1.2	Bronce SAE 64.....	45
8.2	Microscopia óptica de barrido (SEM)	47
8.2.1	Bronces SAE 64	47
8.2.1	Latón 60-40	58
8.2.2	Tamaño de grano latón 60-40	64
8.3	Dimensionamiento probetas	66
8.4	Durezas Vickers.....	67
8.4.1	Bronce SAE 64.....	67
8.4.2	Latón 60-40	68
8.5	Dureza brinell.....	69
8.5.1	Bronce SAE 64	69
8.5.2	Latón 60-40	70
8.6	Ensayo pin on disk.....	72
8.6.1	Bronce SAE 64.....	72
8.6.2	LATÓN 60-40	81
9	CONCLUSIONES	90
10	REFERENCIAS.....	91
11	ANEXOS.....	93

INDICÉ DE TABLAS.

TABLA 1 DATOS DE MICRO DUREZAS TOMADAS EN EL BRONCE SAE 64	29
TABLA 2 DATOS DE MICRO DUREZAS TOMADAS EN EL LATÓN 60-40	30
TABLA 3 MICRO DUREZA PROMEDIO DE CADA TIEMPO.....	30
TABLA 4 PROCEDIMIENTO PARA MUESTRAS	31
TABLA 5 MICRO DUREZA MEDIA DE CADA TIEMPO.....	32
TABLA 6 PROCEDIMIENTO PARA MUESTRAS	33
TABLA 7 PROCEDIMIENTO TRATAMIENTO CRIOGENICO PARTE 1.....	34
TABLA 8 PROCEDIMIENTO TRATAMIENTO CRIOGENICO PARTE 2.....	35
TABLA 9 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS Y ANÁLISIS METALOGRÁFICO PARTE 1.....	36
TABLA 10 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS Y ANÁLISIS METALOGRÁFICO PARTE 2.....	37
TABLA 11 ENSAYO DE DUREZA BRINELL Y MICRO DUREZA VICKERS	38
TABLA 12 ANALISIS (SEM)	39
TABLA 13 ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO PIN ON DISK	40
TABLA 14 COMPARACIÓN ENTRE UNA METALOGRAFÍA DE LATÓN 60-40 OBTENIDA DEL PROYECTO Y UNA IMAGEN MOSTRADA POR LIBRO METALS HANDBOOK 8TH EDITION	41
TABLA 15 COMPARACIÓN. TAMAÑO DE GRANO PROBETAS LATÓN.....	44
TABLA 16 COMPARACION ENTRE METALOGRAFIA DE BRONCE SAE 64 Y IMAGEN OBTENIDAD DEL: METALS HANDBOOK 8TH EDITION.....	45
TABLA 17 TAMAÑO DE GRANO LATÓN 60-40 ASTM.....	65
TABLA 18 DIMENSIONAMIENTO PROBETASFUENTE: AUTORES DEL PROYECTO	66
TABLA 19. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL BRONCE SAE 64.	67
TABLA 20. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL LATÓN 60-40 ...	68
TABLA 21. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL BRONCE SAE 64.	70
TABLA 22. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL LATÓN 60-40 ...	71
TABLA 23 PARÁMETROS ENSAYO PIN ON DISK.....	72
TABLA 24 ANÁLISIS DE HUELLA BRONCE SAE 64 PROBETA PATRÓN.	73
TABLA 25 ANÁLISIS DE HUELLA BRONCE SAE 64 A 120 HORAS.....	75
TABLA 26 ANÁLISIS DE HUELLA BRONCE SAE 64 A 240 HORAS.....	77
TABLA 27 ANÁLISIS DE HUELLA BRONCE SAE 64 A 360 HORAS.....	79

TABLA 28 MASA REMOVIDA PROBETAS BRONCE SAE 64. ENSAYO PIN ON DISK	80
TABLA 29 COMPARACIÓN PERDIDA DE MATERIAL BRONCE SAE 64	80
TABLA 30 ANÁLISIS DE HUELLA LATÓN 60-40 A PROBETA PATRON.	82
TABLA 31 ANÁLISIS DE HUELLA LATÓN 60-40 A 120 HORAS.	84
TABLA 32 ANÁLISIS DE HUELLA LATÓN 60-40 A 240 HORAS.	86
TABLA 33 ANÁLISIS DE HUELLA LATÓN 60-40 A 360 HORAS.	88
TABLA 34 MASA REMOVIDA PROBETAS LATÓN 60-40. ENSAYO PIN ON DISK ...	89
TABLA 35 COMPARACIÓN DE MATERIAL REMOVIDO LATÓN 60-40	89

INDICÉ DE GRAFICAS.

GRAFICA 1 VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO ENTRE LA PROBETA PATRÓN Y LOS TIEMPOS DE PERMANENCIA DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO. DEL LATÓN 60-40.....	44
GRAFICA 2. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL BRONCE SAE 64.	67
GRAFICA 3. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL LATÓN 60-40 ...	69
GRAFICA 4. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL BRONCE SAE 64.	70
GRAFICA 5. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROBETAS EXPUESTAS AL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO Y LA PROBETA PATRÓN DEL LATÓN 60-40....	71
GRAFICA 6 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA PATRÓN BRONCE SAE 64	72
GRAFICA 7 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA A 120 HORAS BRONCE SAE 64	74
GRAFICA 8 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA A 240 HORAS BRONCE SAE 64	76
GRAFICA 9 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA A 360 HORAS BRONCE SAE 64	78
GRAFICA 10 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA PATRÓN LATÓN 60-40.....	81
GRAFICA 11 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA PATRÓN A 120 HORAS 60-40.....	83
GRAFICA 12 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA A 240 HORAS LATÓN 60-40.....	85
GRAFICA 13 DISTANCIA VS COEFICIENTE DE FRICCIÓN PROBETA 360 HORAS LATÓN 60-40.....	87

INDICÉ DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1 COMPARACIÓN DESGASTE MATERIAL TRATADO Y MATERIAL NO TRATADO	25
ILUSTRACIÓN 2 METODOLOGÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	28
ILUSTRACIÓN 3 METALOGRAFÍA LATÓN 60-40 A 1000 X.....	41
ILUSTRACIÓN 4. METALOGRAFÍA DEL LATÓN	41
ILUSTRACIÓN 5 COMPARACIÓN DEL LATÓN 60-40 A 500 X EN LOS TIEMPOS DE ANÁLISIS	42
ILUSTRACIÓN 6 COMPARACIÓN DEL LATÓN 60-40 A 1000X EN LOS TIEMPOS DE ANÁLISIS	43
TAMAÑO DE GRANO ILUSTRACIÓN 7 SE MUESTRA UNA PORCIÓN DE LA IMAGEN QUE PROPORCIONA EL SOFTWARE MOTIC IMAGES PLUS 2.0 DONDE DAN LAS DIMENSIONES DEL GRANO MEDIDO.....	43
ILUSTRACIÓN 8 METALOGRAFÍA DE BRONCE SAE 64 A 100X.....	45
ILUSTRACIÓN 9 METALOGRAFÍA BRONCE ALEADO.....	45
ILUSTRACIÓN 10 COMPARACIÓN DEL BRONCE SAE 64 A 500X EN LOS TIEMPOS DE ANÁLISIS.....	46
ILUSTRACIÓN 11 COMPARACIÓN DEL BRONCE SAE 64 A 1000X EN LOS TIEMPOS DE ANÁLISIS.....	46
ILUSTRACIÓN 12 COMPARACIÓN ANÁLISIS SEM A 3000X.....	47
ILUSTRACIÓN 13 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA PATRÓN A 3000X	48
ILUSTRACIÓN 14 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 120 HORAS A 3000X	49
ILUSTRACIÓN 15 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 240 HORAS A 3000X	50
ILUSTRACIÓN 16 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 360 HORAS A 3000X	51
ILUSTRACIÓN 17 COMPARACIÓN DEL BRONCE SAE 64	52
ILUSTRACIÓN 18 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA PATRÓN A 5000X	53
ILUSTRACIÓN 19DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 120 HORAS A 5000X	54
ILUSTRACIÓN 20 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 240 HORAS A 5000X	55
ILUSTRACIÓN 21 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 360 HORAS A 5000X	56
ILUSTRACIÓN 22 ANÁLISIS QUÍMICO BRONCE SAE 64	57
ILUSTRACIÓN 23 COMPARACIÓN DE PROBETAS DE LATÓN 60-40 A 3000X (SEM)	58

ILUSTRACIÓN 24 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA PATRÓN A 3000X	59
ILUSTRACIÓN 25 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETAS A 120 HORAS A 3000X.....	60
ILUSTRACIÓN 26 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETA A 240 HORAS A 3000X	61
ILUSTRACIÓN 27 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PROBETAS A 360 HORAS A 3000X.....	62
ILUSTRACIÓN 28 ANÁLISIS QUÍMICO LATÓN 60-40.....	63
ILUSTRACIÓN 29 TAMAÑO DE GRANO LATÓN 60-40 ASTM	64
ILUSTRACIÓN 30. HUELLA GENERADA POR EL ENSAYO PIN ON DISK PARA EL BRONCE SAE 64 PROBETA PATRÓN.....	73
ILUSTRACIÓN 31. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A PROBETA PATRÓN.....	73
ILUSTRACIÓN 32. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE BRONCE SAE 64 PROBETA PATRÓN.....	73
ILUSTRACIÓN 33. HUELLA GENERADA POR EL ENSAYO PIN ON DISK PARA EL BRONCE SAE 64 A 120 HORAS.....	75
ILUSTRACIÓN 34. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A 120 HORAS.....	75
ILUSTRACIÓN 35. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE BRONCE SAE 64 A 120 HORAS.....	75
ILUSTRACIÓN 36. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A 240 HORAS.....	77
ILUSTRACIÓN 37. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A 240 HORAS.....	77
ILUSTRACIÓN 38. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE BRONCE SAE 64 A 240 HORAS.....	77
ILUSTRACIÓN 39. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A 360 HORAS.....	79
ILUSTRACIÓN 40. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS BRONCE SAE 64 A 360 HORAS.....	79
ILUSTRACIÓN 41. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE BRONCE SAE 64 A 240 HORAS.....	79
ILUSTRACIÓN 42. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 PROBETA PATRÓN.....	82
ILUSTRACIÓN 43. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 PROBETA PATRÓN.....	82
ILUSTRACIÓN 44. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE LATÓN 60-40 PROBETA PATRÓN.....	82

ILUSTRACIÓN 45. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 120 HORAS.....	84
ILUSTRACIÓN 46. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 120 HORAS.....	84
ILUSTRACIÓN 47. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE LATÓN 60-40 A 120 HORAS.....	84
ILUSTRACIÓN 48. PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 240 HORAS.	86
ILUSTRACIÓN 49. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 240 HORAS.....	86
ILUSTRACIÓN 50. ILUSTRACIÓN 68. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE LATÓN 60-40 A 240 HORAS.....	86
ILUSTRACIÓN 51. PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 360 HORAS.	88
ILUSTRACIÓN 52. ANÁLISIS PROFUNDIDAD DE HUELLAS LATÓN 60-40 A 360 HORAS.....	88
ILUSTRACIÓN 53. ILUSTRACIÓN 68. MODELAMIENTO DE LA HUELLA DE LATÓN 60-40 A 360 HORAS.....	88

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1 PROBETAS CORTADAS Y PREPARADAS PARA EL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO.....	34
IMAGEN 2 TORNILLO MICROMÉTRICO.....	34
IMAGEN 3 TERMO CRIOGÉNICO.....	35
IMAGEN 4 PROBETAS Y PORTA PAJILLAS.....	35
IMAGEN 5 PROBETAS Y PORTA PAJILLAS.....	35
IMAGEN 6 PROBETAS PROCESO DE PULIDO.....	36
IMAGEN 7 ETIQUETA DE FRASCO CONDE SE MUESTRA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN COLOIDAL.....	36
IMAGEN 8 SE MUESTRA UNA PROBETA EN PROCESO DE PULIDO.....	36
IMAGEN 9 SE MUESTRA UNA PROBETA DE BRONCE SAE 64 PULIDA.....	37
IMAGEN 10 SE MUESTRA UNA PROBETA DE LATÓN 60-40 PULIDA.....	37
IMAGEN 11 SECADO DE PROBETAS.....	37
IMAGEN 12 MICROSCOPIO ÓPTICO CONVENCIONAL.....	37
IMAGEN 13 MICRO DURÓMETRO SHIMADZU.....	38
IMAGEN 14 HUELLA VISTA DESDE EL MICRO DURÓMETRO SHIMADZU.....	38
IMAGEN 15 BRINELL, ROCKWELL & VICKERS OPTICAL HARDNESS TESTER TH722.....	38
IMAGEN 16 EQUIPO PARA REALIZAR (SEM).....	39
IMAGEN 17 PORTA PROBETAS EQUIPO (SEM).....	39
IMAGEN 18 PORTA PROBETAS TRIBÓMETRO PIN ON DISK.....	40
IMAGEN 19 TRIBÓMETRO PIN ON DISK.....	40
IMAGEN 20 BALANZA ANALÍTICA.....	40
IMAGEN 21 MICROSCOPIO ÓPTICO DE ALTA RESOLUCIÓN LEICA CON LENTE VZ80 DE 400X.....	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 ENUNCIADO DE LA PROBABILIDAD.....	31
ECUACIÓN 2 ENUNCIADO DE LA PROBABILIDAD.....	32

ÍNDICE DE ANEXOS.

ANEXO 1 FACTURA DE COMPRA DE BRONCE SAE 64 Y LATÓN	93
ANEXO 2 RECIBO DE ALQUILER DEL TERMO CRIOGÉNICO Y COMPRA DE 20 LT DE NITRÓGENO LIQUIDO.....	94
ANEXO 3 FACTURA DE COMPRA SUSPENSIÓN METALOGRAFICA	95
ANEXO 4 FACTURA SERVICIO SEM UNIVERSIDAD ANDES	96
ANEXO 5 FACTURA DE PAGO DE SERVICIOS INCITEMA.....	97

1 TÍTULO DEL PROYECTO

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO EN LAS ALEACIONES BRONCE SAE 64 Y LATÓN 60-40 POR MEDIO DE LOS ENSAYOS DE DUREZA, MICRODUREZA Y PRUEBAS DE DESGASTE PIN ON DISK.

2 INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas de los materiales en la industria son de gran interés ya que de acuerdo a los requerimientos que se tengan se hace necesario modificar una u otra para que los elementos que se elaboran con dichos materiales cumplan con las características de dureza y resistencia al desgaste que se esperan. Ahora bien, la resistencia al desgaste y la dureza son dos propiedades mecánicas de mucho interés en los materiales que están sometidos a contacto, ya que la fricción hace que su tiempo de vida útil se reduzca. El bronce SAE 64 y el latón 60-40 son aleaciones de cobre comerciales que por presentar una alta resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas favorables ante el desgaste son usadas en la industria para elementos sometidos a fricción como engranajes, bujes, cojinetes, chumaceras, elementos de grifería y bombas, radiadores, elementos de sujeción o elementos deslizantes. Pero sus propiedades de resistencia al desgaste tienen un límite dado por su proceso de manufactura y así pues surge la pregunta, ¿qué se puede hacer para ayudar a mejorar estas propiedades?

Existen una amplia gama de tratamientos que pueden aplicar a las aleaciones de cobre para aumentar sus propiedades mecánicas, pero este estudio se centra en el tratamiento criogénico, un tratamiento que consiste en bajar la temperatura del material hasta -196 grados centígrados (77° K) temperatura de ebullición del nitrógeno líquido y sostenerlo ahí durante un tiempo establecido y luego dejar que vuelva a temperatura ambiente. El crio- proceso se realizó para poder observar que cambios pueden sufrir estas aleaciones bajo las condiciones de frío extremo. Esto para que sirva como guía en la búsqueda de cualidades que puedan ser requeridas posteriormente.

En el ámbito científico se ha visto como este tratamiento criogénico ha tenido una respuesta favorable en los aceros que han mostrado cambios significativos en las propiedades de resistencia al desgaste y dureza, así pues, se ha puesto la vista en otros materiales metálicos, cerámicos y compuestos, a los que también es posible realizarles criogenia, que pueden tener cambios representativos al ser aplicado el tratamiento y ampliar el espectro de aplicaciones de cada uno de estos.

Una gran cantidad de estudios se han realizado dentro del ámbito académico que no dejan una estandarización del método con el cual este tratamiento debe ser ejecutado, dejando muchas variables al aire tales como la tasa de enfriamiento y el tiempo de permanencia al cual el material debe someterse para lograr determinadas características, esto se evidencia aún más en los materiales en los cuales no se ha ahondado en la investigación.

Este proyecto, aunque no busca dar solución a todas las incógnitas; pretende establecer unas condiciones fijas para realizar el tratamiento, las cuales son: una tasa de enfriamiento lo más rápido posible por convección entre el material y el nitrógeno y unos tiempos prolongados de 120, 240 y 360 horas de permanencia, dejando la evidencia de lo que sucede en las aleaciones de cobre mencionadas si el tratamiento se realiza de esta manera, basados en pruebas comparativas entre el material en estado de entrega de las propiedades mecánicas de interés que son la dureza y la resistencia al desgaste, además de la observación metalográfica y así cubrir esta parte de interés.

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Antecedentes del problema.

Los tratamientos térmicos criogénicos son relativamente nuevos y aún en investigación si son comparados con los tratamientos convencionales en aceros y aún más novedosos si se piensa en otro tipo de aleaciones y materiales diversos.

En el primer referente histórico está el acero que se producía en Suiza, el cual por estar bajo la influencia de las bajas temperaturas propias de los Alpes tendía a tener mejores propiedades que otros aceros, ubicando a Suiza como uno de los países con un acero de alta calidad en el mundo. Luego, de la mitad del siglo XIX y hasta casi llegar al siglo XX, el desarrollo de técnicas de enfriamiento basándose en los hallazgos de los gases licuados dieron origen a la experimentación de este tratamiento en los aceros para mejorar propiedades. Hacia 1937 se tuvo reporte de los aportes que tiene el tratamiento en frío en los aceros para herramientas. [18]

Con el desarrollo y el acceso al nitrógeno líquido llegó el auge de este tratamiento y cada vez más se controlaban las variables para asegurar que los tratamientos garantizaran cambios significativos y se dejaran de realizar empíricamente. La academia alrededor del mundo se ha interesado en investigar acerca de este tratamiento.

Finalmente, en el artículo de Richard N. Wurzbach y William DeFelice que lleva por título, *“Improving component wear performance through cryogenic treatment”*, se encuentra una referencia puntual de una problemática real de la industria, donde en una fábrica de papel el impulsor de bronce de una bomba tenía que ser cambiado cada tres meses por

su alto grado de desgaste provocado por la cavitación debido a sus condiciones de operación; el artículo resalta que el rediseño no era una opción rentable y que se podría cambiar el impulsor por uno más costoso en acero inoxidable, pero al final aplicaron un tratamiento de endurecimiento superficial y un tratamiento criogénico y lograron aumentar la resistencia al desgaste del elemento y con esto su vida útil.

Esta evidencia tiene repercusión en la aplicación a los elementos sometidos a rozamiento de bronce y latón. Generalmente, estos bujes están sometidos a carga, pero no tienen las mismas condiciones de lubricación con grasa o cojinetes lubricados con aceite. Tales piezas tienen una vida útil corta y allí es donde la aplicación de un tratamiento criogénico puede ayudar para que estos mecanismos duren más.

3.2 Formulación del problema.

Las aleaciones de bronce y latón son muy solicitadas para piezas mecánicas debido a que poseen características que le permiten soportar las fuerzas como las de fricción que a largo tiempo pueden generar problemas como desgaste y grietas.

En el siglo pasado se desarrolló una técnica que usa nitrógeno líquido para modificar propiedades mecánicas como la resistencia al desgaste y la dureza en los aceros; a partir de esta situación se genera la pregunta de ¿Cómo puede influir este mismo tratamiento en las aleaciones de cobre como el bronce y el latón? [16]

3.3 Descripción del problema.

Los elementos mecánicos sometidos a contacto directo metal contra metal están expuestos a diferentes esfuerzos que pueden ocasionar la reducción de la vida útil y en algunos casos hasta su falla. Uno de estos fenómenos es la fricción que es la principal causa del desgaste de los elementos, para controlar esto, se hace todo lo posible para diseñar y ajustar los mecanismos que se encuentran en contacto constante aplicando una lubricación adecuada. Además de esto, las condiciones ambientales son un factor que genera pérdida de material por acción de la corrosión y todo esto sumado genera una problemática cuando la adecuación de los equipos no parece funcionar. La ingeniería es la que debe dar soluciones, en cuanto a resistencia al desgaste se refiere.

Las aleaciones de cobre (bronce y latón) son muy solicitadas en el sector de transporte de fluidos por tuberías en piezas mecánicas como bombas y válvulas, también en sistemas de transmisión de potencia en elementos como son los engranajes debido a que poseen características que le permiten soportar la corrosión y en menor medida las fuerzas como las de fricción que a largo tiempo pueden generar problemas como desgaste, lo que se busca es aumentar la dureza de estas aleaciones lo que supone un aumento en la resistencia al desgaste, usando un tratamiento térmico que se ha venido estudiando en los últimos años y que puede hacer que esto se dé en dichas aleaciones. Se puede

pensar en que el tratamiento criogénico puede dar una alternativa rentable para aumentar estas propiedades.

4 JUSTIFICACIÓN

Se va a realizar un tratamiento criogénico en las aleaciones de cobre (Bronce SAE 64 y Latón 60-40), con el propósito de ver qué cambios ocurren en las propiedades de dureza y resistencia al desgaste. Estos cambios se analizarán por medio de metalografías durezas a escala macro y micro y finalmente pruebas de desgaste por medio del método pin on disk.

Este estudio se desarrolla con el fin de observar las transformaciones que se generan en las aleaciones de cobre, Bronce SAE 64 y Latón 60-40, como resultado de la aplicación del tratamiento térmico criogénico y cómo estas transformaciones generan cambios en las propiedades mecánicas de resistencia al desgaste y dureza. El estudio centra su atención en aleaciones de cobre (Bronce SAE 64 y Latón 60-40) debido a que estos materiales por su resistencia a la corrosión son usados en la industria para la fabricación de piezas que tengan que estar expuestas a ambientes agresivos.

Este proyecto se lleva a cabo para establecer que propiedades mecánicas de las mencionadas anteriormente se ven afectadas por el tratamiento criogénico, ya sea que aumenten o disminuyan.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Analizar la influencia del tratamiento criogénico en las aleaciones bronce sae 64 y latón 60-40 por medio de los ensayos de dureza, microdureza y pruebas de desgaste pin on disk.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar caracterización microestructural por medio de microscopia óptica convencional de Bronce SAE 64 y Latón 60-40 antes y después del tratamiento criogénico.
- Efectuar caracterización mecánica de dureza, microdureza pruebas de desgaste pin on disk en Bronce SAE 64 y Latón 60-40 antes y después del tratamiento criogénico.
- Establecer el cambio en las propiedades mecánicas de dureza y resistencia al desgaste de los materiales antes y después del tratamiento criogénico mediante la comparación de resultados

6 MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco teórico

6.1.1 Historia acerca de las aleaciones de cobre.

La historia indica que este metal tuvo incidencia en la evolución de la cultura del ser humano, a esta época la llaman “edad de bronce”. Se estima que se dio en el año 1800 A.C. los investigadores ubican geográficamente en Chipre (Europa) el lugar donde se situaron las minas más importantes de cobre. En donde se encontraba el cobre en forma de metal libre.

Tiempo después para poder obtener cobre se debía recolectar el mineral de cobre luego molerlo y mezclarlo con carbón de leña para después fundirlo en hornos que era revestidos de arcilla los cuales tenían cavidades para inyectar aire por medio de fuelles que se fabricaban de pieles de animales generalmente domésticos.

Por esa misma época los egipcios también habían aprendido a manipular el cobre y hacían uso de él. Ellos se dieron cuenta que ciertas impurezas que hacían parte del cobre afectaban sus propiedades.

Aunque el origen del bronce (cobre + estaño) a ciencia cierta se desconoce algunos autores enlazan a los egipcios con este descubrimiento.

En la actualidad se ha detectado que en lugares como (Turquestán, en Siam Asia, País de Gales y España) existieron minas en las que se encontraban cobre y estaño mezclado Cuando se dominó la técnica de fusión las personas comenzaron a especializarse y a elaborar estatuas, armas, artículos que servían como herramientas. Otras de las aleaciones importantes es el latón (cobre+zinc) la cual se ubica su uso en roma cuando existió el emperador Augusto cerca del año 20 A.C. [13]

6.1.2 Generalidades acerca de las aleaciones de cobre.

Cobre y sus aleaciones. [13]

Para poder llevar a cabo la fundición de estas aleaciones es necesario conocer la cantidad y la calidad de fundentes, desoxidantes y desgasificantes. Hoy en día la industria nos exige productos de alta calidad en los cuales se va a reflejar el conocimiento y calidad de materiales. Aunque el proceso de fusión tiene gran influencia en la obtención de piezas de alta calidad se debe saber que también las técnicas de moldeo, mecanizado y acabados tienen incidencia.

El cobre es un metal no ferroso de color rojizo, con un punto de fusión de 1083 °C es un material maleable y dúctil, el cobre en estado recocido tiende a no tener límite de

alargamiento. Es muy solicitado en la industria eléctrica por su alta conductividad eléctrica.

6.1.3 Influencia de los elementos en las aleaciones de cobre.[13]

Cada aleante cumple una función al momento de hacer parte de una aleación a continuación se hablará de cada elemento aleante y su influencia.

Estaño: crea estabilidad a la corrosión de la aleación, aumenta las propiedades mecánicas y de. Es un elemento que se usa para endurecer la aleación.

Zinc: actúa como endurecedor, aumenta las propiedades mecánicas, facilita la soldadura. Funciona como desoxidante, el zinc mejora la fluidez y la colabilidad de las aleaciones. Aumenta la resistencia a la corrosión en los bronce al magnesio, pero causa porosidades en la soldadura de estas piezas.

Plomo: es usado para aumentar las propiedades de antifricción de la aleación. También se usa junto con el silicio con el fin de ser aplicado en aleaciones de cobre para crear una capa de óxido que es impermeable y resistente y evita la oxidación profunda dentro de las piezas, aunque provoca en algunas ocasiones la salida de los gases en el desgacificado

Níquel: tiene como función elevar las propiedades mecánicas y de antifricción, (aumenta la resistencia a la tracción y el alargamiento). Mejora la estructura en los bronce con plomo mejora la estructura.

Hierro: tiene como características disminuir el tamaño del grano Incrementar la dureza y resistencia. Cuando se aplica en porcentajes mayores al 0.2% en bronce rojos se produce partículas duras y conllevan a la formación de (ORIN) la cual es una Capa porosa, quebradiza y de color rojizo de óxido de hierro, que se forma al exponer la pieza a la humedad y al aire.

Fosforo: se usa como desoxidante, también incrementa la dureza, reduce el tamaño de grano y mejora la fluidez de los bronce rojos.

El fosforo de cobre es relativamente frágil y duro, aumenta la dureza brinell,

Silicio: no se recomienda su uso en bronce rojos ni en bronce al manganeso pues les produce fases quebradizas. El silicio es una impureza muy peligrosa ya que afecta la cristalización característica de la aleación Aluminio

Aluminio: cuando se usa como constituyente principal en aleaciones de bronce se hace con el fin de aumentar la resistencia al desgaste, es un material perjudicial para bronce rojos. Pues afecta su resistencia a la tracción además produce inclusiones de óxido.

Magnesio: no se recomienda aplicarlo en bronce rojos. Para bronce al aluminio es usado como desoxidante.

Azufre: es usado en cantidades que no exceden al 0.8% lo que permite que reaccione el bronce con el dióxido de azufre que se encuentra en la atmósfera de los hornos.

Bismuto: es un causante de grietas intercristalinas en los bronce pues tiene la cualidad que cuando se calienta se contrae y cuando se solidifica se expande.

Carbono: se utiliza con el fin evitar la penetración de gases en las aleaciones de cobre puro y bronce rojos. Aunque es recomendable no utilizarlo en aleaciones de bronce al manganeso pues produce zonas quebradizas y fracturas en la superficie de las piezas.

Las aleaciones a base de cobre las podemos dividir en dos grandes grupos:

6.1.3.1 El bronce, aleaciones Cu-Sn.[13]

Se forma al fusionar el cobre con estaño. Se alean con otros elementos como son el plomo y el zinc que tienen como función incrementar las propiedades físicas de estas aleaciones. El estaño incrementa la dureza y resistencia al desgaste en la aleación. Se usan para fabricar casquillos y tapones, tubos flexibles, manguitos, cojinetes, varillas para soldadura etc.

Bronces de estaño: El estaño tiene como función elevar las propiedades mecánicas de la aleación también mejora las propiedades de fundición.

Este tipo de aleaciones se conoce como bronce de cañones o Gunmetal. Su aplicación generalmente es en cojinetes y accesorios para grifería.

Bronces fosforosos: Tiene estaño entre un 5% a un 15% y fósforo de un 0.15% a un 1%, se usa para construir engranajes y cojinetes debido a su resistencia al desgaste y dureza. Por otra parte el fósforo tiene como función actuar como desoxidante y mejorar la resistencia a la corrosión.

Bronces al plomo: Son usadas principalmente por su propiedad de antifricción. Tienen cerca de un 40% de plomo y su gran problema es conseguir aleaciones homogéneas debido a que el cobre y el plomo tienen distintos puntos de fusión y peso específico.

Bronces al aluminio: Su color varía desde rojo hasta amarillo, su cualidad es tener gran resistencia al desgaste, cuando se funde genera una gran cantidad de escoria también forma óxido de aluminio el cual forma inclusiones en la pieza.

El plomo ayuda para la maquinabilidad de esta aleación, el zinc ayuda a disminuir la película de óxido de aluminio.

6.1.3.2 Latones, aleaciones Cu-Zn.[5]

Dentro del diagrama cobre-cinc hasta un contenido aproximado del 40% de Zn, se puede encontrar la fase de solución sólida α con una estructura FCC. De igual manera, se puede observar una fase β (aproximadamente 50% de Zn a 200°C y un contenido del 40 al 55% de Zn a 800°C) con una estructura BCC. Al contar con una cantidad similar de átomos de cobre y cinc, organizados de forma arbitraria en la estructura cristalina centrada en el cuerpo, la fase β , al superar los 455-470°C resulta ser muy dúctil. Al bajar la temperatura de este rango la fase β se convierte en una fase β' , la cual es ordenada al poner un átomo de cinc en el centro y los átomos de cobre en los vértices del cubo. Haciendo que esta fase β' sea difícil de deformar en frío. [5]

Latones α : Latones que cuentan con un contenido del 5 al 35% de cinc, este elemento es el que da a estas aleaciones la resistencia a la tensión cuando se encuentran en estado recocido. Se pueden obtener un espectro de estas aleaciones variando el contenido de cinc, que se prestan para su deformación en frío, y cuentan con resistencia mecánica y a la corrosión.

Los diferentes elementos de aleación que pueden ser incluidos, además de las impurezas, tienden a modificar las propiedades de los latones α :

Aluminio: incrementa la resistencia mecánica a la vez que aumenta la resistencia a la abrasión.

Hierro: en pequeña proporción, este elemento eleva la temperatura de ablandamiento y de recocido (un 0.02% ya es significativo) y hace que se establezca un tamaño de grano pequeño de recristalización.

Níquel: hace que el tamaño de grano sea uniforme. Está presente en la composición de latones especiales Ni-Si.

Manganeso: incrementa la resistencia a la corrosión, de forma especial al agua salina. Se incorpora hasta un 2%.

Fosforo-Magnesio: estos elementos disminuyen de forma sensible el defecto de los latones α a la descohesión inter granular en caliente (300-600°C y en aumento), cuando estos se encuentran sometidos a una tracción mantenida.

Fosforo: aumenta sustancialmente la vida útil y el alargamiento, ayuda a que la rotura no sea inter granular. La composición más adecuada es la de 0.02 a 0.08% de P. Esta adición disminuye la tendencia a la corrosión bajo tensiones y aumenta la resistencia en caliente sin un exceso de fragilidad.

Magnesio: aumenta la resistencia de cohesión en las juntas de grano y a su vez la resistencia a la fluencia viscosa.

Silicio: se adiciona como desoxidante, además del magnesio, en las varillas de soldadura fuerte.

Estaño: latón naval con contenido de 1% y en aleaciones (Chrysocale) con proporciones de 6-9% de Zn y 3-5% de Sn.

Latones $\alpha + \beta$: Son latones fácilmente maquinables y cuentan con una adición de plomo entre 1 al 3% y una fase β

La composición de los latones de alta maquinabilidad varían según la fórmula; la europea 58%Cu, 2.5%Pb o la fórmula estadounidense 60%Cu, 3%Pb y su estado de entrega es con acritud y tratamiento de alivio de tensiones en barras.

Otra clase de latones de alta maquinabilidad, son los de matrizado en caliente, cuya composición es 57.5%Cu, 1.75%Pb; que se entrega es en barras extruidas en prensa o barras calibradas, que son para obtener piezas forjadas en caliente.

Los latones de deformación en frío y alta maquinabilidad son otra clase, que cuentan con 60%Cu, 1.5%Pb. Se entregan en forma de barras, alambres y productos laminados. Tienen un porcentaje de alargamiento de entre el 18 al 20%

Finalmente, se encuentran los latones de perfiles extruidos de alta maquinabilidad; formados por 55%Cu, 2%Pb y 0.5%Al.

El fácil mecanizado de estas clases de latones está reflejado en el desgaste de las herramientas de corte, su acabado superficial y la forma en que se fragmenta la viruta. Estas condiciones dependen directamente, del contenido de Pb, la cantidad y la distribución de la fase β en la matriz de la fase α con un eventual tratamiento térmico y finalmente el contenido de impurezas (Fe, sobre todo en la condición del desgaste)

La fase β favorece el comportamiento plástico de la aleación si se encuentra en una buena cantidad, cuando se hacen procesos en caliente. [5]

Latones β : Son usados ampliamente como metales de aporte en soldadura fuerte, un ejemplo es el latón cuyo contenido de Cu y Zn es del 50% cuyo punto de fusión es de 870°C.

A pesar de que los latones β están predispuestos al ataque intergranular por aminas, sales amoniacaes y estaño fundido, con una proporción de 5 a 6% de Al y de 1 a 1.5% de hierro y magnesio se pueden hacer modelos de elevada resistencia mecánica (75 Kg/mm^2); pero estos son muy sensibles a la corrosión bajo tensiones con agua salina y soluciones cloruradas. [5]

6.1.4 Criogenia, generalidades y tratamiento en materiales.

Etimológicamente hablando, la palabra criogenia proviene del griego KRYOS que significa extremadamente frío y la palabra GENEIA que significa nacimiento; lo que inmediatamente nos asocia a las temperaturas bajas. Cuando se trata de criogenia nos referimos al uso de gases licuados a temperaturas bajas que pueden ser entre -100 y -273 grados Celsius (0 K). Al momento de escoger el tipo de gas licuado se debe tener en cuenta la técnica que se va a emplear, la temperatura que se desea obtener y las reacciones fisicoquímicas. En este orden de ideas, el nitrógeno es un gas que tiene buenas propiedades y es ampliamente usado en criogenia. Cuando se encuentra licuado, el nitrógeno, es un líquido incoloro y no es combustible ni tóxico, además es económico como fuente de enfriamiento. Al sumergir metales en este gas licuado pueden pasar de un estado tenaz a un estado más duro, frágil y quebradizo o puede ocurrir una reacción contraria. Por otro lado, materiales que no tienen una gran conductividad eléctrica pasan a ser superconductores. [4], [11]

6.1.4.1 Tratamiento criogénico

Este tratamiento consiste en llevar las probetas hasta la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido en -196 °C (77 K). Controlando el choque térmico para evitar la generación de tensiones internas y la aparición de grietas o fisuras. [11]

6.1.4.2 Nitrógeno como medio de enfriamiento.

Se considera como el componente más común en el aire generalmente se encuentra en estado gaseoso en condiciones normales. Es un gas inerte. Cuando está en estado líquido su temperatura es de: -195.8 °C (77K). Es más ligero que el agua cuando está en estado líquido. No es tóxico, no es corrosivo, es inodoro, incoloro y sin sabor. Sus usos a nivel industrial comienzan desde la metalurgia pasando por la industria del gas hasta llegar a la industria eléctrica. [11]

6.1.4.3 Recipientes criogénicos [4]

Se denomina recipiente criogénico a aquel contenedor que está diseñado para albergar gas en estado líquido, una de sus características específicas es que debe soportar temperaturas que van desde -100°C hasta casi los -273°C. Los fluidos criogénicos que albergan son: aire líquido, nitrógeno líquido, oxígeno líquido, argón líquido, hidrógeno líquido, helio líquido, metano líquido, gas natural líquido, etileno líquido, anhídrido carbónico líquido, protóxido de hidrógeno líquido. La disposición de los recipientes puede ser vertical u horizontal.

Los recipientes criogénicos se conforman de dos recipientes un interno que es el que contiene el fluido en estado líquido y otro externo que es el que queda expuesto al ambiente. El recipiente de adentro se debe construir de materiales que soporten las bajas temperaturas mientras que el externo debe soportar del ambiente también llamadas condiciones de operación. El espacio que queda entre el recipiente interno y externo se

llama cámara de vacío, aunque no siempre se realiza un vacío si no que se utiliza aislantes térmicos. Los recipientes criogénicos no deben llenarse más del 95 %.

6.2 Marco conceptual [1]

- **Criogenia:** es la ciencia del estudio de materiales a bajas temperaturas a la que las propiedades de los materiales cambian significativamente.
- **Microestructural:** es la estructura tomada en una escala microscópica de 0.1 a 10 μm donde se observa el tamaño de grano de un material.
- **Grano:** es una parte del material dentro de la cual se encuentra el arreglo de estructura cristalina.
- **Límite de grano:** es la frontera que separa los granos que hacen parte del material.
- **Análisis de imágenes:** es una técnica que tiene como fin obtener información cuantitativa del tamaño de grano de la microestructura que se obtiene a través de una imagen.
- **Microscopia óptica:** es la técnica usada para observar características microestructurales como el tamaño de grano.
- **Endurecimiento por solución sólida:** cuando los átomos de un elemento aleante se distribuyen por completo en la estructura del material base.
- **Metalografía:** es la preparación de la probeta metálica, observación y registro de la microestructura.
- **Endurecimiento por tamaño de grano:** es cuando se afina el grano, es decir se hace más pequeño aumentando los límites de grano.
- **Endurecimiento de segunda fase:** cuando los granos de un compuesto o fase adicional se introducen en un material.
- **Endurecimiento por precipitación:** se presentan en metales o aleaciones por medio de la formación de precipitados dentro del grano.
- **Precipitado:** fase sólida que se forma a partir de la matriz original cuando se excede el límite de solubilidad.
- **Prueba de dureza:** mide la resistencia a la penetración de la superficie de un material por un objeto duro.
- **Dureza brinell:** se usa una esfera duro que se fuerza con el material y se mide el diámetro de la huella.
- **Propiedades mecánicas:** son aquellas que describen que tan bien soportan las fuerzas aplicadas un material.
- **Dureza vickers:** utiliza un penetrador en forma de pirámide hecho de diamante y se mide la huella.

6.3 Estado del arte

Desde el siglo pasado se han realizado estudios acerca de la incidencia del tratamiento criogénico en metales para este caso metales ferrosos. En el año de 1982 se realizó un estudio por parte de (BARRON, R. F.) Titulado "*Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance*" que tuvo como propósito determinar que metales tenían una mejor respuesta al tratamiento criogénico en la mejora de la resistencia al desgaste abrasivo, también analizo el hielo y el nitrógeno con el fin de saber cuál es el indicado en el aumento de la resistencia al desgaste. Sabiendo que la temperatura que se puede obtener con el hielo seco es de 189 K (-84.15°C) y la temperatura que se alcanza con el nitrógeno líquido es 77K (- 196°C) y que existen cuatro tipos de desgaste los cuales son: desgaste adhesivo, desgaste abrasivo, desgaste fatiga y desgaste corrosivo. El estudio se centró en el análisis de la incidencia de los tratamientos Subcero y criogénico en desgaste abrasivo. El autor del artículo uso probetas con un diámetro de 12.7 mm y 64 mm de longitud. Una como probeta patrón una para tratamiento criogénico y otra para tratamiento Subcero. Realizo una curva de enfriamiento para los tratamientos de (3°C cada minuto) al llegar a la temperatura deseada mantuvieron la temperatura por 24 horas. Se dejo llegar a la temperatura por medio de convección natural. Después se sometieron las probetas a un ensayo de desgaste cuya carga siempre fue de 430N a una velocidad angular de 480 mm s⁻¹ con intervalos de tiempo de 15 minutos. Luego cada probeta se peso en una balanza analítica con el fin de determinar la cantidad de material retirado en los 15 minutos. Los resultados de este análisis mostraron que en el caso de los aceros para herramientas aumenta significativamente su resistencia al desgaste y esta reacción se puede dar realizando un tratamiento Subcero (189K). Para los aceros inoxidable la dureza al desgaste aumento un 25% el tratamiento criogénico dio mejor resultado. Para metales como aceros al carbono y hierro fundido no se evidencio un cambio significativo al aplicar estos tratamientos. Como conclusión queda que el tratamiento criogénico fue efectivo para aceros inoxidable y aceros para herramientas con el fin de mejorar la resistencia al desgaste abrasivo. [2]

Más investigación se ha realizado en los últimos años sobre el tratamiento criogénico en diferentes metales, una recopilación sobre temas como la historia y los diferentes puntos en el proceso de este tratamiento que aún no se encuentran estandarizados se mencionan en el artículo de 2006 titulado "*CRYOPROCESSING OF MATERIALS: A REVIEW OF CURRENT STATUS*" desarrollado por (REITZ, Wayne; PENDRAY, John). Dentro de las discusiones que se abordan en el texto se menciona la velocidad de enfriamiento a la que el tratamiento debe ser realizado, en la cual hay dos corrientes; la primera es realizar el enfriamiento lo más rápido posible y la segunda es controlar gradualmente este proceso. Se discute de igual manera el tiempo en que el material debe estar sumergido en el nitrógeno líquido, donde una vez más existen dos teorías, una es que el tiempo de permanencia no influye en las transformaciones sino la temperatura y por esto el tiempo de permanencia debe ser corto; y la otra es que el tiempo de remojo influye en la redistribución atómica y esto afecta las propiedades finales del material tratado. Y así se discuten los puntos del tratamiento como la temperatura mínima, la tasa de calentamiento a temperatura ambiente, las propiedades obtenidas y la metalurgia. En conclusión, se establece que la variabilidad en el proceso hace difícil establecer un

estándar para este tratamiento y que hay que hacerse a las bases teóricas para poder establecer los cambios en las propiedades que se desean mejorar. [12]

Cuando se refiere a tratamiento criogénico en aleaciones de cobre, podemos encontrar un estudio de la aleación Cu Cr, que es implementada como material de contacto en interruptores de vacío de media tensión. Este artículo que lleva por título *“Investigation on the Properties of CuCr Contact Material after Cryogenic Treatment”* es una investigación realizada en el 2006 por (WANG, Yongxing, et al.), donde se menciona el proceso de metalurgia de polvos con el cual es sinterizada la aleación y como el tratamiento criogénico influye en la buena distribución de los metales, disminuyendo las vacancias y generando una compacidad que mejora la aleación. La micrografía muestra que el cromo se distribuye mejor en la fase del cobre. También se hace un estudio de la microdureza donde se encuentra que se mantiene estable en el cobre, pero tiende a aumentar en el cromo, ya que el tratamiento criogénico hace que el tamaño de las partículas se afine. En cuanto a la resistencia a la erosión por arco eléctrico se encuentra que, al realizar las pruebas, la zona fundida del material tratado es más pequeña que la de la aleación sin tratar; se establece que esto es debido a los cambios metalúrgicos causados por el tratamiento, donde la estructura se afina y se genera una distribución uniforme de los metales en la aleación. En conclusión, el artículo menciona las mejoras establecidas por la aplicación del tratamiento previamente mencionadas y sigue una investigación más profunda para la aplicación práctica de esta técnica en la fabricación de este material. [14]

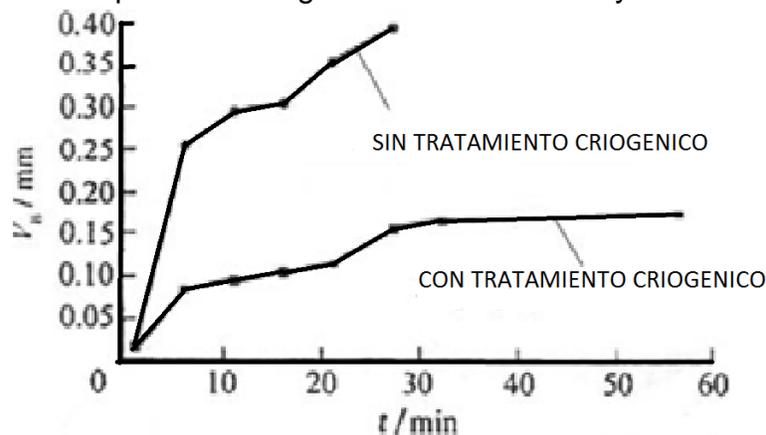
El tratamiento criogénico, en sí mismo, es una técnica que puede ser aplicada a una amplia gama de materiales y no solo a aleaciones ferrosas y no ferrosas sino también a polímeros y a materiales compuestos con el fin de modificar sus propiedades tanto físicas como mecánicas; este es el tema central tratado por (KALIA, Susheel) en su estudio titulado *“Cryogenic Processing: A Study of Materials at Low Temperatures”* publicado en el 2009, donde en primera medida se da una retrospectiva del tratamiento criogénico, se menciona que este debe realizarse a bajas temperaturas las cuales pueden ser alcanzadas usando nitrógeno líquido que es un elemento que resulta ser económicamente adecuado. Se denotan los resultados obtenidos en el acero los cuales muestran un aumento en la resistencia al desgaste y un aumento las condiciones de operación y en la vida útil de las herramientas de corte, caso parecido a los insertos de carburo de tungsteno. Por otro lado, encontramos el desarrollo en las condiciones electrónicas y de operación de los componentes de los transistores MOSFET los cuales también se ven beneficiados al ser vinculados con el tratamiento criogénico. Una parte importante, es que el tratamiento criogénico hace que la densidad molecular de los metales y aleaciones sea mayor haciéndolos más resistentes al desgaste, además este tratamiento afecta la totalidad del material lo que lo hace un tratamiento profundo y no

superficial. En las aleaciones de cobre se establece que hay una mejora en la resistencia al desgaste, térmica y eléctrica, además de una estabilidad dimensional. [6]

En los últimos años ha cobrado fuerza el tratamiento criogénico aplicado a metales con el fin de mejorar sus propiedades, aunque esta técnica se conoce desde mediados del siglo pasado. En el año 2009 en la Conferencia Internacional sobre la Medición de Tecnología, Mecatrónica y Automatización. Se mostró un estudio realizado por (WU, Zongbao) titulado “*The Expanded Application Research of Deep Cryogenic Treatment*” El cual habla implementación del tratamiento criogénico como técnica para cambiar la estructura interna de los metales. El documento menciona dos tipos de tratamiento criogénico el primero el que está en temperaturas desde 0 a -100°C a este se le llama tratamiento criogenico común y el segundo sucede cuando se aplican temperaturas por debajo de los -130°C se conoce como tratamiento criogenico profundo para poder llegar a estas temperaturas se utiliza nitrógeno líquido como medio refrigerante.

Cuando se aplica tratamiento criogénico profundo en aceros para herramientas se evidencia un cambio de la estructura interna más específicamente la transformación de ausenitita retenida a martensita lo que produce la disminución de la tensión residual en la martensita y mejora la matriz martensítica. Dichos efectos se evidencian por medio del aumento de la dureza y su propiedad al desgaste. A continuación, se muestra un grafica obtenida por medio de este estudio el cual muestra un carburo de tungsteno (YW1) usado para herramientas de corte. En ella se muestra el desgaste del material cuando se aplica el tratamiento criogénico profundo y se confronta cuando no se utiliza este tratamiento.[15] (Ver ilustración 1)

Ilustración 1 comparación desgaste material tratado y material no tratado



Fuente: The Expanded Application Research of Deep Cryogenic Treatment [15]

Como se puede ver la vida útil del material aumenta junto con su resistencia al desgaste. El tratamiento criogénico se aplicó a moldes para hacer ladrillos, estos moldes están diseñados para ser usado 80000 veces al aplicar el tratamiento criogénico a los moldes se evidencio un aumento en su vida útil d un 50% es decir que resistió 120000 veces. Conclusión de esta investigación se muestra que la aplicación del tratamiento criogénico profundo en piezas fabricadas a partir de metales ferrosos muestra un aumento de

propiedades mecánicas tales como dureza y resistencia al desgaste debido que la austenita retenida se transforma en martencita.

Los efectos de los tratamientos Subcero y criogénico en la maquinabilidad de aleaciones cobre-berilio en maquinado por electro escoria. Las aleaciones de cobre-berilio son usadas como herramienta de mecanizado en la técnica de electro escoria. En el año 2011 se publicó un estudio realizado por (YILDIZ, Y) titulado “*The Effects of Cold and Cryogenic Treatments on the Machinability of Beryllium-Copper Alloy in Electro Discharge Machining*”. en este estudio se aplicó los tratamientos Subcero -150° F (-101.1° C) y criogénico -300° F (-184.4° C) a electrodos hechos de modmax (aleación de alta resistencia de cobre-berilio) de (Ø3x300 mm) con el fin de analizar propiedades como resistencia al desgaste, conductividad térmica y eléctrica. Se realizó una curva de enfriamiento para cada tratamiento. Usando 2 probetas para cada uno, para el tratamiento Subcero disminuyeron la temperatura desde el ambiente a -150° F (-101.1° C) en un tiempo de 4 horas se mantuvo la temperatura de -150° F (-101.1° C) por 8 horas, después se aumentó la temperatura hasta la temperatura ambiente en un tiempo de 10 horas. Para el tratamiento criogénico se disminuyó temperatura desde el ambiente a -300° F (-184.4° C) en un tiempo de 6 horas después se mantuvo la temperatura de -300° F (-184.4° C) por 8 horas, luego se aumentó la temperatura hasta el ambiente en un tiempo de 52 horas. Después de esto se comenzó a probar estas herramientas en la técnica de electro escoria. Se controlaron las variables que intervienen en esta técnica como el voltaje de funcionamiento, capacidad, velocidad de giro, presión de agua etc. Las probetas mostraron: un incremento de su conductividad eléctrica de 5% para el tratamiento Subcero y 13% para tratamiento criogénico. Aumento entre un 20% y un 30% la tasa de eliminación de material. [17]

Los tratamientos mecánicos superficiales en metales tienen la tarea de proteger al material y mejorar propiedades. Con el fin de ampliar este campo en el año 2014 se realizó un estudio de (CAI, Baozhuang, et al.) Titulado “*Enhanced mechanical properties in Cu-Zn alloys with a gradient structure by surface mechanical attrition treatment at cryogenic temperature*” este estudio muestra el análisis de un tratamiento superficial realizado a temperaturas criogénicas (77K) bajo Presión de vacío aplicado a aleaciones de Cu-Zn con el fin de generar una estructura resistente en la superficie del material. Se tomaron como muestra tres tipos de aleaciones (Cu-10% Zn, Cu-20%Zn y Cu-30%Zn). Para este análisis se usaron en forma de láminas de 10mm x 5mm con un espesor de 0.6 mm. El estudio consistió en coger estas láminas y depositarlas en un recipiente junto con bolas de acero inoxidable de 8 mm de diámetro controlando la temperatura a (77K). El procedimiento consiste en poner a vibrar el recipiente de manera que la esfera choque con la superficie de las láminas y es conocido como Surface mechanical attrition treatment (SMAT). Se usó una frecuencia de vibración de 50KHZ durante 5 minutos. Después de realizar este procedimiento se tomaron microdurezas (vicker) con una carga de 50 gr durante 15 segundos a una separación de 30 micras estos ensayos se realizaron a temperatura ambiente, también se realizaron ensayos de tracción los resultados de la superficie fueron analizados por SEM (microscopía electrónica de barrido). Como resultado de este análisis se concluyó que la aleación Cu-30%Zn fue la que tuvo mejor respuesta a él procesos SMAT criogénico. Se generó una capa de grano fino de 10

micras de espesor, el material mejoro su resistencia a la fluencia (364 MPa). Estos resultados dejan evidencias del mejoramiento de las propiedades de esta aleación lo que permite ampliar su uso a nivel industrial.[3]

El cobre, es el elemento matriz en las aleaciones que se trabajan en el proyecto, por tanto, es indispensable saber el efecto que tendrá el tratamiento criogénico en este material; este tema es mencionado en el artículo de 2015 que lleva por título “*Effect of cryogenic impact deformation and subsequent annealing on microstructure and microhardness of pure copper*” que es una investigación realizada por (LUO, Wei, et al.). Donde se establece que el tamaño de grano en el cobre es grueso, pero al tratarlo criogénicamente, aplicarle una deformación de impacto y luego un recocido se logra afinar el tamaño de grano. En conclusión, esta investigación muestra que se genera un aumento en la dureza de 74.2 HV a 118.3 HV al realizar este procedimiento, al obtenerse un grano más fino y laminar. [7]

6.4 Marco legal y normativo

- **ASTM E3-11:2012.** Standard Guide for preparation of metallographic specimens. Designation.
- **ASTM E407-07** Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
- **ASTM E92-**Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- **ASTM E10-15** Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
- **ASTM E112-10** Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- **ASTM G99-05(2010)** Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.

7 DISEÑO METODOLÓGICO

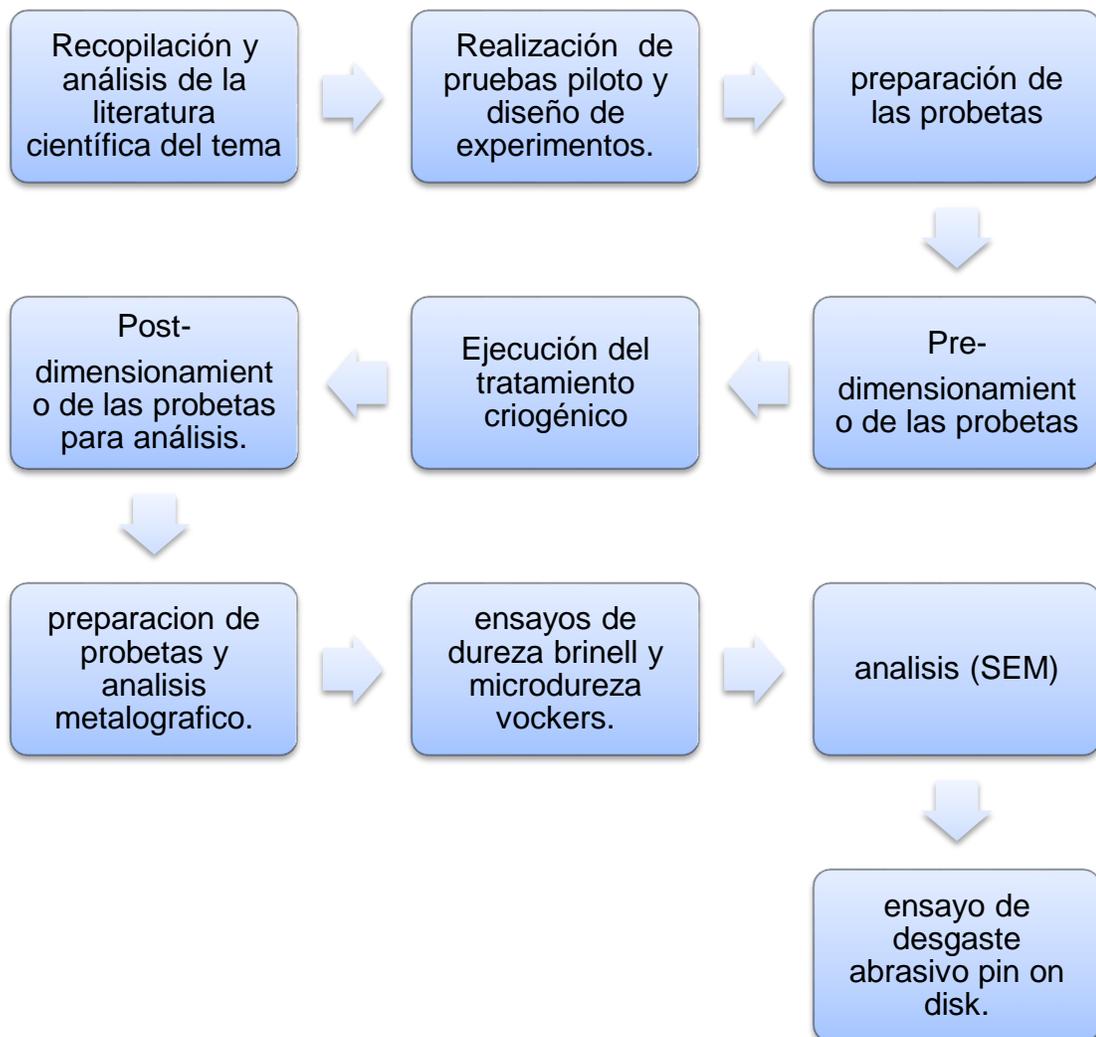
7.1 Tipo de investigación.

Este proyecto es una investigación cuantitativa correlacional, en la cual se tiene como objetivo principal analizar los cambios que se producen al aplicar un tratamiento criogénico al Bronce SAE 64 y Latón 60-40 comparando entre una probeta patrón y unas probetas tratadas criogénicamente.

7.2 Metodología

A continuación, se describe cada etapa que hace parte para el desarrollo de este proyecto. (Ver ilustración 2)

Ilustración 2 metodología del proyecto de investigación



Fuente: Autores del proyecto

7.2.1 Recopilación y análisis de la literatura científica del tema.

Los diferentes documentos relacionados con el tema de investigación y las normativas aplicables a los diferentes ensayos se obtuvieron de las diversas bases de datos físicas y virtuales que ofrece la universidad. Además de realizar consultas por internet y bibliotecas externas.

7.2.2 Realización de pruebas piloto y diseño de experimentos

Variables

En el estudio de cómo el tratamiento criogénico influye en las aleaciones de cobre se van a analizar dos materiales por separado, pero bajo las mismas variables, donde la variable independiente es el tiempo de permanencia o de remojo y la variable dependiente es la microdureza; también se va a observar el comportamiento de la dureza a nivel macro y la resistencia al desgaste; además de la metalografía para observar cambios en el tamaño de grano. La temperatura a la cual se va a llevar a cabo el tratamiento criogénico, es la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido 77 K (- 196°C), la cual es constante

Prueba piloto

Los siguientes valores fueron obtenidos de mediciones de microdurezas Vickers, tomadas a probetas tratadas criogénicamente durante 24, 48, 72 y 120 horas; además de los datos medidos en la probeta patrón que no fue tratada. Los datos obtenidos se presentan tabulados y graficados a continuación en la tabla 1 y en la tabla 2:

Tabla 1 Datos de microdurezas tomadas en el bronce SAE 64

MEDICIÓN	Probeta patrón	24 horas	48 horas	72 horas	120 horas
1	107,3	86,9	105,8	66,0	98,9
2	107,3	90,3	108,8	101,0	99,2
3	90,0	95,1	95,1	109,4	102,1
4	116,5	92,9	95,1	107,0	103,8
5	106,1	92,4	107,3	122,1	98,1
6	115,5	97,9	110,4	104,7	96,3
7	89,4	97,1	107,3	110,0	94,6
8	114,8	91,4	110,4	102,1	94,6
9	100,0	49,0	88,7	113,2	83,1
10	102,7	95,1	103,0	109,1	90,5
11	86,9	70,2	110,4	110,7	105,8
12	111,9	95,3	104,4	134,1	103,3
13	79,4	92,1	73,5	90,3	98,6
14	106,7	86,9	76,1	101,3	103,3
15	106,1	96,3	91,4	104,7	97,9
16	100,2	102,7	93,8	100,2	98,6
17	103,8	93,8	98,9	82,1	105,8
18	112,6	100,0	93,8	95,1	92,6
19	105,5	118,2	96,3	109,1	90,0
20	102,7	97,1	95,1	105,8	88,7

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 2 Datos de microdurezas tomadas en el latón 60-40

MEDICIÓN	Probeta patrón	24 horas	48 horas	72 horas	120 horas
1	138,4	105,5	126,9	123,9	132,5
2	126,6	119,3	128,9	124,7	113,5
3	129,7	121,4	123,2	129,7	120,7
4	196,6	109,4	95,3	118,9	124,3
5	130,1	111,9	126,2	130,9	110,4
6	127,3	120,0	117,2	123,9	125,0
7	149,5	113,5	111,6	123,6	118,9
8	120,3	118,6	123,6	127,7	119,3
9	112,9	129,7	119,6	130,5	142,0
10	128,1	125,4	126,2	119,6	123,6
11	126,9	118,9	129,3	127,7	112,9
12	126,2	111,0	122,1	133,7	121,7
13	118,9	104,4	125,4	143,3	121,7
14	128,9	125,4	128,5	124,7	128,5
15	131,7	120,7	124,3	133,7	128,1
16	130,1	122,1	116,5	126,2	144,3
17	128,5	119,3	115,2	140,6	135,4
18	125,4	121,7	122,8	125,0	120,0
19	118,9	122,8	120,3	125,8	111,6
20	121,0	122,1	122,1	129,3	114,8

Fuente: autores del proyecto.

EXPERIMENTOS CON UN SOLO FACTOR: EL ANÁLISIS DE VARIANZA.

Ya que tenemos dos materiales que son aleaciones de cobre pero que no están directamente correlacionados entre sí con la influencia del tratamiento, se decide analizar cada material por separado y usar el diseño de experimentos con un solo factor que afecta este material el cual es el tiempo de permanecía o de remojo que en este caso toma valores de 120, 240 y 360 horas para cubrir un espectro amplio de permanencia de las probetas entre nitrógeno líquido y observar los cambios que ocurren. [8]

- **Determinación de tamaño de Muestra para las probetas de Bronce**

Tabla 3 Microdureza promedio de cada tiempo

Tiempo	μ
24	92.036
48	98.276
72	103.915
120	97.297
Patrón	103.284

Fuente: Autores del proyecto

Datos obtenidos de la Prueba piloto

$$\alpha = 0,05$$

$$\sum_{i=1}^5 \mu = 494.808$$

$$\bar{\mu} = \frac{494.808}{5} = 98.961$$

$$\tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = -6.025$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = -0.688$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = 4.962$$

$$\tau_4 = \mu_4 - \bar{\mu} = -1.668$$

$$\tau_5 = \mu_5 - \bar{\mu} = 4.322$$

$$\sum_{i=1}^5 \tau^2 = 94.5$$

$$\sigma^2 = 3.29$$

Ecuación 1 Enunciado de la probabilidad

$$\Phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau^2}{a \sigma^2}$$

Fuente: Análisis y diseño de experimentos. Douglas Montgomery

$$\Phi^2 = \frac{n * 94.5}{5 * 3.29^2} = 1.74n$$

Tabla 4 Procedimiento para muestras

N	Φ^2	Φ	a (n-1)	β	1- β
2	3.48	1.86	5	0.45	0.55
3	5.22	2.28	10	0.07	0.93
4	6.96	2.63	15	0.065	0.935
5	8.7	2.95	20	0.023	0.97

Fuente: Autores del proyecto

- **Determinación de tamaño de Muestra para las probetas de Latón**

Tabla 5 Microdureza media de cada tiempo

Tiempo	μ
24	118.15
48	121.25
72	128.17
120	123.45
Patrón	130.79

Fuente: Autor

Datos obtenidos de la Prueba piloto

$$\alpha = 0,05$$

$$\sum_{i=1}^5 \mu = 621.81$$

$$\bar{\mu} = \frac{621.81}{5} = 98.961$$

$$\tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = -6.212$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = -3.112$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = -3.808$$

$$\tau_4 = \mu_4 - \bar{\mu} = -0.912$$

$$\tau_5 = \mu_5 - \bar{\mu} = 6.423$$

$$\sum_{i=1}^5 \tau^2 = 104.86$$

$$\sigma^2 = 3.08$$

Ecuación 2 Enunciado de la probabilidad

$$\Phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau^2}{a \sigma^2}$$

Fuente: Fuente: Análisis y diseño de experimentos. Douglas Montgomery

$$\Phi^2 = \frac{n * 104.86}{5 * 3.08^2} = 2.21n$$

Tabla 6 Procedimiento para muestras

N	Φ^2	Φ	a (n-1)	β	1- β
2	4.42	2.1	5	0.38	0.62
3	6.63	2.57	10	0.08	0.92
4	8.84	2.97	15	0.025	0.975

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7 procedimiento tratamiento criogénico parte 1

imagen 1 probetas cortadas y preparadas para el tratamiento criogénico.



FUENTE: autores del proyecto

7.2.3 preparación de las probetas.

Con el fin de dar inicio al análisis del tratamiento criogénico compramos el material en la empresa METAVAL BOGOTÁ, LIDA. (ver anexo 1). En la siguiente presentación, 50cm de bronce SAE 64 de 1" de diámetro y 50cm de latón 60-40 de 1" de diámetro. Se realizó el corte de cada material para tener probetas de 2 cm de altura aproximadamente. En total salieron 16 probetas por cada material. Con el fin de usar 5 probetas por cada tiempo de exposición al nitrógeno líquido y tener una probeta patrón. (ver Imagen 1)

imagen 2 tornillo micrométrico



Fuente: Autores del proyecto con permiso de laboratorio de máquinas y herramientas de la universidad libre

7.2.4 Predimensionamiento de las probetas.

En este paso tomamos cada una de las probetas y las medimos usando un tornillo micrométrico digital marca shars el cual fue proporcionado por el laboratorio de máquinas y herramientas de la facultad de ingeniería de la universidad libre. (Ver imagen 2) Se realizó la medida del diámetro y altura de cada probeta.

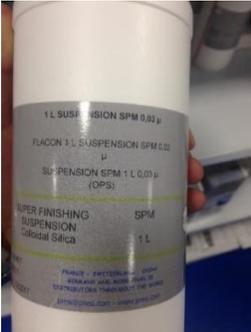
Fuente autores del proyecto.

Tabla 8 procedimiento tratamiento criogenico parte 2

<p>imagen 3 termo criogénico.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de TAURUSGAN.</p>	<p>7.2.5 Ejecución del tratamiento criogénico.</p> <p>Teniendo en cuenta la cantidad de probetas de (bronce SAE 64 y latón 60-40). Se alquiló un termo criogénico con capacidad de 20 lt (Mve Xc 20 Millenium 2000) a la empresa TAURUSGAN (ver anexo 2), (Ver imagen 3)</p> <p>Se utilizaron los porta pajillas como recipientes contenedores de las probetas. Se prepararon las probetas y alistaron según la cantidad de horas en las que iban a estar expuestas al nitrógeno líquido, después de estar sumergidas se ubicó el recipiente en un lugar fresco. Cada vez que fueron sacadas las probetas correspondientes a cada tiempo se midió el nivel de nitrógeno líquido con el fin de garantizar la temperatura dentro del recipiente (ver imagen 4 y 5)</p>
<p>imagen 4 probetas y porta pajillas.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de TAURUSGAN.</p>	
<p>imagen 5 probetas y porta pajillas.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de TAURUSGAN</p>	<p>7.2.1 Post dimensionamiento de las probetas.</p> <p>Para este proceso se utilizó el mismo micrómetro digital proporcionado por el laboratorio de máquinas y herramientas de la facultad de ingeniería de la universidad libre. Se realizó el mismo procedimiento para tomar medidas.</p>

Fuente: autores del proyecto.

Tabla 9 Preparación de las probetas y análisis metalográfico parte 1

<p>imagen 6 probetas proceso de pulido</p>  <p>Fuente: autores del proyecto</p>	<p>7.2.1 Preparación de las probetas y análisis metalográfico.</p> <p>Siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E3-11:2012. (Standard Guide for preparation of metallographic specimens. Designation.) se usaron lijas al agua con un tamaño de grano de 280, 400, 600, 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500 granos x pulgada cuadrada. Cambiando la orientación de la probeta a 90 grados cada vez que se hacia el cambio de lija y tamaño de grano. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de integridad de materiales UNIVERSIDAD LIBRE.. (Ver imagen 6)</p>
<p>imagen 7 etiqueta de frasco donde se muestra las características de la solución coloidal.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto</p>	<p>Después de pasar por el proceso de lijado se comenzó con el proceso de pulido. Se usó una suspensión coloidal de 0.03 µ especializada para metales no ferrosos la cual fue comprada en TESTEK DE COLOMBIA S.A.S. (ver anexo 3), (Ver imagen 7)</p>
<p>imagen 8 se muestra una probeta en proceso de pulido.</p>  <p>Fuente: Autores del proyecto</p>	<p>Se hizo uso de las pulidoras metalográficas del laboratorio de materiales de la universidad libre. Según la norma para este tipo de materiales recomienda una velocidad angular de entre 150 rpm. (Ver imagen 8)</p>

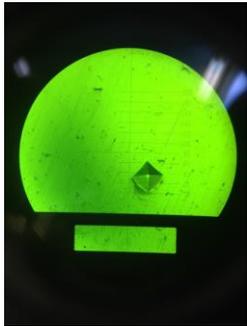
Fuente: autores del proyecto.

Tabla 10 Preparación de las probetas y análisis metalográfico parte 2

<p>imagen 9 se muestra una probeta de bronce SAE 64 pulida.</p>  <p>Fuente: Autores del proyecto</p>	<p>Después de pulir se obtiene un brillo tipo espejo. (Ver imagen 9 y 10)</p> <p>imagen 10 se muestra una probeta de latón 60-40 pulida.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto</p>
<p>imagen 11 secado de probetas.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto</p>	<p>Después de estar pulidas las probetas se realizó el ataque químico. El latón fue sumergido en una sustancia que contenía (2gr $K_2Cr_2O_7$, 8ml H_2SO_4, 4 gotas de HCl, 100 ml de H_2O) durante 10 segundos. El bronce fue sumergido en una sustancia que contenía (2 gr $FeCl_5$, 5 ml HCl, 30 ml H_2O, 60 ml etanol. durante 2 minutos. Estas dos sustancias fueron preparadas en los laboratorios de química de la universidad libre sede bosque popular bajo la norma ASTM E407-07 (Standard Practice for Microetching Metals and Alloys). El siguiente paso fue sumergir en agua destilada y secar con la ayuda de un secador todas las probetas. (ver imagen 11)</p>
<p>imagen 12 microscopio óptico convencional.</p>  <p>Fuente: Autores del proyecto con permiso de la universidad libre</p>	<p>Por último, haciendo uso del microscopio óptico convencional que posee la facultad de ingeniería de la universidad libre. Se realizaron tomas de imágenes de acercamiento para cada material a 100x, 200x, 500x, 1000x., para cada material y cada tiempo de exposición al tratamiento criogénico junto con las probetas patrón. (ver ilustración 14)</p>

Fuente: autores del proyecto.

Tabla 11 Ensayo de dureza brinell y microdureza vickers

<p>imagen 13 microdurómetro SHIMADZU.</p>  <p>Fuente: Autores del proyecto con permiso de la universidad libre</p>	<p>7.2.1 Ensayo de dureza brinell y micro</p> <p>7.2.2 dureza vickers.</p> <p>En esta fase del proyecto después de haber tomado las imágenes procedemos a realizar los ensayos de dureza brinell y vickers.</p> <p>Ensayo vickers.</p> <p>Siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM 92-82 (Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials) se tomaron 5 probetas por cada tiempo en el cual cada material estuvo inmerso en nitrógeno líquido (120.240.360) horas. Se realizaron 10 mediciones por cada probeta, se utilizó el equipo de dureza vickers que se encuentra en el laboratorio de integridad de materiales de la facultad de ingeniería de la universidad libre. (ver imagen 13 y 14)</p>
<p>imagen 14 huella vista desde el microdurómetro SHIMADZU.</p>  <p>Fuente: Autores del proyecto</p>	
<p>imagen 15 Brinell, Rockwell & Vickers Optical Hardness Tester TH722.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso del laboratorio de materiales de la universidad inca</p>	<p>Ensayo brinell</p> <p>Siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM 10-78 Para este ensayo se tomaron 3 probetas por cada tiempo en el cual cada material estuvo inmerso en nitrógeno líquido (120.240.360) hrs y la probeta patrón. Se revisó que el equipo estuviera calibrado, este proceso se hizo con ayuda de un bloque patrón. Al verificar que el equipo estaba mostrando los resultados de dureza acorde con el bloque se realizó la toma de datos. El equipo que se utilizo es el (Brinell, Rockwell & Vickers Optical Hardness Tester TH722) (ver imagen 15)</p>

Fuente autores del proyecto.

Tabla 12 ANALISIS (SEM)

imagen 16 equipo para realizar (SEM).



Fuente: autores del proyecto con permiso de la universidad andes

7.2.1 ANÁLISIS (SEM)
Este análisis se realizó en la universidad de los andes. Se analizó 1 probeta por cada tiempo es decir en total 8 probetas. El equipo en el cual se realizó el análisis es de la marca Jeol (jsem-6490lv). (ver anexo 4) (ver imagen 16 y 17)

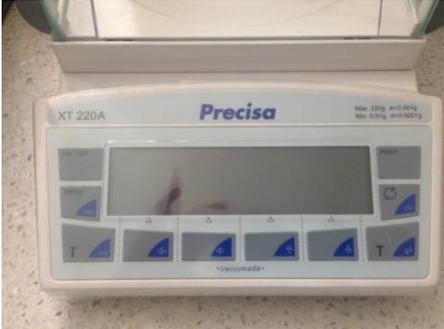
imagen 17 porta probetas equipo (SEM).



Fuente: autores del proyecto.

Fuente: autores de proyecto.

Tabla 13 Ensayo de desgaste abrasivo pin on disk

<p>imagen 18 porta probetas tribómetro pin on disk.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de INCITEMA</p>	<p>7.2.1 Ensayo de desgaste abrasivo pin on disk</p> <p>Este ensayo se realizó en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia (UPTC) en los laboratorios de Incitema en el tribómetro pin on disk. (ver anexo 5) Se realizó un análisis comparativo entre las probetas de los mismos materiales (latón 60-40 y bronce SAE 64). Las probetas fueron pesadas antes y después de la prueba con el fin de saber el volumen removido de manera manual para esta medición se utilizó una balanza analítica de la marca precisa. Las variables que se manejaron son distancia recorrida 300m, velocidad angular 300 rpm y una carga de 5 KN. Posteriormente se realizó un análisis de huella con el fin de saber el volumen removido. (ver imágenes de 18 a 21)</p>
<p>imagen 19 tribómetro pin on disk.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de incitema</p>	
<p>imagen 20 balanza analítica.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de incitema</p>	<p>imagen 21 microscopio óptico de alta resolución leica con lente vz80 de 400x.</p>  <p>Fuente: autores del proyecto con permiso de incitema.</p>

Fuente: autores del proyecto.

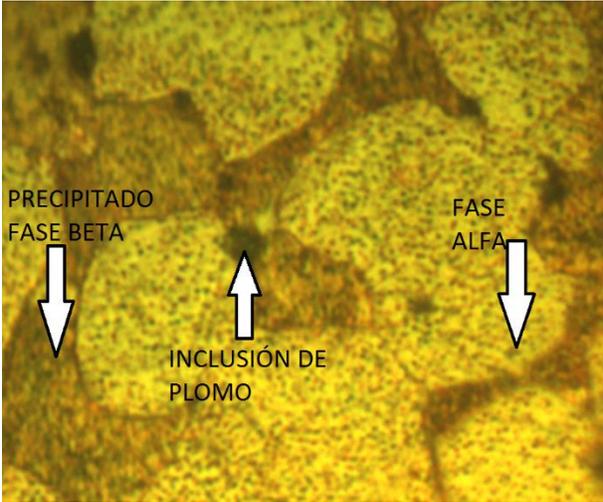
8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Análisis metalográfico

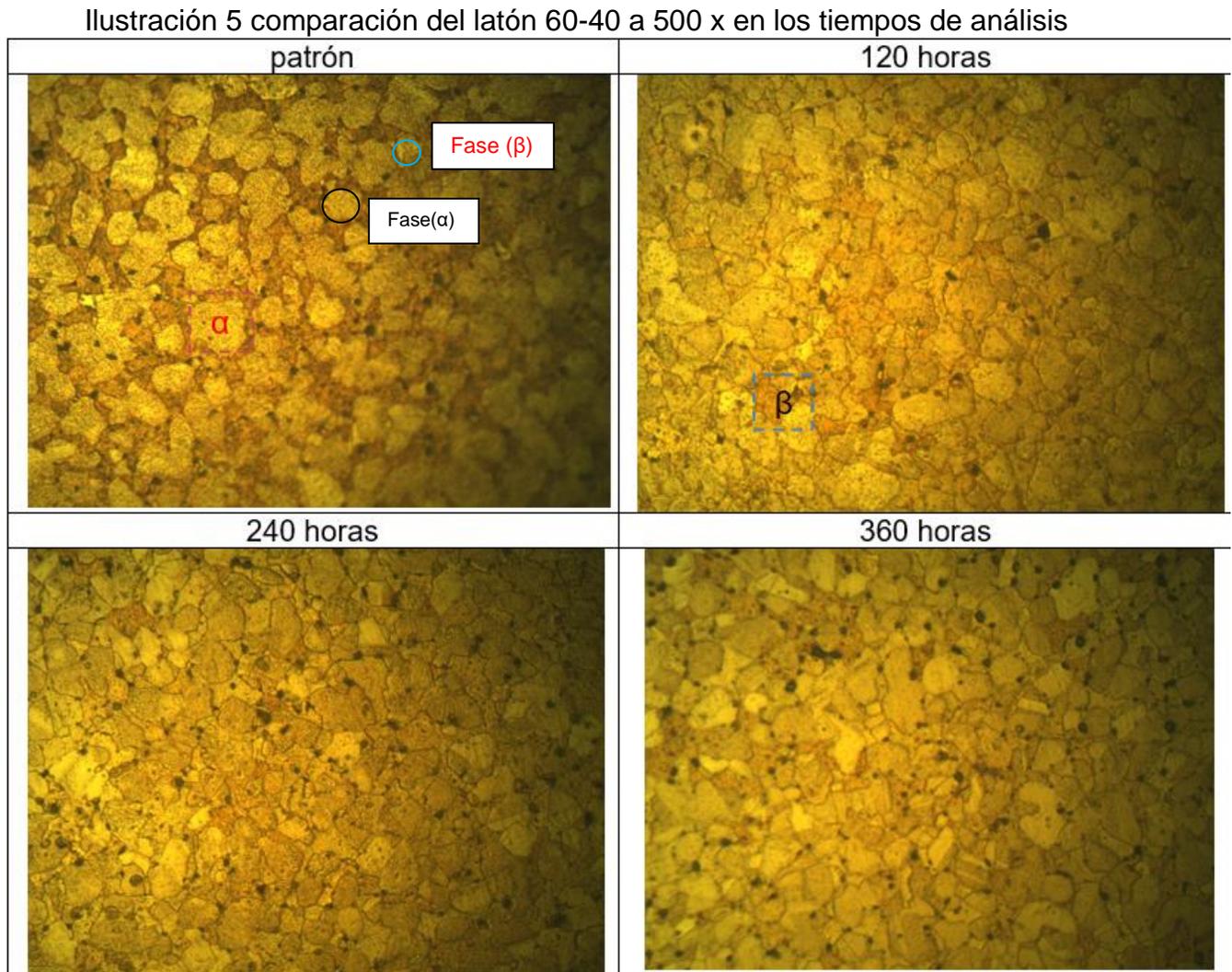
8.1.1 Latón 60-40

En la metalografía del latón 60-40 se muestra los precipitados de color más oscuro. (ver ilustración 3) comparados con una metalografía obtenida del atlas de microestructuras de aleaciones industriales METALS HANDBOOK 8th Edition.(ver ilustración 4)

Tabla 14 comparación entre una metalografía de latón 60-40 obtenida del proyecto y una imagen mostrada por libro METALS HANDBOOK 8th Edition

<p>Ilustración 3 metalografía latón 60-40 a 1000 x.</p>  <p>PRECIPITADO FASE BETA INCLUSIÓN DE PLOMO FASE ALFA</p> <p>Fuente: autores del proyecto</p>	<p>Ilustración 4. metalografía del latón</p>  <p>Fuente: METALS HANDBOOK 8th Edition pagina 290</p>
<p>En la ilustración 27 obtenida del libro METALS HANDBOOK 8th Edition se muestra una metalografía en la cual se describe la estructura y las fases del latón 60_40..</p> <p>Distribución de plomo (puntos negros) en aleación de cobre (laton 0.6% de plomo) granos de α y se muestran las partículas de plomo</p> <p>Fuente: autores del proyecto.</p>	

Metalografías a 500x en la que se muestra la comparación de las probetas patrón, 120 horas, 240 horas y 360 horas. (ver ilustración 5) se indica las fases presentes en el material.

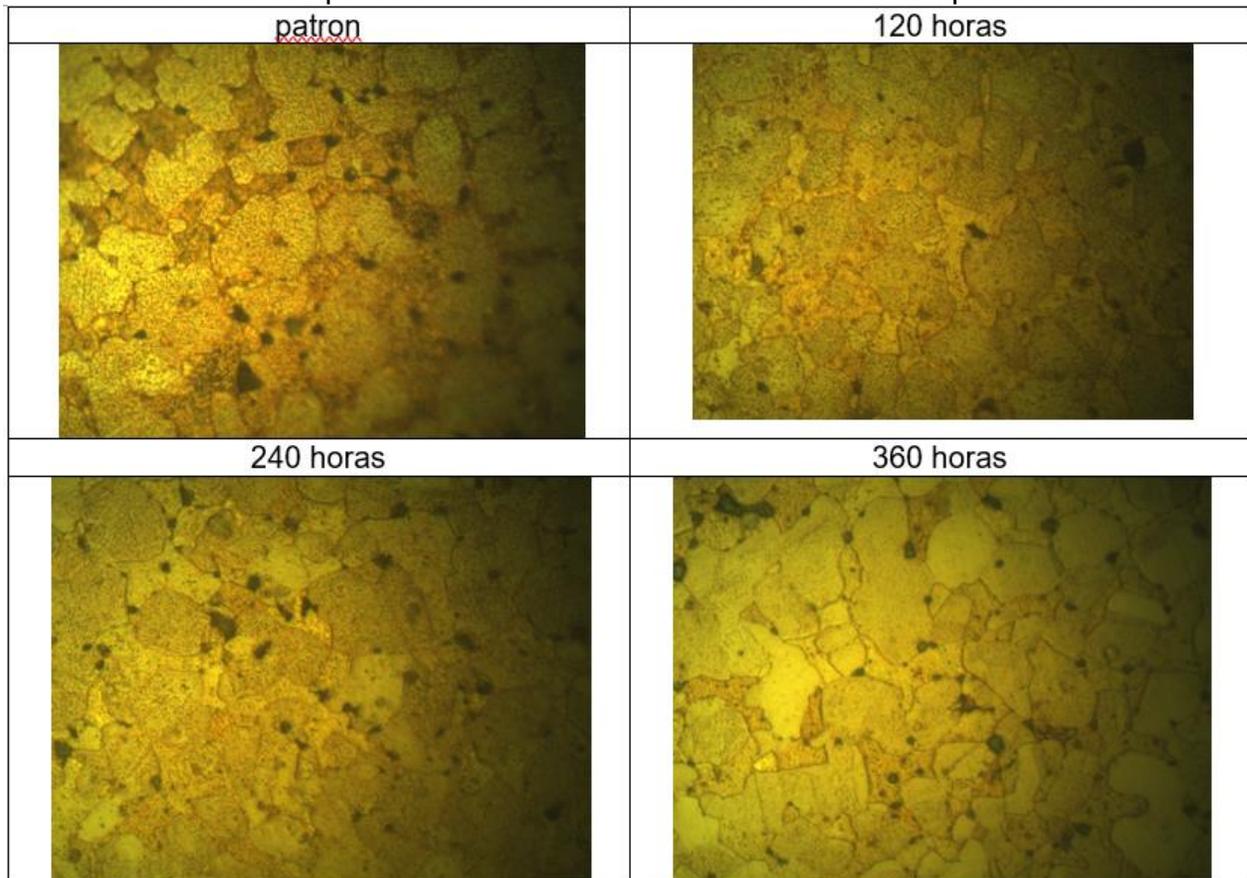


Fuente: autores del proyecto

Se observa que el tamaño de grano no tiene un cambio que pueda ser apreciado a la vista del ser humano es notoria la presencia de inclusiones de plomo en la probeta patrón y las probetas que fueron expuestas al tratamiento criogénico.

Metalografías a 1000x en la que se muestra la comparación de las probetas patrón, 120 horas, 240 horas y 360 horas. (ver ilustración 5) se aprecia el tamaño de grano, también la fase (α) y (β) y las inclusiones de plomo. No se evidencia cambios perceptibles a la vista humana.

Ilustración 6 comparación del latón 60-40 a 1000x en los tiempos de análisis

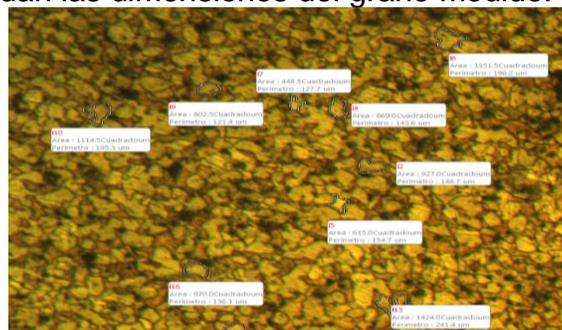


Fuente: autores del proyecto

Tamaño de grano latón 60-40.

Se realizó la medición de los granos en las imágenes de las probetas (patrón, 120 horas, 240 horas y 360), (ver ilustración 7), los resultados y las medias correspondientes se muestran en la tabla 15. En la gráfica 1 se puede observar el cambio promedio de área (μm^2) del tamaño de grano en cada una de las probetas.

Ilustración 7 se muestra una porción de la imagen que proporciona el software motic images plus 2.0 donde dan las dimensiones del grano medido.



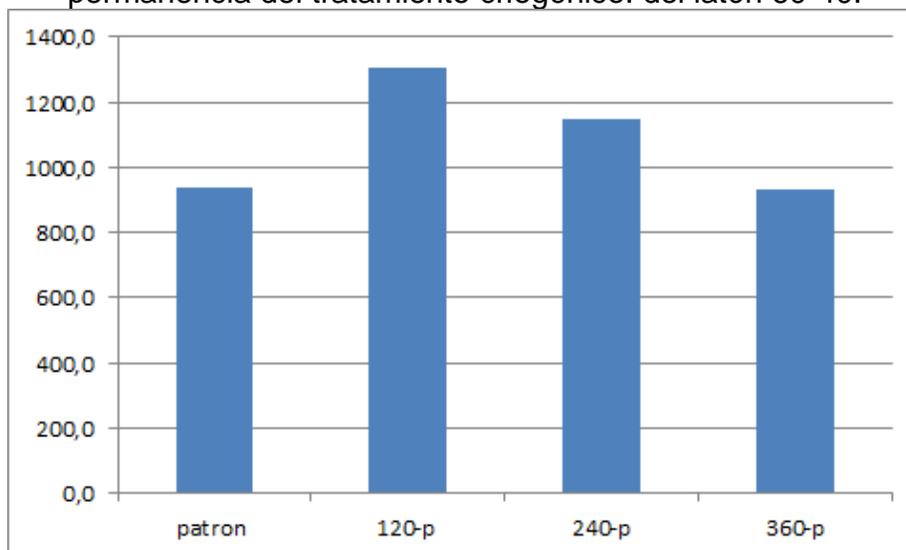
Fuente: autores del proyecto.

Tabla 15 comparación. tamaño de grano probetas latón.

análisis tamaño de grano latón								
probeta	patron		120 horas		240 horas		360 horas	
item	tamaño de grano							
	area μm^2	perimetro μm						
1	1010.5	131.8	2997	330.7	1067	188.3	1700.5	171.4
2	1522	169.2	2090.5	208.8	2215	264.9	1302	198.4
3	1157.5	181.3	1538.5	176	700.5	150.6	894	148.9
4	449.5	87.5	1277	199.7	730	147.9	935.5	139
5	836	118.1	2661	303.5	1454.5	203.8	817	128.3
6	1025.5	133.9	2429	249.8	372	101.5	866.5	136.2
7	801	120.8	953	129.2	980	149.8	1251	148.9
8	682	106.8	1544.5	196	743	117.9	759.5	115.5
9	620	99.7	435	120.7	985	152.2	1131.5	160.3
10	1587	161.3	658	111.6	965.5	127.2	896	126.7
11	1006	14406	785	128.3	2295	334.3	1167	159.2
12	645	108.5	1866	248	1795	271.4	600	101.6
13	1074	144.8	1079.5	158.8	747.5	141	427	87.1
14	637	115.2	617	150.1	1278	160.5	1742.5	242.5
15	1274	165.2	2661	303.5	1803	210.3	652	132.2
16	1390	177.7	2429	249.8	2754	250	1626	239
17	1040	142.9	1771.5	201.6	1857	210	677.5	114.5
18	652.5	109.7	1117	145	542.5	97	1204	172.5
19	1568.5	173.2	487	99.4	1766	179.6	946	137.6
20	893	129.9	1044	164.7	1027.5	237.2	431	83.5
media	937.579773	167.80325	1307.32615	182.753115	1149.32568	175.124834	929.54435	141.614396

Fuente: autores del proyecto

grafica 1 variación del tamaño de grano (μm^2) entre la probeta patrón y los tiempos de permanencia del tratamiento criogénico. del latón 60-40.



Fuente: autores del proyecto.

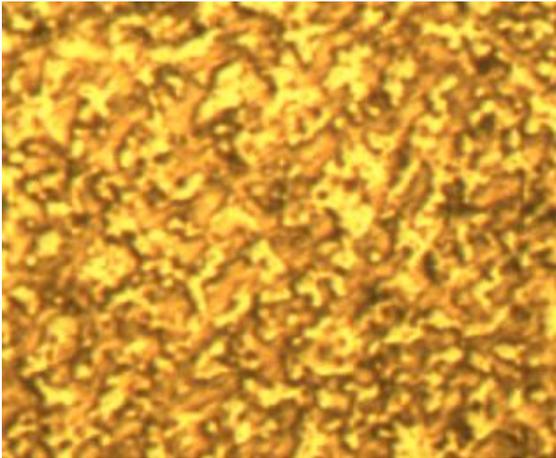
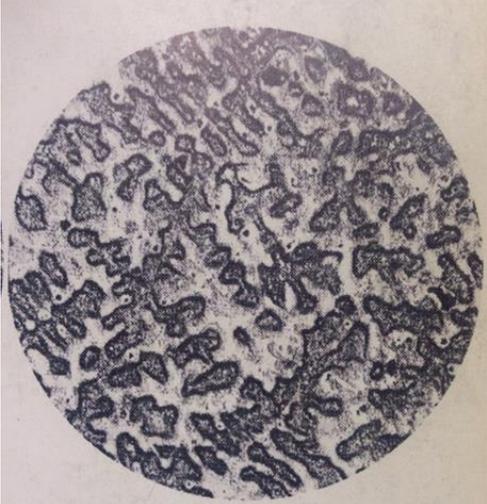
8.1.1.1 Discusión metalografías latón 60-40

En las metalografías hechas con este método, se observa la presencia de las fases propias del material, fase alfa y fase beta, las cuales al paso del tratamiento no evidencian un cambio ni en tamaño de grano o distribución.

8.1.2 Bronce SAE 64

En el libro METALS HANDBOOK 8th Edition se muestra una imagen de la microestructura del bronce SAE 64 la cual es comparada con lo que se observó en el microscopio.

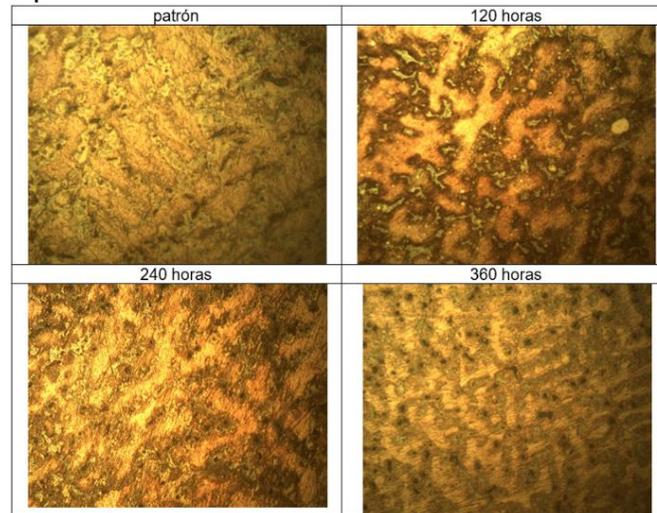
Tabla 16 comparacion entre metalografía de bronce SAE 64 y imagen obtenidad del: METALS HANDBOOK 8th Edition.

<p>Ilustración 8 metalografía de bronce SAE 64 a 100x</p>  <p>Fuentes: autores del proyecto</p>	<p>Ilustración 9 metalografía bronce aleado.</p>  <p>Fuente: METALS HANDBOOK 8th Edition pagina 295.</p>
<p>En la metalografía de bronce SAE 64 se evidencia estructuras dendríticas y regiones de diferentes tonalidades, se muestra una matriz dendrítica (α) y dentro de ella partículas (δ). (ver ilustración 8)</p>	<p>En esta metalografía (ilustración 9) se muestran las microestructuras y las fases semejantes al bronce SAE 64. La cual ha servido de apoyo para la caracterización de dicho material.</p>

Fuente: autores del proyecto.

Metalografías a 500x en la que se muestra la comparación de las probetas patrón, 120 horas, 240 horas y 360 horas. (ver ilustración 10) dendritas de (α) en varios tonos oscuros, la fase (δ) son las zonas claras. Y los puntos negros son partículas de plomo.

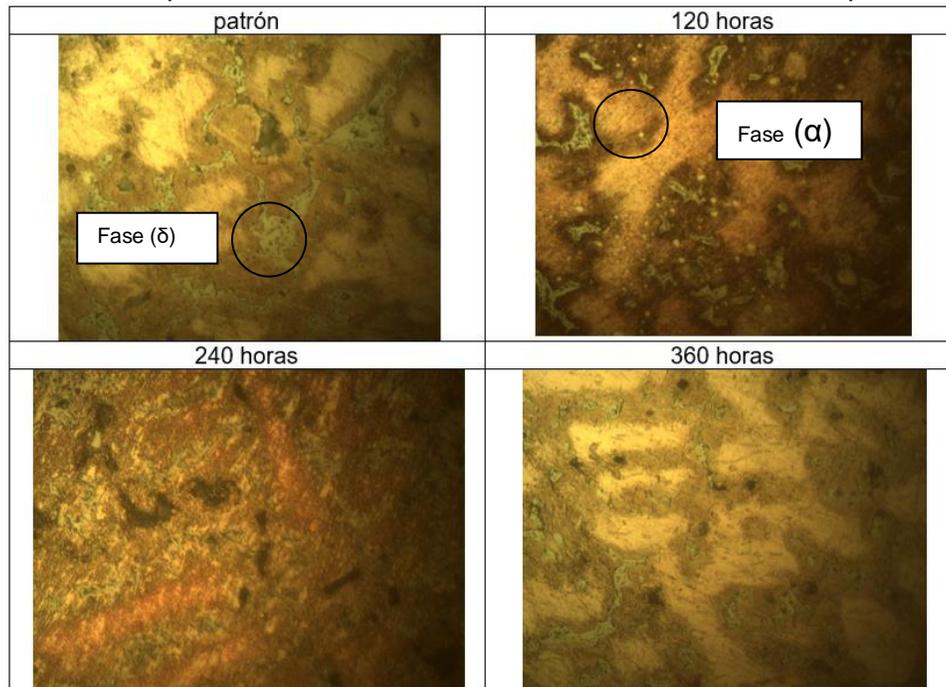
Ilustración 10 comparación del bronce SAE 64 a 500x en los tiempos de análisis



Fuente: autores del proyecto.

Metalografías a 1000x en la que se muestra la comparación de las probetas patrón, 120 horas, 240 horas y 360 horas. (ver ilustración 11) se muestran las fases del material.

Ilustración 11 comparación del bronce SAE 64 a 1000x en los tiempos de análisis



Fuente: autores del proyecto.

8.1.2.1 Discusión metalografías bronce SAE 64

Se presenta una estructura dendrítica con fases alfa (región oscura) y delta (región clara), que en lo que se puede denotar al paso de las horas de tratamiento presenta una mejor distribución y afinamiento de dichas zonas. Además, se observan puntos negros lo cual hace alusión a la presencia de plomo en la aleación

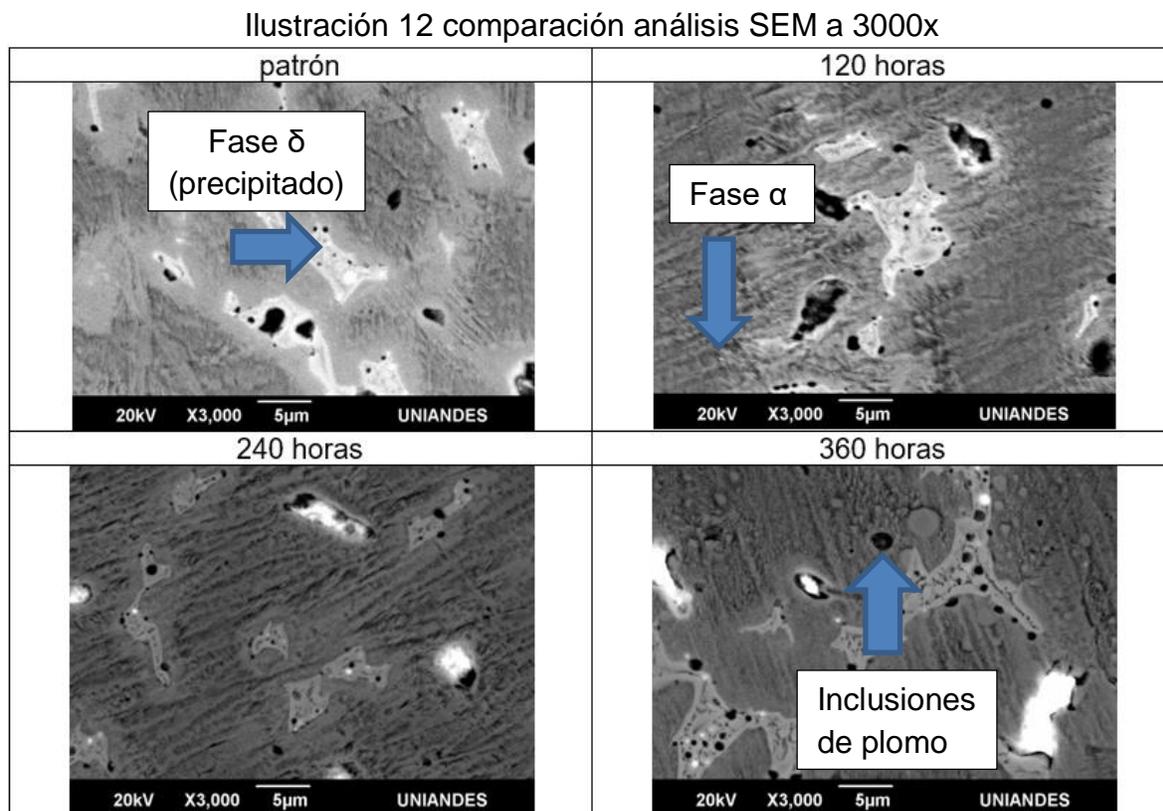
8.2 Microscopia óptica de barrido (SEM)

8.2.1 Bronces SAE 64

se hicieron aproximaciones 3000 aumentos y 5000 aumentos.

Comparación a 3000 x bronce SAE 64

En la (ilustración 12) la parte más clara nos muestra las dendritas(δ), como se puede evidenciar a las 240 horas de tratamiento criogénico la dendrita se subdivide y luego al llegar a las 360 horas esta se une nuevamente. También se puede observar que las inclusiones de plomo que son los puntos negros tienden a ser más finos.

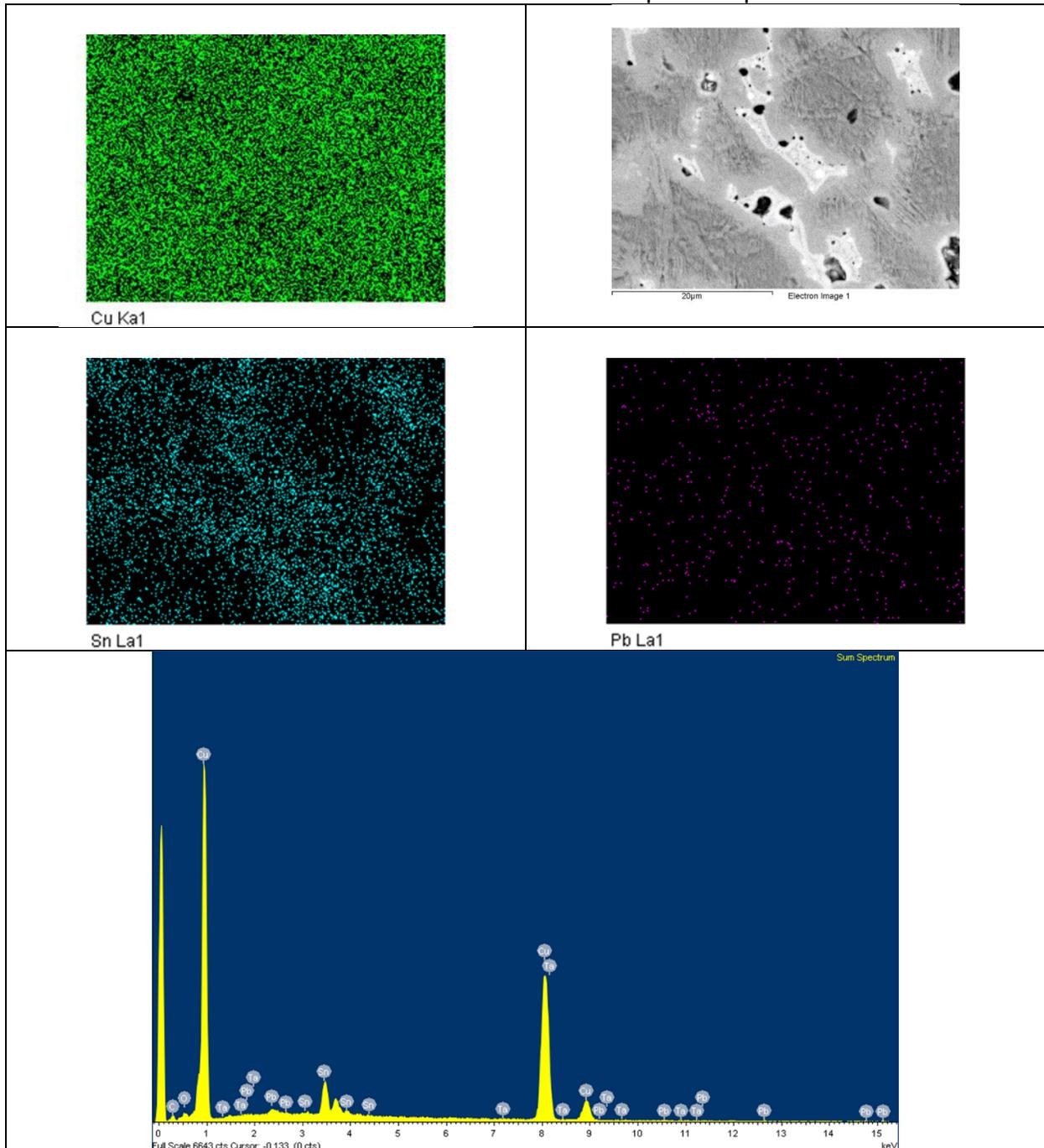


Fuente: autores del proyecto

Probeta Patrón

En la imagen se muestra una acumulación de estaño en el área del precipitado o fase (δ), los puntos oscuros muestran evidencia de acumulación de plomo. En el perfil de composición química los picos más altos son cobre seguidos de estaño y plomo los cuales son los elementos principales en la aleación.

Ilustración 13 distribución de los elementos probeta patrón a 3000x

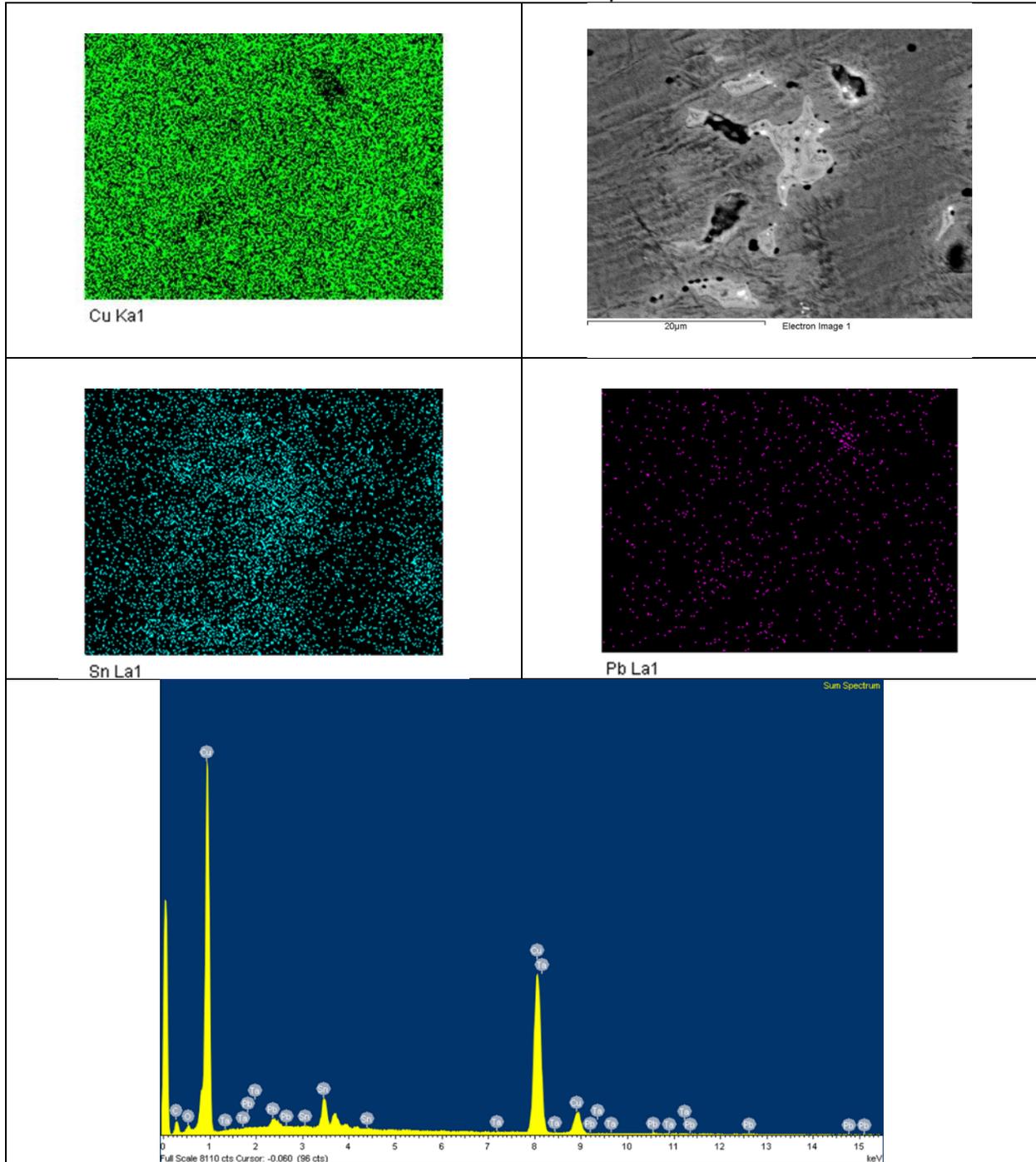


Fuente: autores del proyecto

120 horas

En la ilustración 35 se puede apreciar de forma más clara la concentración de estaño en la región de la dendrita. También la concentración de plomo en las regiones oscuras y dentro de la fase δ .

Ilustración 14 distribución de los elementos probeta a 120 horas a 3000x

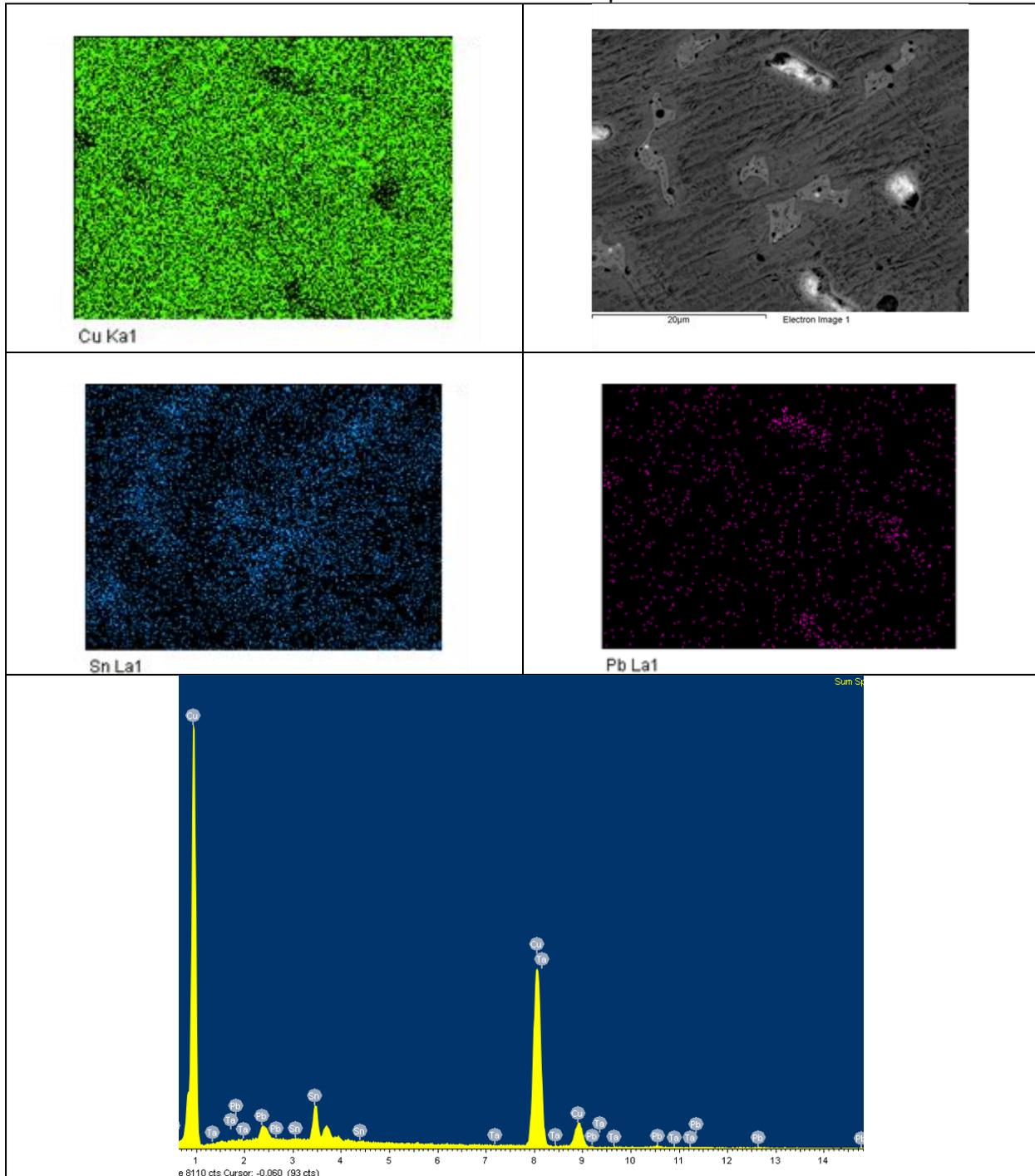


Fuente: autores del proyecto

240 horas

Se muestra ausencia de cobre sobre los puntos más brillantes también se evidencia una mayor concentración de plomo sobre estos puntos, también se observa que las dendritas se separan.

Ilustración 15 distribución de los elementos probeta a 240 horas a 3000x

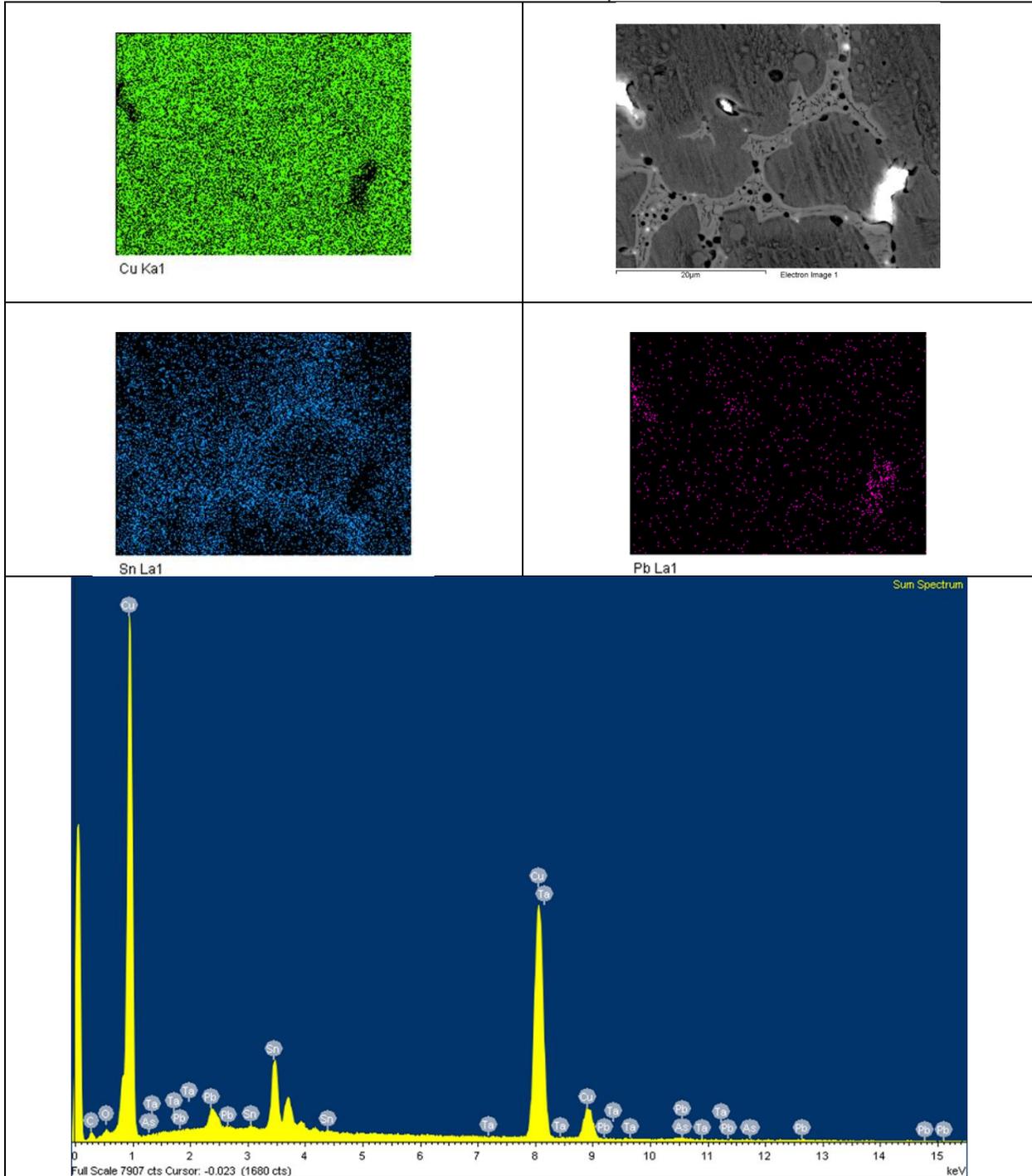


Fuente: autores del proyecto

360 horas

Se observa que la dendrita se une nuevamente albergando inclusiones de plomo en granos más finos y distribuidos dentro de ella. También unas zonas claras donde netamente se agrupa el plomo.

Ilustración 16 distribución de los elementos probeta a 360 horas a 3000x



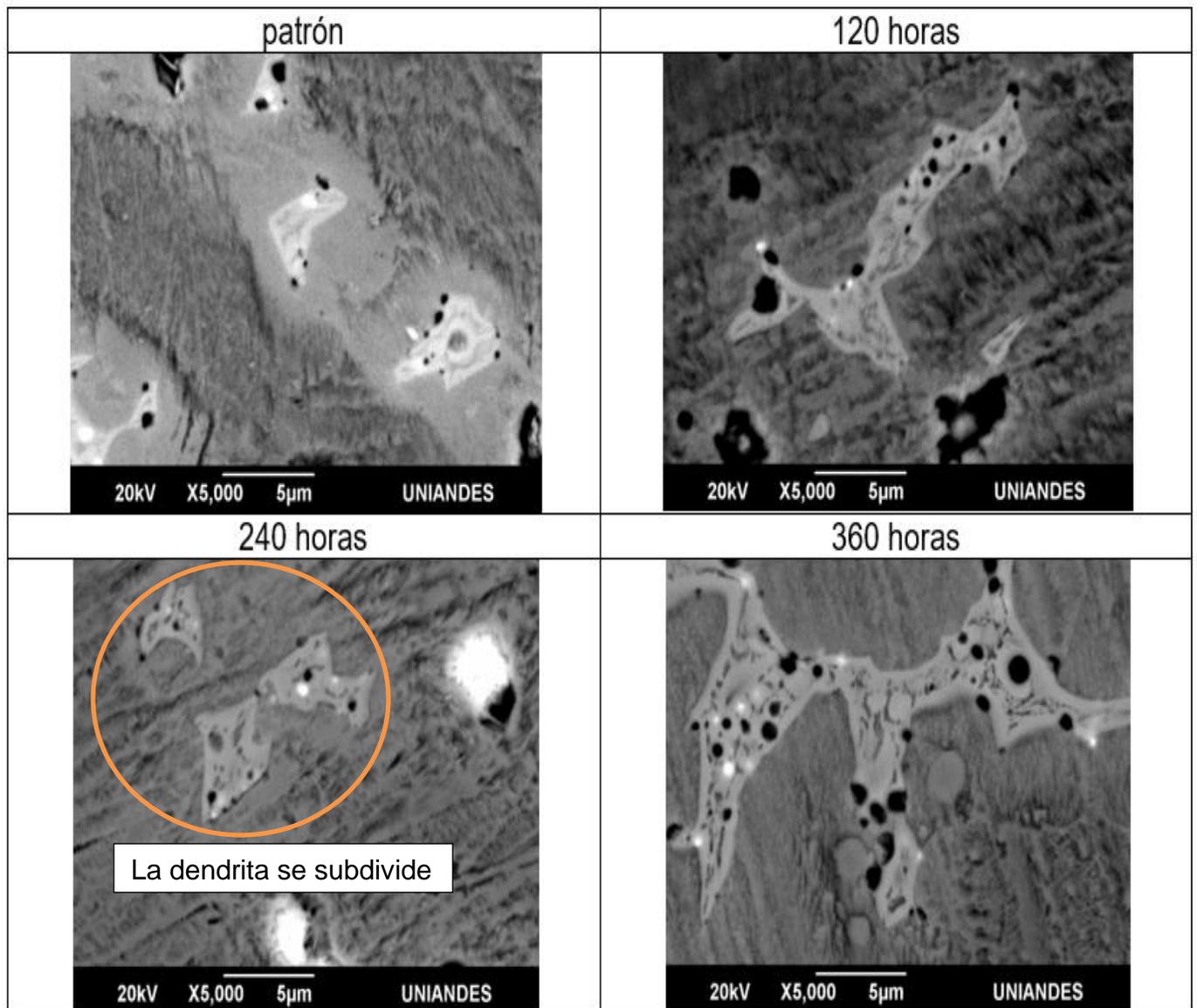
Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 17 se muestra que las dendritas se unen nueva mente y dentro de ellas aumentan las inclusiones de plomo.

Comparación a 5000x bronce SAE 64

Se evidencia el comportamiento de la fase (δ) a través del tiempo en el que estuvo en sumergido en nitrógeno líquido. Se puede observar el afinamiento, separación y unificación de la dendrita. (ver ilustración 17)

Ilustración 17 comparación del bronce SAE 64

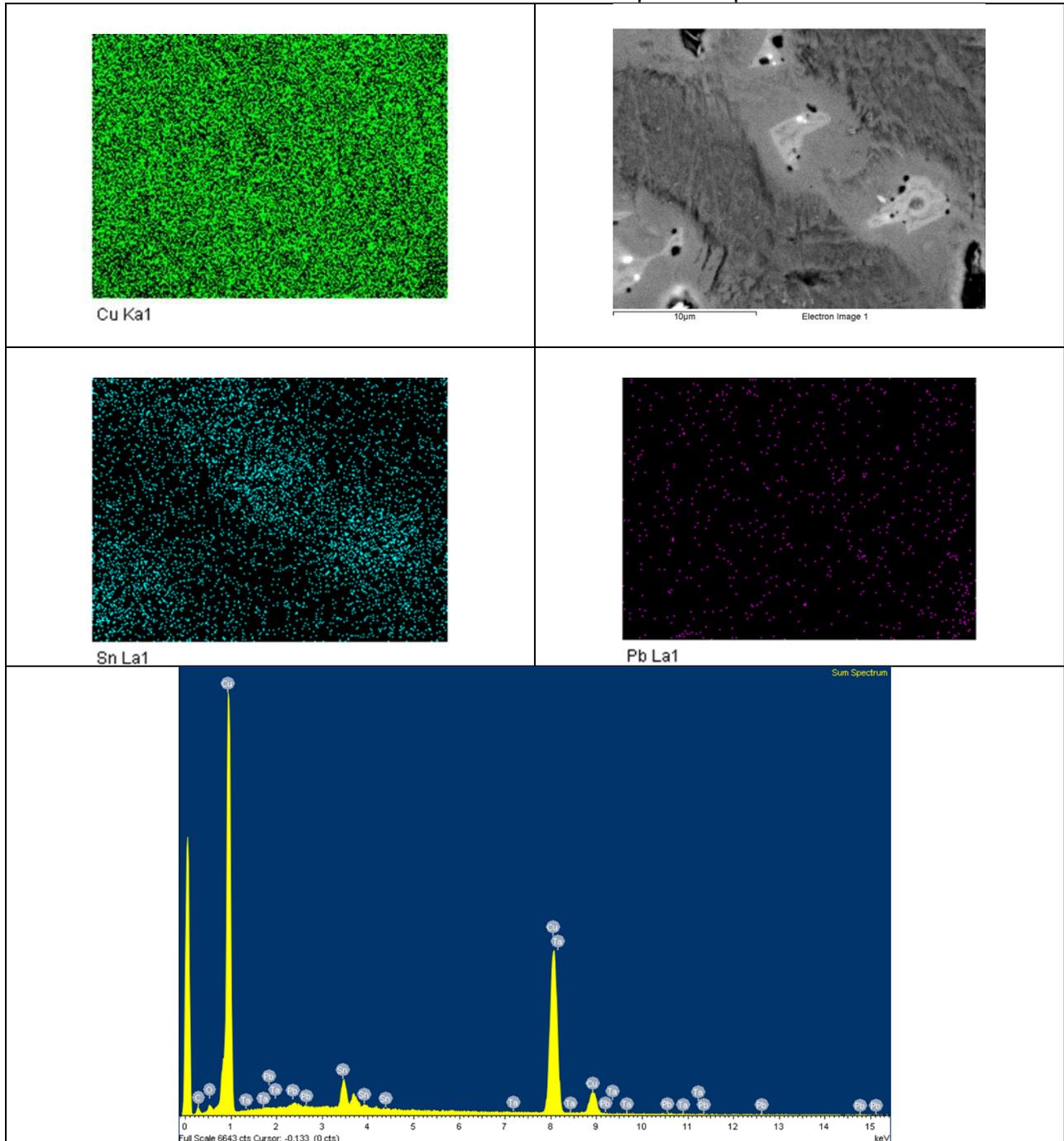


Fuente: autores del proyecto.

En las ilustración 18 se muestra con mayor precisión la acumulación de estaño en la fase (δ), también las regiones donde acumula plomo.

Patrón

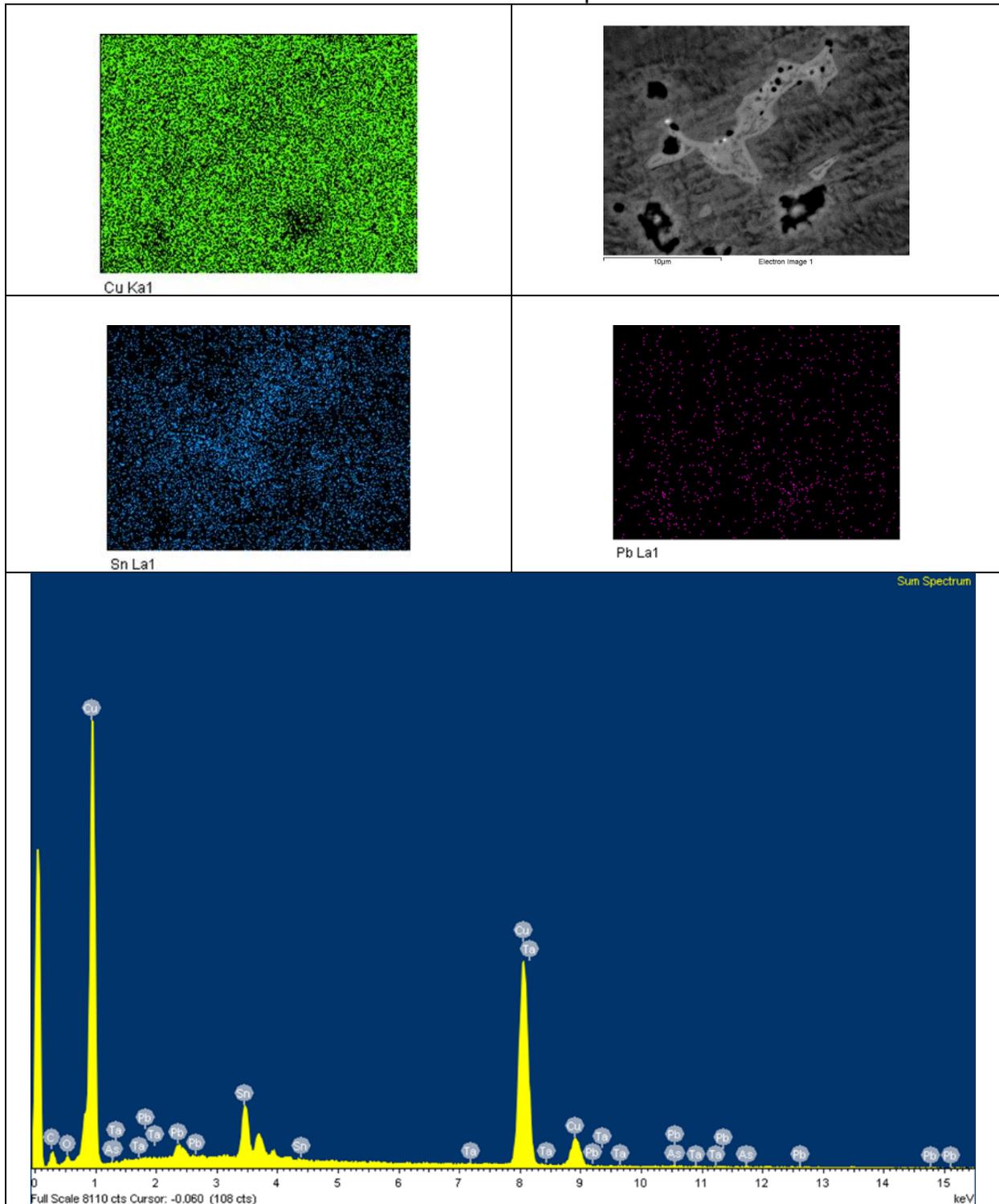
Ilustración 18 distribución de los elementos probeta patrón a 5000x



Fuente: autores del proyecto

120 horas

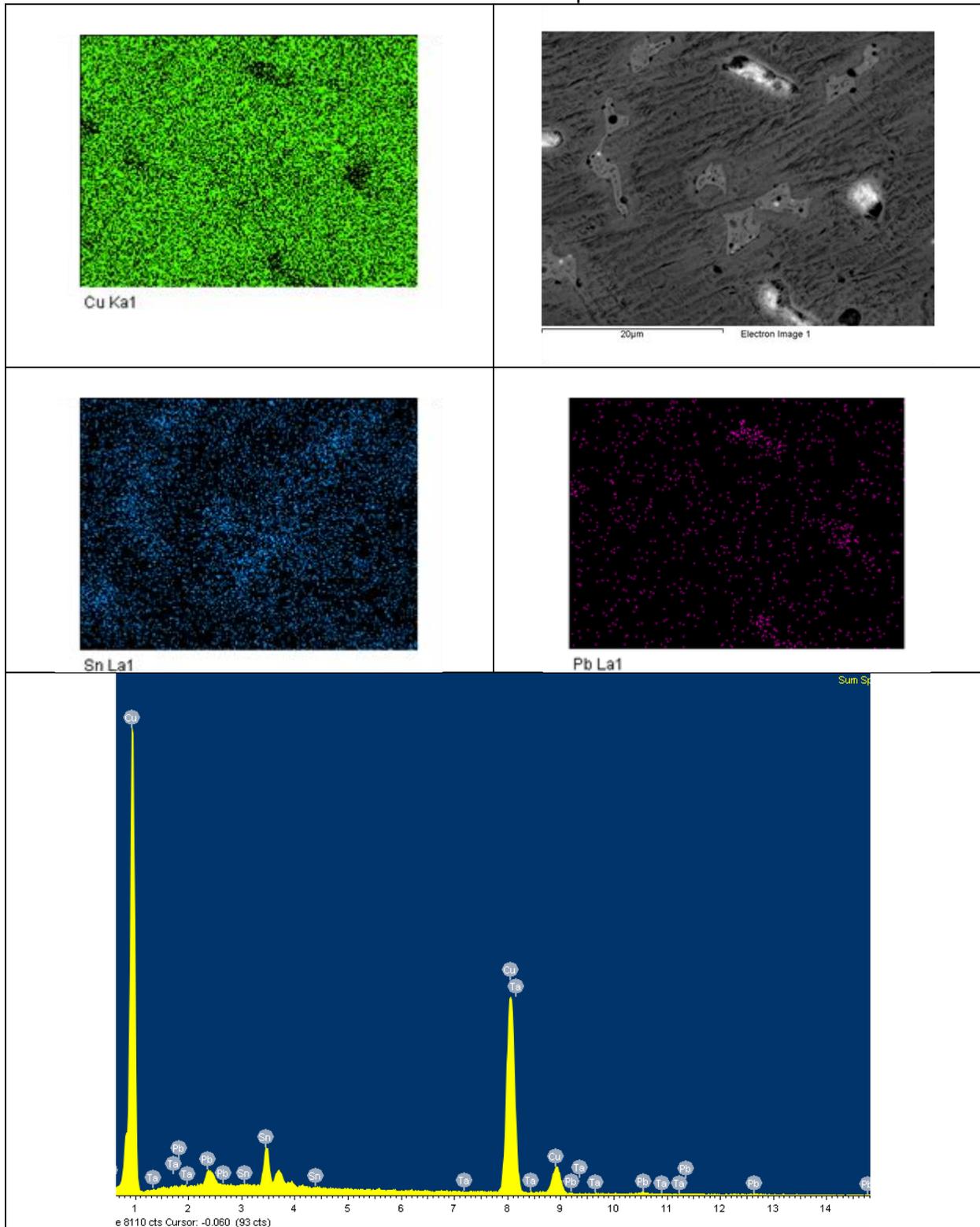
Ilustración 19 distribución de los elementos probeta a 120 horas a 5000x



Fuente: autores del proyecto

240 horas

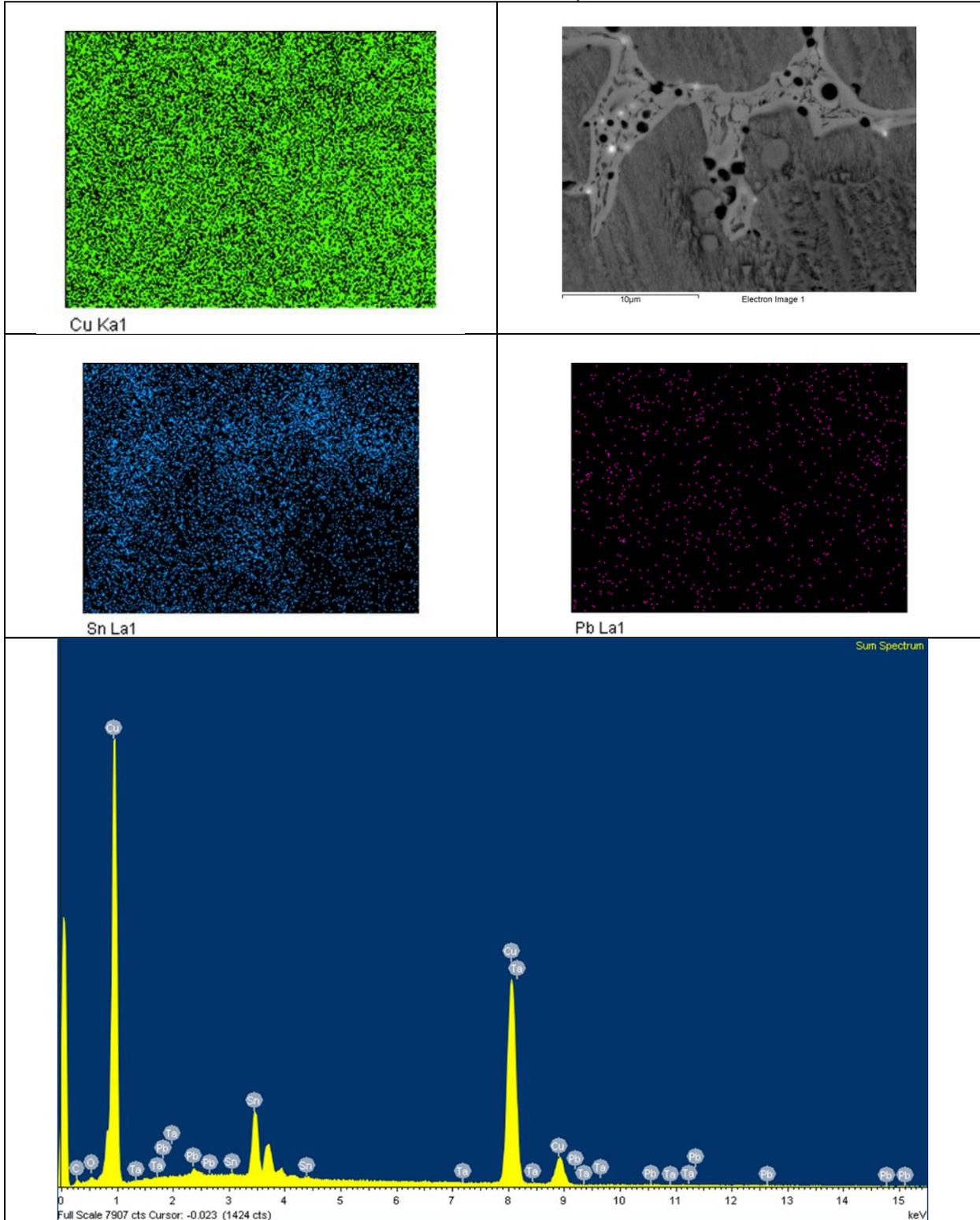
Ilustración 20 distribución de los elementos probeta a 240 horas a 5000x



Fuente: autores del proyecto

360 horas

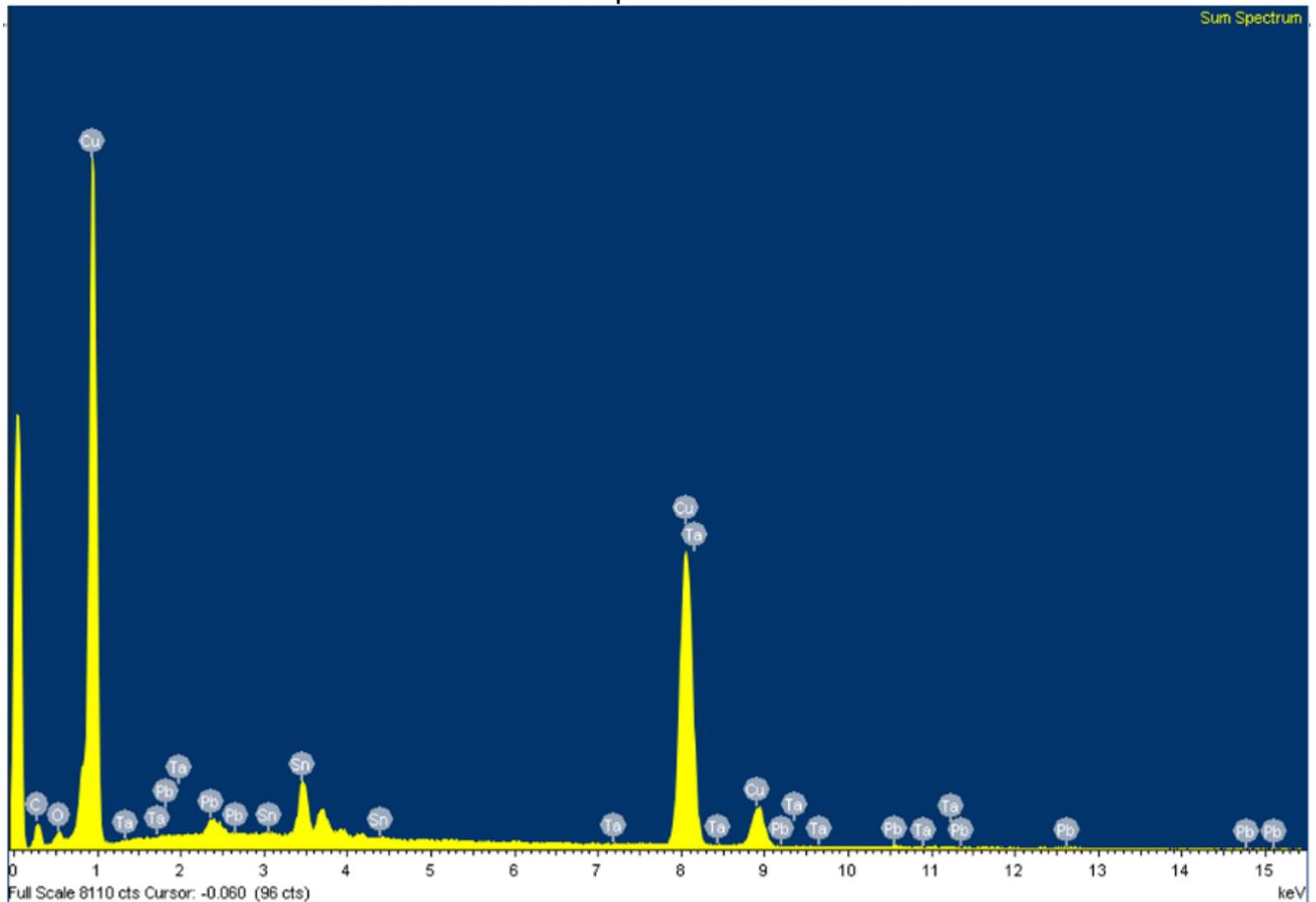
Ilustración 21 distribución de los elementos probeta a 360 horas a 5000x



Fuente: autores del proyecto.

Análisis químico de bronce SAE 64

Ilustración 22 análisis químico bronce SAE 64



Fuente: autores del proyecto

En la ilustración 22 muestra los elementos encontrados en las probetas de bronce SAE 64. Principalmente se encuentra Cobre, Estaño y plomo. .

8.2.1.1 Discusión (SEM) en bronce SAE 64

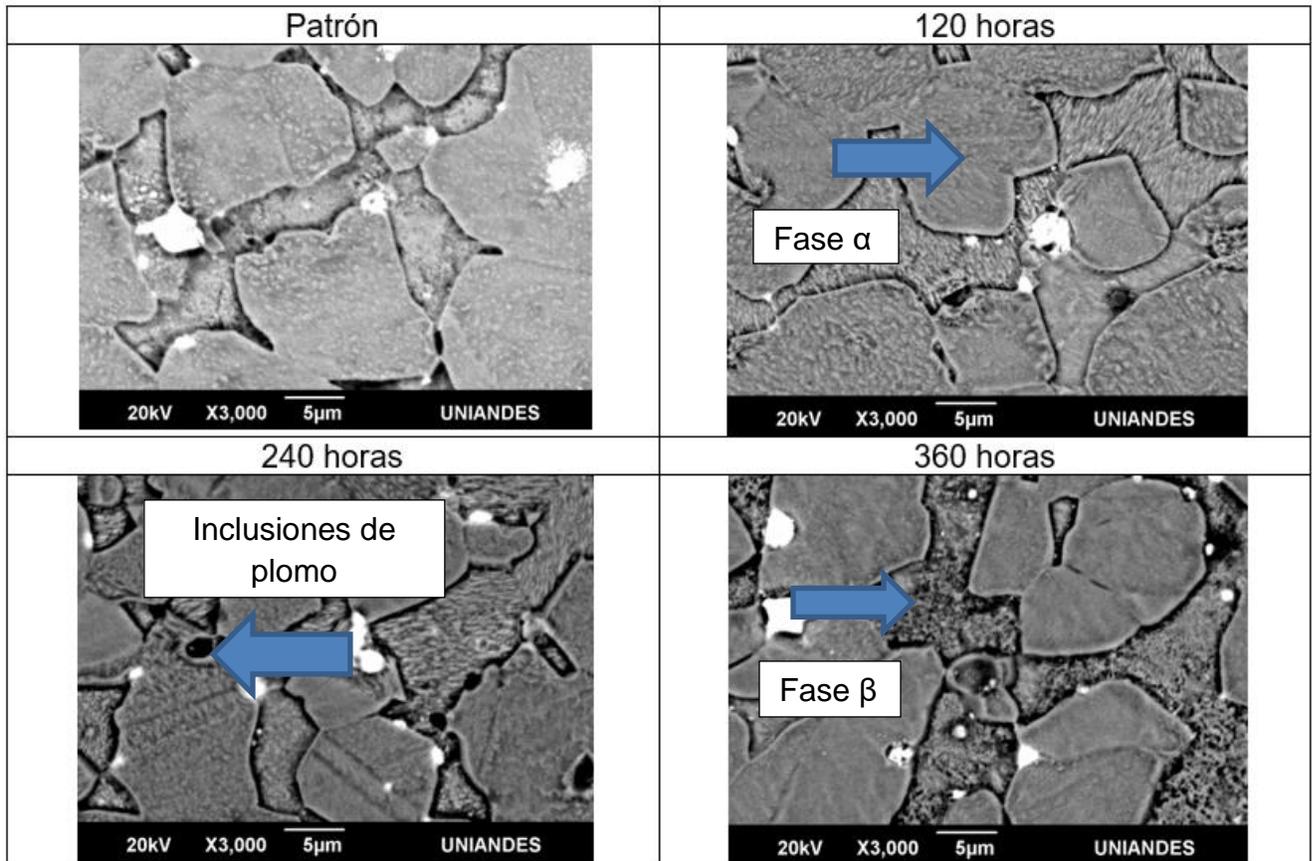
Se parte de la imagen de la probeta patrón que muestra las fases anteriormente mencionadas y hay mayor acumulación de estaño en la fase delta al igual que inclusiones de plomo, luego se ve una reducción de tamaño de la dendrita a 120 hr lo cual nos dice que tuvo una afinación, en la probeta de 240 hr se observa que la dendrita afinada se divide en de partes de un tamaño similar y finalmente se observa que la fase delta en la probeta sumergida 360 hr tiende a unirse en una dendrita de un tamaño similar a la de 240 hr.

8.2.1 Latón 60-40

Comparación a 3000x

En los puntos más claros se muestra una acumulación de plomo que está en las zonas más oscuras de la imagen es decir en las zonas donde se encuentra la fase (β)

Ilustración 23 comparación de probetas de latón 60-40 a 3000x (SEM)

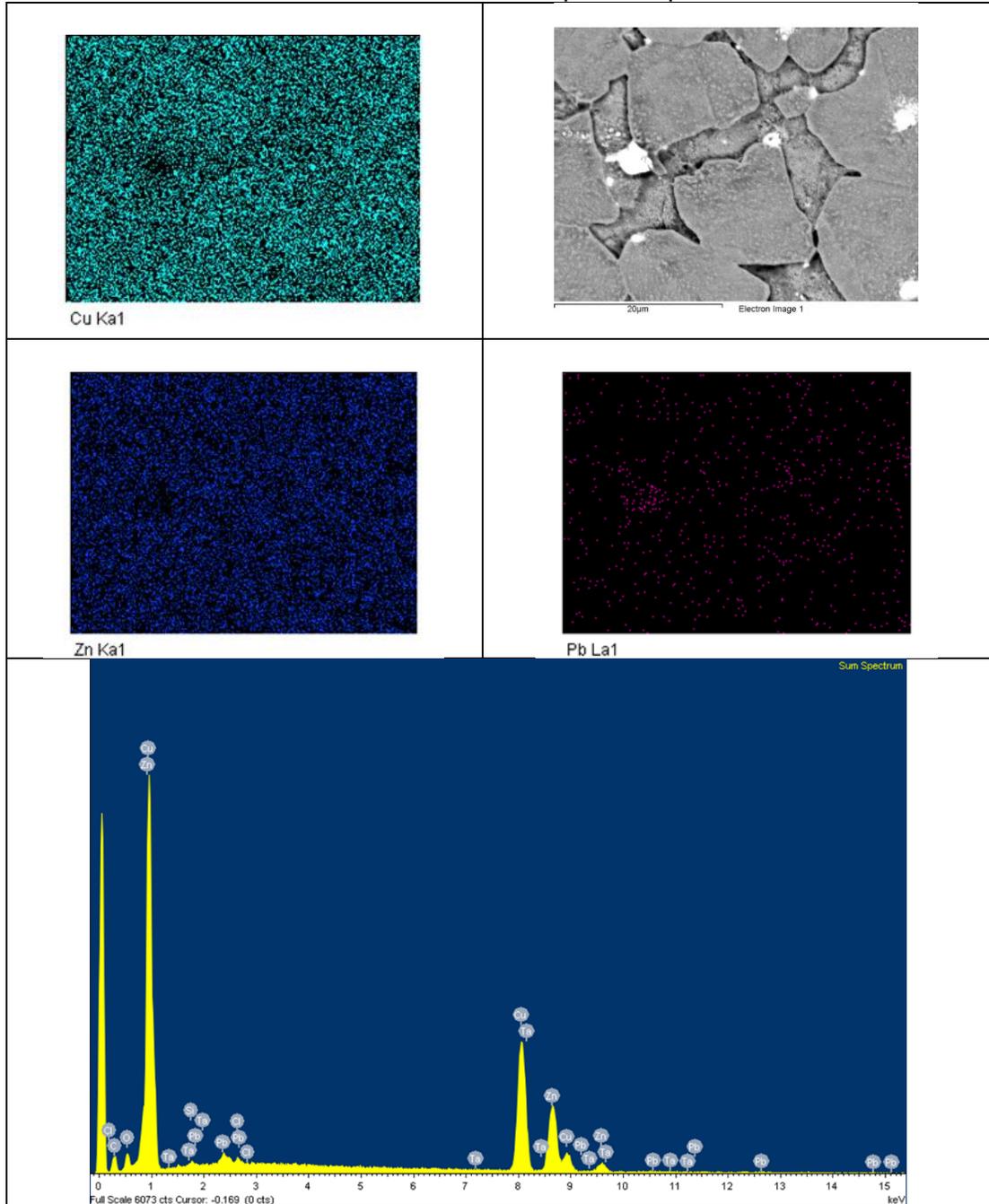


Fuente: autores del proyecto

En las ilustración 24 se muestra la distribución de los elementos en las fases de la aleación. No se aprecia cambios en las estructuras analizadas, se puede distinguir las fases de la materia las cuales son (α) y (β). También se observa una acumulación de plomo en los más claros. Se distingue el tamaño de grano fácilmente.

Probeta patrón.

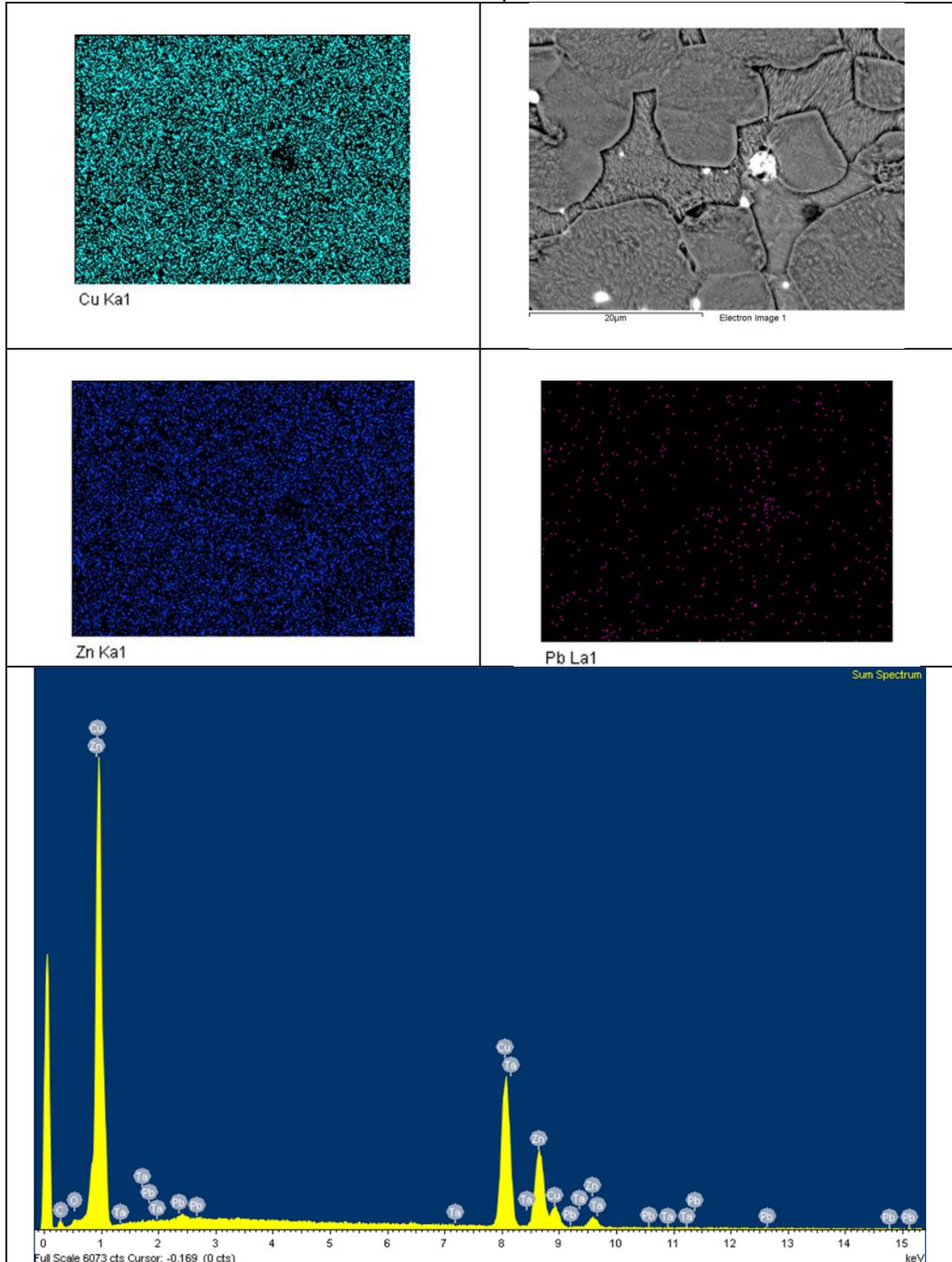
Ilustración 24 distribución de los elementos probeta patrón a 3000x



Fuente. Autores del proyecto.

120 horas

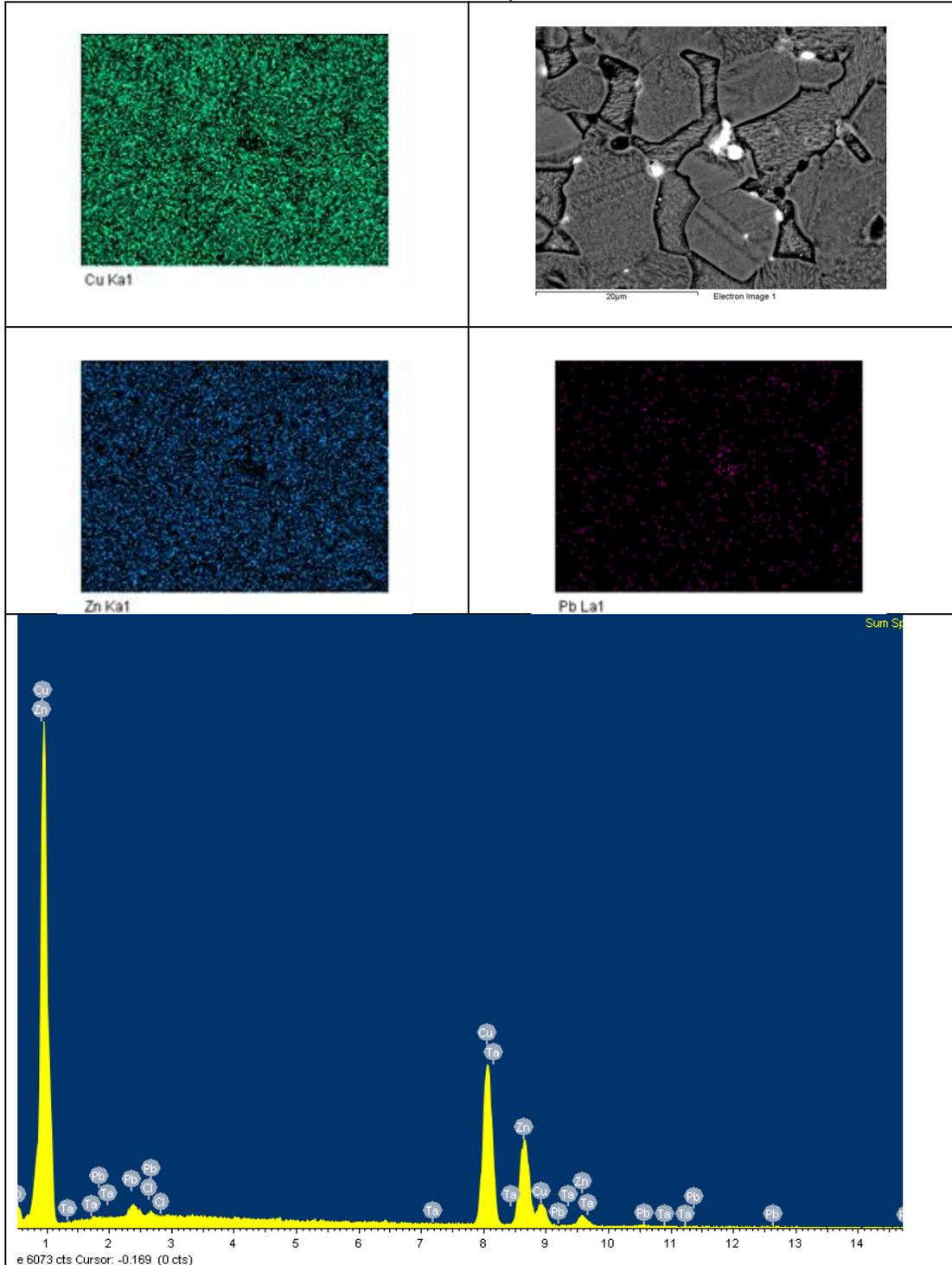
Ilustración 25 distribución de los elementos probetas a 120 horas a 3000x



Fuente: autores del proyecto.

240 horas

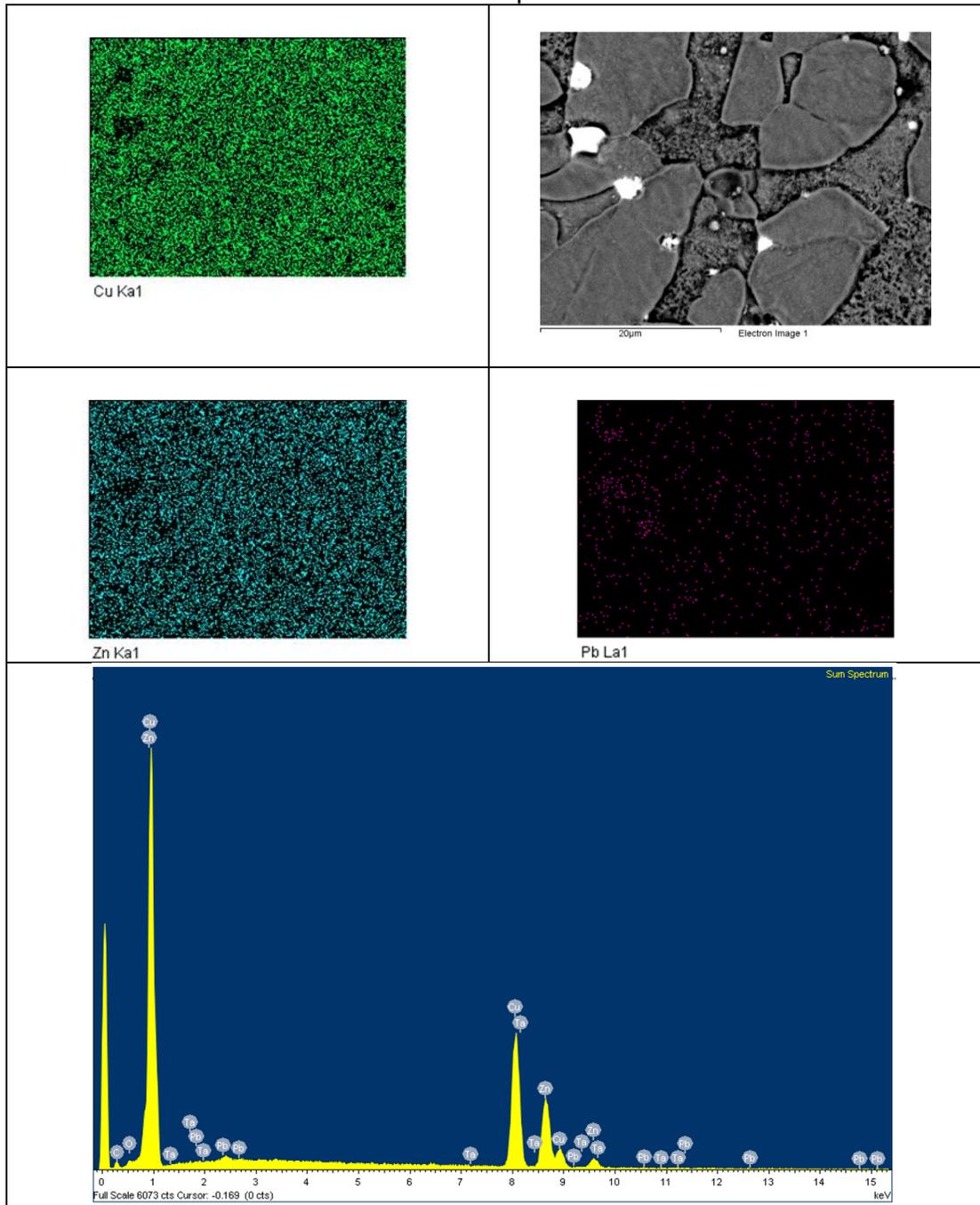
Ilustración 26 distribución de los elementos probeta a 240 horas a 3000x



Fuente: autores del proyecto

360 horas

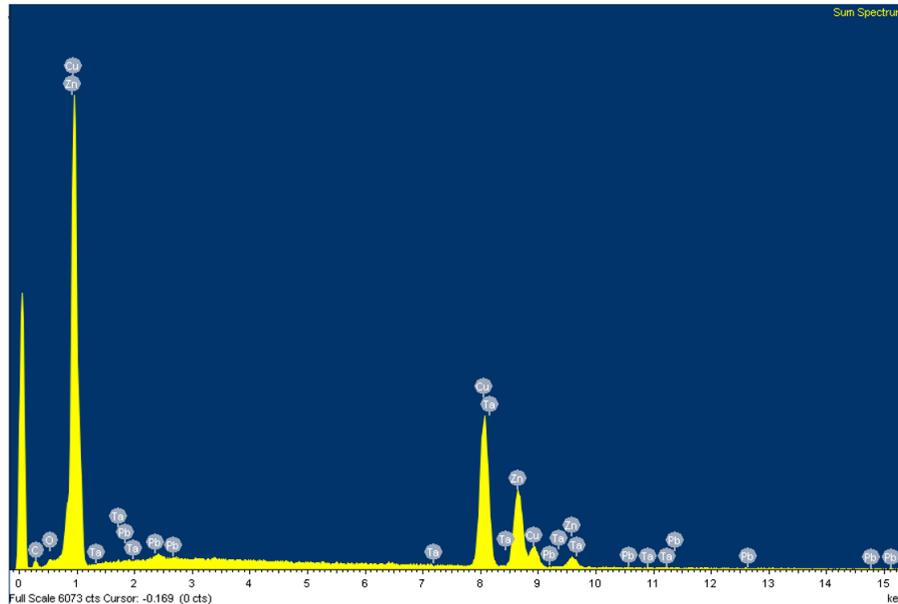
Ilustración 27 distribución de los elementos probetas a 360 horas a 3000x



Fuente: autores del proyecto

análisis químico de latón 60-40

Ilustración 28 Análisis químico latón 60-40



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 49 se muestra un alto contenido de Cobre y Zinc también hay una evidencia de Plomo, Tantalio, cloro y Oxígeno en cantidades mínimas.

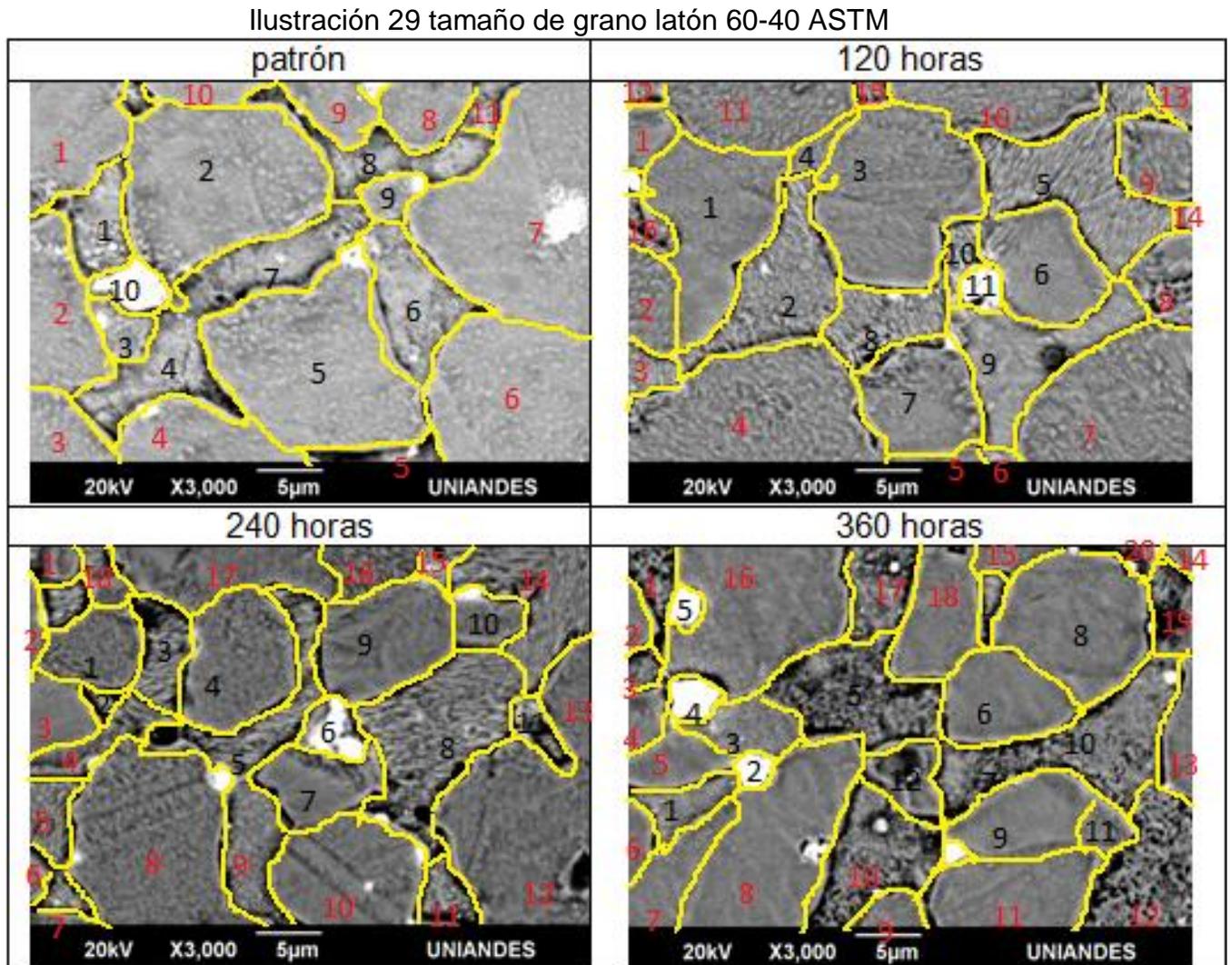
8.2.1.1 Discusión (SEM) para el latón 60-40

Microscopia electrónica de barrido y espectroscopia por dispersión de rayos

Se evidencia la presencia y acumulación de plomo en algunas zonas brillantes entre los límites de grano de la fase alfa y dentro de la fase beta y una acumulación de zinc propia de la fase beta, de acuerdo con la imagen y la ubicación de los elementos dispersos en esta.

8.2.2 Tamaño de grano latón 60-40

Se enumeraron los granos de las fases y se realizó el procedimiento para obtener el tamaño de grano por el método ASTM. en la ilustración 29 se muestra como se realizó la medición del tamaño de grano. También se muestra las ecuaciones involucradas para hallar el tamaño de grano y su posterior solución.



Fuente: autores del proyecto

TAMAÑO DE GRANO ASTM

$$N = 2^{n_a - 1} = \text{cantidad de grano que hay en la muestra.}$$

μ = aumento del microscopio.

$$Q = 2 \log_2 \left(\frac{\mu}{100} \right) = \text{factor de corrección.}$$

$n_a = \text{tamaño de grano aparente.}$

$n = n_a + Q = \text{tamaño de grano}$

Los resultados fueron:

Tabla 17 tamaño de grano latón 60-40 astm

tamaño de grano ASTM				
tiempo	patrón	120 horas	240 horas	360 horas
granos medios	11	16	18	19
granos enteros	10	11	10	11
aumento del microscopio	3000x			
factor de corrección	9.81			
tamaño de grano aparente	4.95	5.25	5.25	5.35
tamaño de grano	14.76	15.06	15.06	15.16

Fuente: autores del proyecto.

Lo que indica que el tamaño de grano no varió.

8.3 Dimensionamiento probetas

Las medidas tomadas antes y después del tratamiento (ver tabla 18) en las probetas no muestran cambios que se deban tener en cuenta.

Tabla 18 dimensionamiento probetas

tomadas con el micrometro digital shars.									
dimecionamiento de probetas antes del tratamiento termico.					dimensionamiento de probetas despues del tratamiento				
tiempo	material				tiempo	material			
	laton		bronce			laton		bronces	
	altura (in)	diametro (in)	altura (in)	diametro (in)		altura (in)	diametro (in)	altura (in)	diametro (in)
120-1	0.794	1.001	0.795	1.089	120-1	0.791	1.001	0.793	1.089
120-2	0.794	0.999	0.759	1.088	120-2	0.794	0.999	0.759	1.088
120-3	0.801	0.999	0.798	1.085	120-3	0.801	0.999	0.798	1.085
120-4	0.78	0.999	0.771	1.09	120-4	0.779	0.999	0.77	1.09
120-5	0.79	0.998	0.762	1.09	120-5	0.789	0.998	0.762	1.09
240-1	0.797	0.999	0.781	1.09	240-1	0.796	0.999	0.781	1.09
240-2	0.794	0.999	0.784	1.087	240-2	0.793	0.999	0.782	1.087
240-3	0.79	0.999	0.769	1.086	240-3	0.789	0.999	0.769	1.086
240-4	0.7965	0.999	0.748	1.087	240-4	0.796	0.999	0.747	1.087
240-5	0.787	0.998	0.785	1.089	240-5	0.785	0.998	0.785	1.089
360-1	0.798	1.001	0.78	1.088	360-1	0.797	1.001	0.78	1.088
360-2	0.782	1.001	0.772	1.091	360-2	0.78	1.001	0.771	1.091
360-3	0.774	0.999	0.78	1.086	360-3	0.774	0.999	0.776	1.086
360-4	0.785	0.998	0.771	1.088	360-4	0.784	0.998	0.771	1.088
360-5	0.693	0.998	0.772	1.09	360-5	0.693	0.998	0.77	1.09

Fuente: autores del proyecto

El cambio promedio en las dimensiones de la probeta en estado entrega respecto a las probetas tratadas no supera el 1% de acuerdo a los datos tomados.

8.4 Durezas Vickers

Se realiza una tabla comparativa en la probeta patrón y cada uno de los promedios de las probetas expuestas al tratamiento criogénico con el fin de observar si se presentaron cambios en cada uno de los materiales.

8.4.1 Bronce SAE 64

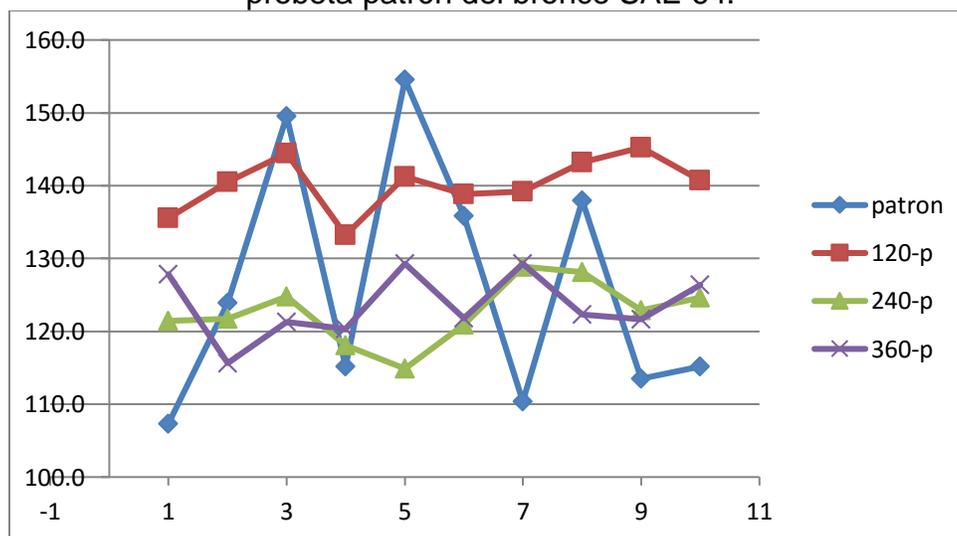
La tabla 19 nos muestra la comparación de la probeta patrón y los promedios de las probetas a los diferentes tiempos de exposición al nitrógeno líquido. En la grafica 2 se muestran los resultados del comportamiento de las durezas Vickers.

Tabla 19. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del bronce SAE 64.

toma	patrón	120-p	240-p	360-p
1	107,3	135,5	121,5	127,8
2	123,9	140,5	121,7	115,6
3	149,5	144,5	124,8	121,3
4	115,2	133,2	118,1	120,4
5	154,5	141,2	114,9	129,3
6	135,8	138,8	120,9	121,8
7	110,4	139,2	128,9	129,3
8	138,0	143,2	128,1	122,3
9	113,5	145,2	122,9	121,6
10	115,2	140,7	124,7	126,4

Fuente: autores del proyecto.

grafica 2. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del bronce SAE 64.



Fuente: autores del proyecto.

8.4.1.1 Discusión dureza Vickers bronce SAE 64

En las pruebas de microdureza se presenta un aumento entre la probeta patrón y la probeta de 120 hr, de 126 HV (300/30) a 140.2 HV(300/30) lo cual representa una tasa de cambio del 9.9% en la dureza de estas dos probetas y en las otras dos (240, 360 hr) el porcentaje muestra una disminución del 3%, esto significa que hubo un ablandamiento en la dureza de la superficie.

8.4.2 Latón 60-40

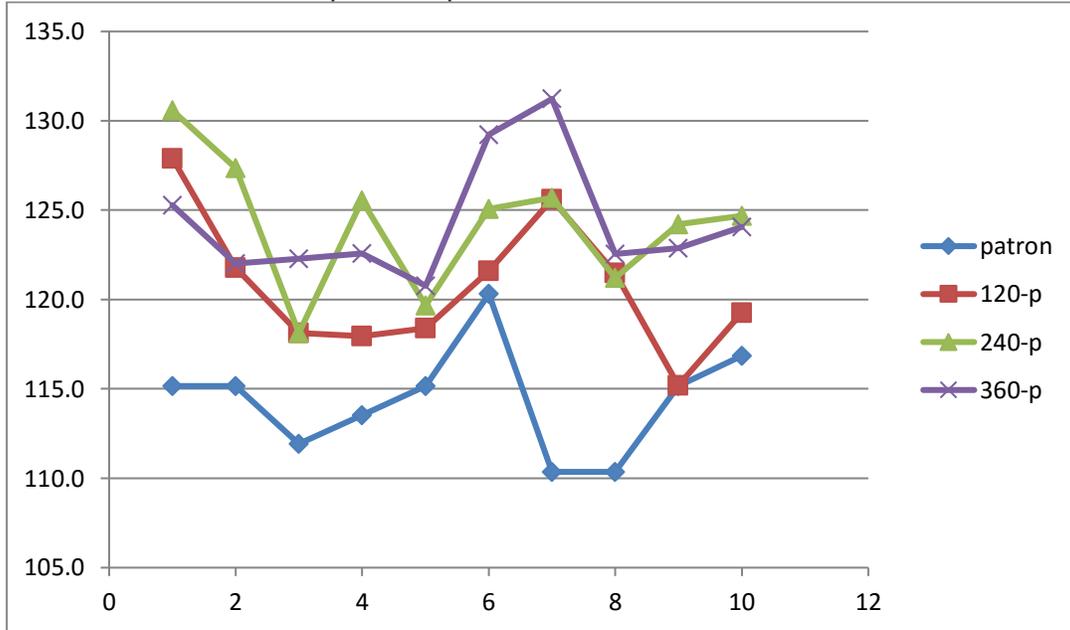
Se parte de la imagen de la probeta patrón que muestra las fases anteriormente mencionadas y hay mayor acumulación de estaño en la fase delta al igual que inclusiones de plomo, luego se ve una reducción de tamaño de la dendrita a 120 hr lo cual nos dice que tuvo una afinación, en la probeta de 240 hr se observa que la dendrita afinada se divide en de partes de un tamaño similar y finalmente se observa que la fase delta en la probeta sumergida 360 hr tiende a unirse en una dendrita de un tamaño similar a la de 240 hr.en la tabla 20 se realizó la comparación entre la probeta patrón y los promedios de dureza Vickers de las probetas tratadas. En la gráfica 3 se muestra el comportamiento de la dureza Vickers en los resultados de la tabla 20.

Tabla 20. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del latón 60-40

toma	patrón	120-p	240-p	360-p
1	115,2	127,9	130,6	125,3
2	115,2	121,8	127,3	122,0
3	111,9	118,1	118,1	122,3
4	113,5	118,0	125,5	122,6
5	115,2	118,4	119,7	120,8
6	120,3	121,6	125,1	129,2
7	110,4	125,6	125,7	131,2
8	110,4	121,5	121,2	122,6
9	115,2	115,2	124,2	122,9
10	116,8	119,3	124,7	124,1

Fuente: autores del proyecto.

grafica 3. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del latón 60-40



Fuente: autores del proyecto

8.4.2.1 Discusión microdureza latón 60-40

En cuanto a microdureza, se muestra un cambio de 114.4 HV (300/30) de la probeta sin tratar a 123 HV (300/30) de las probetas tratadas, lo cual representa una tasa de cambio del 7% en cuanto a una dureza superficial. . Cada una de las probetas muestran picos altos y bajos, lo que indica que el valor de dureza Vickers vario de acuerdo a la fase en la que se tomó la medición. Siendo la fase (β) la que mostro resultados de dureza mas altos.

8.5 Dureza brinell

Se realiza una tabla comparativa en la probeta patrón y cada uno de los promedios de las probetas expuestas al tratamiento criogénico con el fin de observar si se presentaron cambios en cada uno de los materiales.

8.5.1 Bronce SAE 64

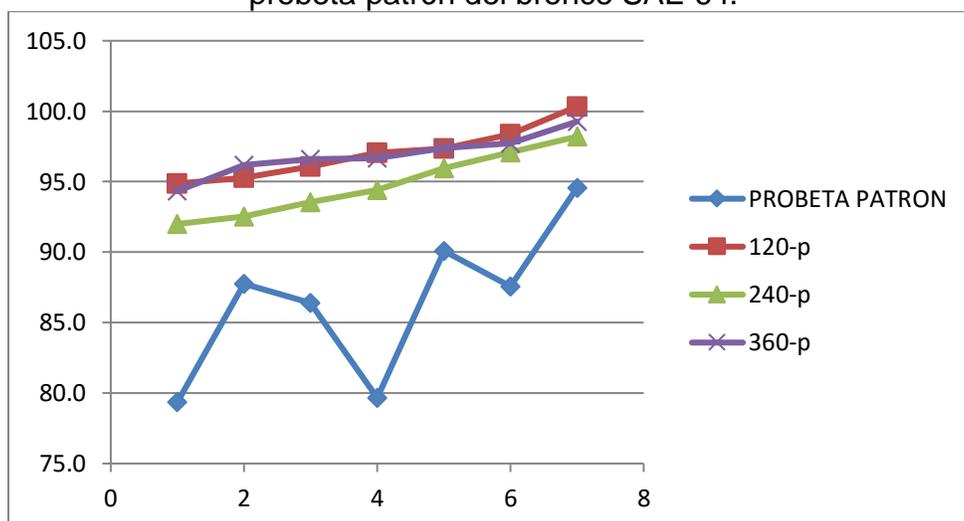
En la tabla 21 se muestran los valores de dureza brinell del bronce SAE 64, de la probeta patrón y el promedio general de cada uno de los tiempos del tratamiento criogénico. En la gráfica 4 se muestra el comportamiento de la dureza brinell en los resultados de la tabla 21.

Tabla 21. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del bronce SAE 64.

	PROBETA PATRÓN	120-p	240-p	360-p
1	79,4	94,9	92,0	94,3
2	87,8	95,3	92,5	96,2
3	86,4	96,1	93,5	96,6
4	79,7	97,0	94,4	96,7
5	90,1	97,3	96,0	97,4
6	87,6	98,4	97,1	97,7
7	94,6	100,3	98,2	99,3

Fuente: autores del proyecto.

grafica 4. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del bronce SAE 64.



Fuente: autores del proyecto.

8.5.1.1 Discusión dureza brinell del bronce SAE 64

En las pruebas de dureza Brinell se tienen como medidas de interés, las de la probeta en estado de entrega de 86.5 HB y estas pasaron a un promedio de 96.2 HB en las probetas tratadas, lo cual muestra un cambio del 10% aproximadamente en este ítem.

8.5.2 Latón 60-40

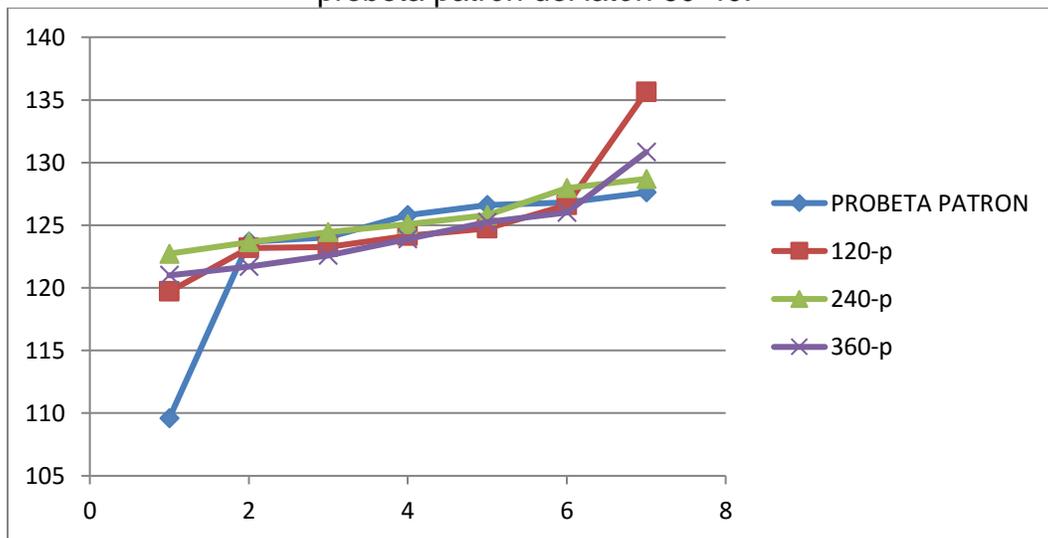
En la tabla 22 se muestran los valores de dureza brinell del latón 60-40, de la probeta patrón y el promedio general de cada uno de los tiempos del tratamiento criogénico. En la gráfica 5 se muestra el comportamiento de la dureza brinell en los resultados de la tabla 22.

Tabla 22. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del latón 60-40

ITEM	PROBETA PATRÓN	120-p	240-p	360-p
1	109,6	119,7	122,7	121,0
2	123,7	123,2	123,7	121,7
3	124	123,3	124,4	122,6
4	125,8	124,2	125,1	123,9
5	126,6	124,7	125,8	125,3
6	126,8	126,6	127,9	126,0
7	127,6	135,6	128,7	130,8

Fuente: autores del proyecto.

grafica 5. comparación entre las probetas expuestas al tratamiento criogénico y la probeta patrón del latón 60-40.



Fuente: autores del proyecto.

8.5.2.1 Discusión dureza latón 60-40

De acuerdo a los datos obtenidos mediante las pruebas de dureza Brinell se tiene como datos interesantes, que las mediciones pasaron de 123.4 HB del estado de entrega del material a un promedio de 125.2 HB de las probetas sumergidas en nitrógeno, lo cual no muestra un cambio significativo en los datos.

8.6 Ensayo pin on disk

En la tabla 23 se muestra los parámetros utilizados para la realización del ensayo de desgaste abrasivo pin on disk, los cuales fueron establecidos de acuerdo a la norma ASTM G99. Este ensayo se realizó de manera comparativa entre la probeta patrón y las probetas expuestas al tratamiento criogénico.

Tabla 23 parámetros ensayo pin on disk

ENSAYOS FRICCIÓN/DESGASTE (circunferencial)			
PROYECTO:	Trabajo de grado	REF.	FECHA: 42569.68
PROCEDIMIENTO:	Pin on disk	OPERARIO	Guillermo Vargas
CONDICIONES DE ENSAYO			
Material Disco	Material Bola	Lubricante	Diam.Bola(mm)
bronce	Acero	no	3.00
Vel. ensayo(rpm)	Radio(mm)	Peso aplicado(N)	Distancia(m)
300.00	5.00	5.00	300.00

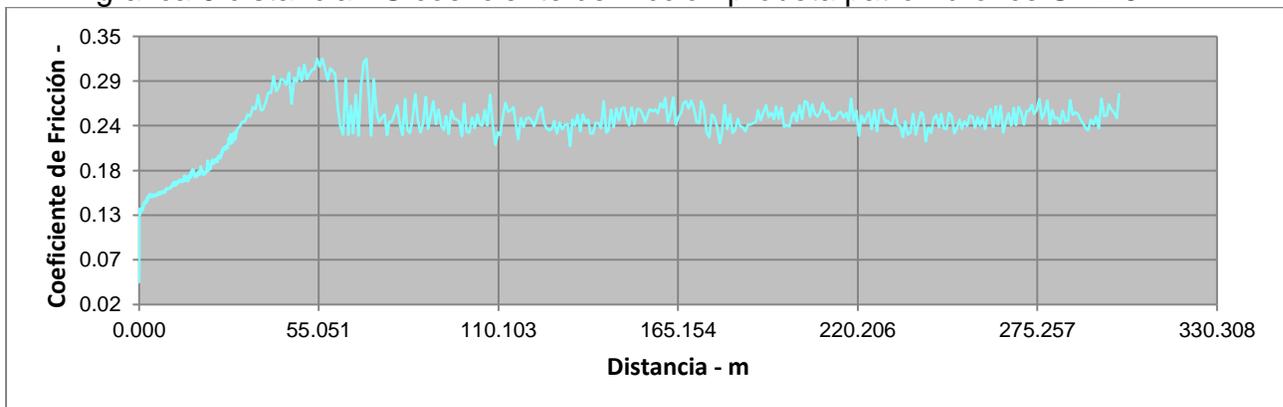
Fuente: autores del proyecto

El resultado principal que muestra el ensayo de desgaste abrasivo pin on disk es una gráfica obtenida por medio del software vinculado al tribómetro, donde involucra la distancia recorrida y el comportamiento del coeficiente de fricción. El valor promedio de este coeficiente de fricción se toma en la región más estable de la gráfica. En los resultados de cada probeta se muestra la gráfica de distancia VS coeficiente de fricción y una tabla en la cual se incluye una imagen de la huella generada por el desgaste del ensayo, un diagrama de colores donde se muestra la variación de la profundidad de la huella y un modelamiento en 3D.

8.6.1 Bronce SAE 64

Patrón

grafica 6 distancia VS coeficiente de fricción probeta patrón bronce SAE 64



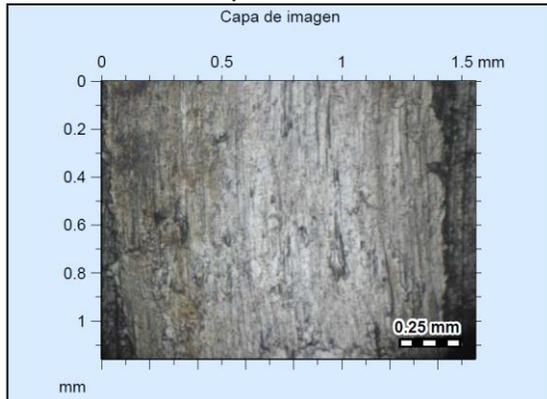
Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.26

En la gráfica 6 se muestran los resultados del coeficiente de fricción VS la distancia recorrida. El coeficiente de fricción se estabilizó en promedio después de los 110 m.

Tabla 24 análisis de huella bronce SAE 64 probeta patrón.

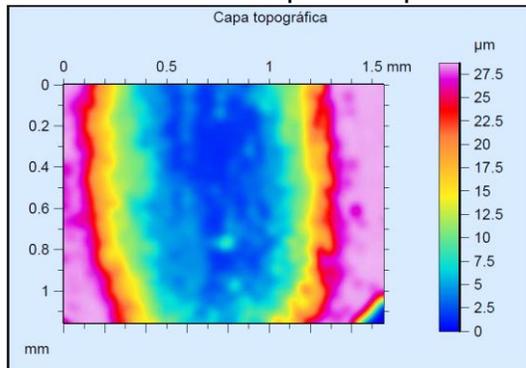
Ilustración 30. huella generada por el ensayo pin on disk para el bronce SAE 64 probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 30 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x, la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

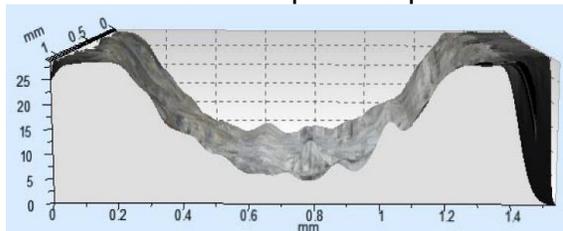
Ilustración 31. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 31 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 30. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.4 mm de ancho de surco y una profundidad de 25 μm , y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 32. modelamiento de la huella de bronce SAE 64 probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

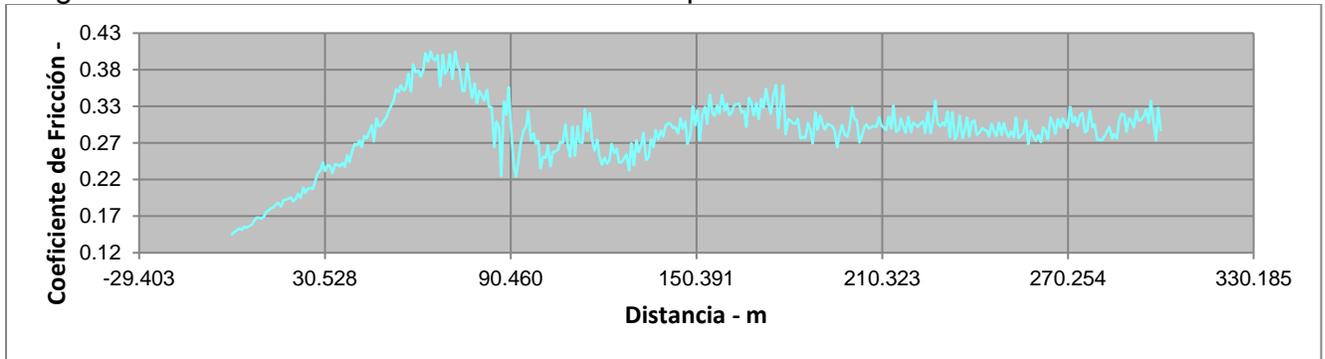
En la ilustración 32 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

Fuente: autores del proyecto.

En las ilustraciones (30 a 33) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 27.5 μm .

Graficas 120 horas

grafica 7 distancia VS coeficiente de fricción probeta A 120 horas bronce SAE 64

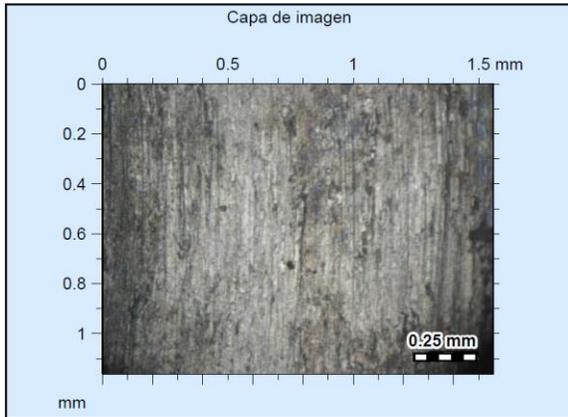


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.29

Tabla 25 análisis de huella bronce SAE 64 a 120 horas.

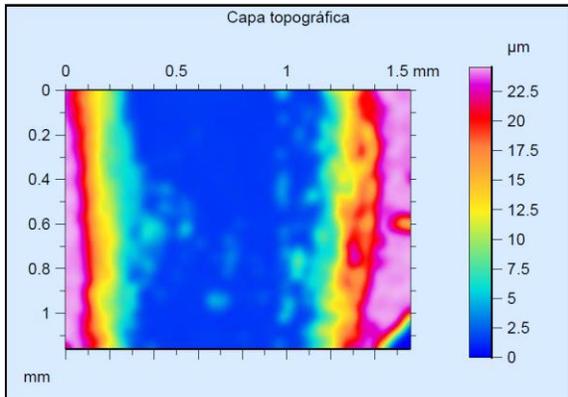
Ilustración 33. huella generada por el ensayo pin on disk para el bronce SAE 64 a 120 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 33 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

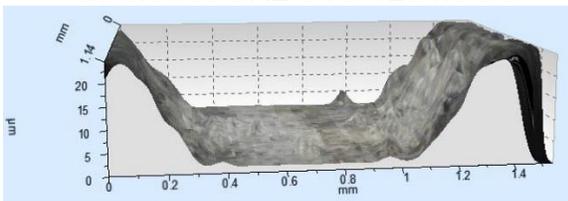
Ilustración 34. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a 120 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 34 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 33. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.5 mm de ancho de surco y una profundidad de 20 µm, y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 35. modelamiento de la huella de bronce SAE 64 a 120 horas.



Fuente: autores del proyecto.

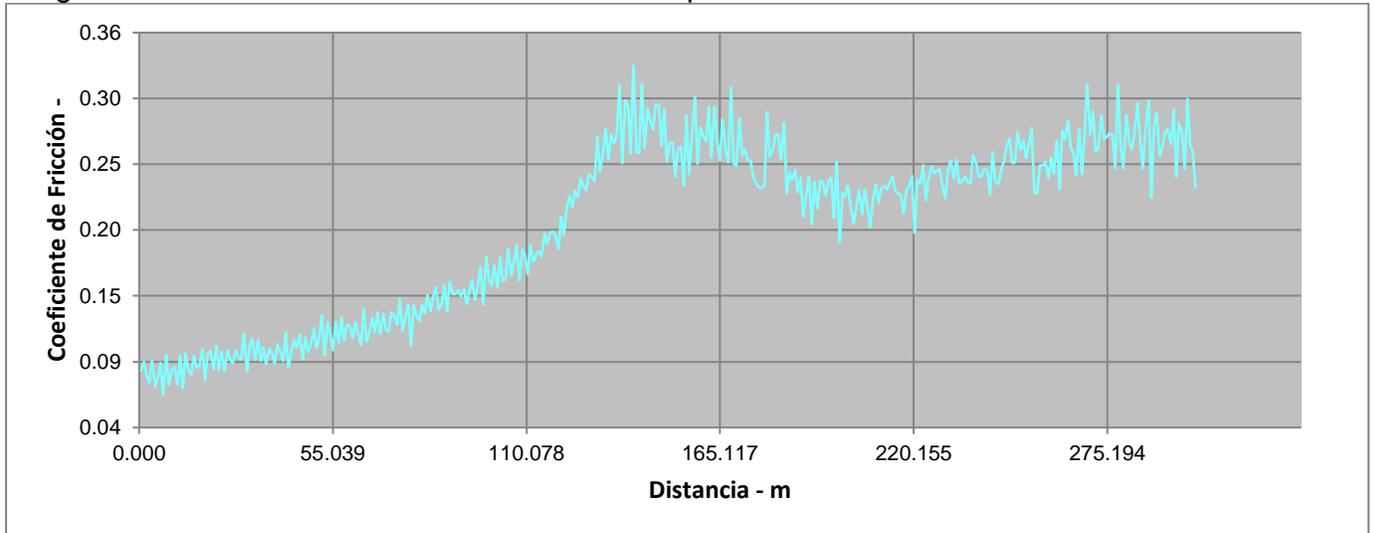
En la ilustración 35 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

Fuente: autores del proyecto.

En las ilustraciones (36 a 35) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 22.5 μm .

240 horas

grafica 8 distancia VS coeficiente de fricción probeta A 240 horas bronce SAE 64

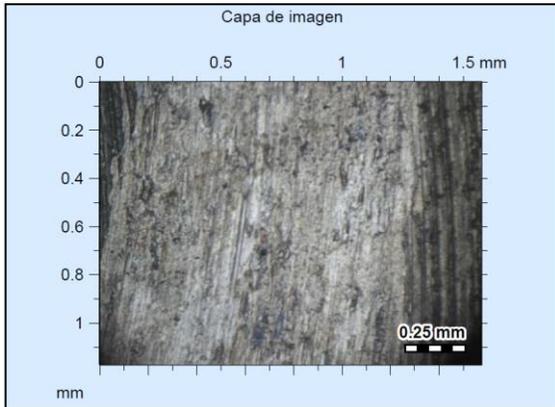


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.27

Tabla 26 análisis de huella bronce SAE 64 a 240 horas.

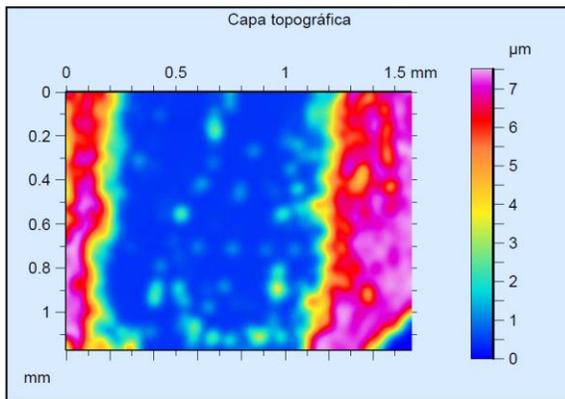
Ilustración 36. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a 240 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 36 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

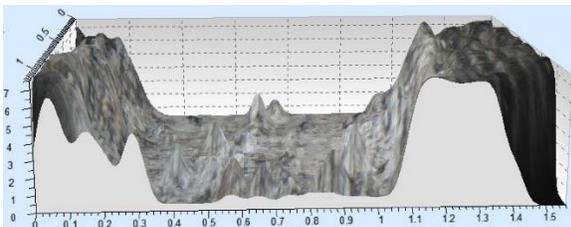
Ilustración 37. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a 240 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 37 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 36. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.2 mm de ancho de surco y una profundidad de 7 μm , y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 38. modelamiento de la huella de bronce SAE 64 a 240 horas



Fuente: autores del proyecto.

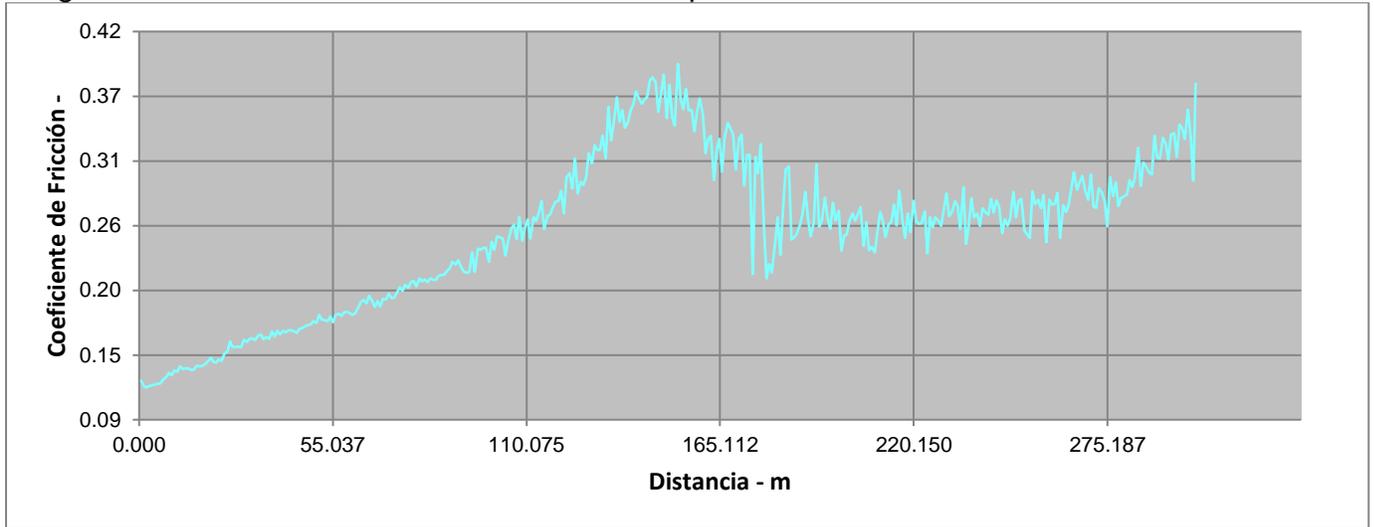
En la ilustración 38 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

Fuente: autores del proyecto.

En las ilustraciones (36 a 38) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 7 μm .

360 horas

grafica 9 distancia VS coeficiente de fricción probeta a 360 horas bronce SAE 64

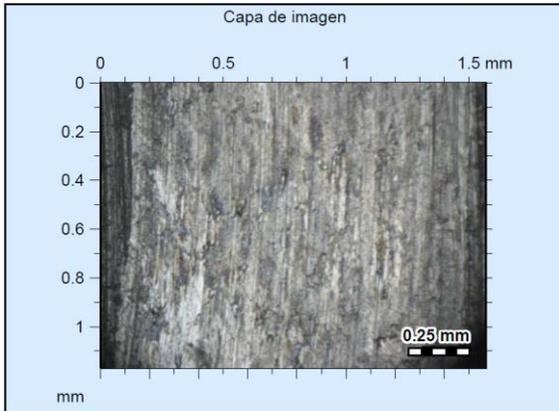


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.30

Tabla 27 análisis de huella bronce SAE 64 a 360 horas.

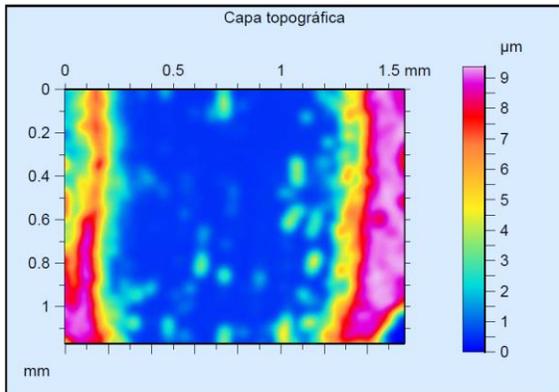
Ilustración 39. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a 360 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 39 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

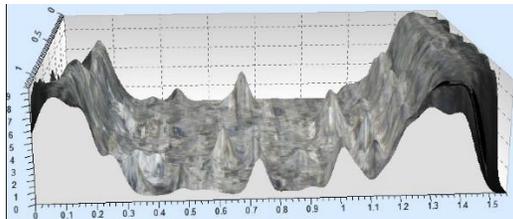
Ilustración 40. análisis profundidad de huellas bronce SAE 64 a 360 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 40 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 39. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.3 mm de ancho de surco y una profundidad de 8 µm, y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 41. modelamiento de la huella de bronce SAE 64 a 240 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 41 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

Fuente: autores del proyecto.

En las ilustraciones (39 a 41) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 8 μm .

Masa removida

Tabla 28 masa removida probetas bronce SAE 64. ensayo pin on disk

masa removida				
material	BRONCE SAE 64			
tiempo	patrón	120 horas	240 horas	360 horas
peso inicial (gr)	99.4138	102.7208	103.3464	102.8108
peso final (gr)	99.4095	102.7174	103.3453	102.8104
total, masa removida (gr)	0.0043	0.0034	0.0011	0.0004

Fuente: autores del proyecto

El orden en que las probetas perdieron material es el siguiente:

Tabla 29 comparación perdida de material bronce SAE 64

Probeta Patrón	0.0043 gr
120 horas	0.0034 gr
240 horas	0.0011 gr
360 horas	0.0004 gr

Fuente: autores del proyecto

Lo que indica que la incidencia del tratamiento criogénico en el bronce SAE 64 para la propiedad de resistencia al desgaste fue positiva.

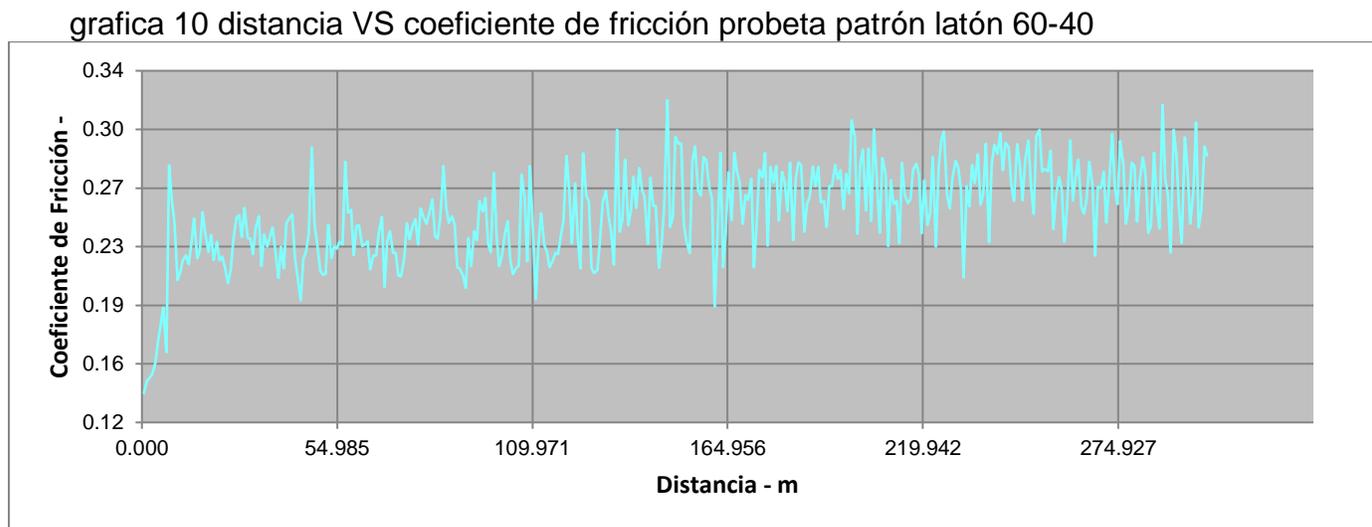
8.6.1.1 Discusión pruebas pin on disk en bronce SAE 64

Al aumentar el paso del tiempo de remojo del bronce, se evidencia una menor perdida de material, es decir la perdida en peso de la probeta patrón fue de 4.3 mg, la de 120 hr 3.4 mg, la de 240 hr fue de 1.1 mg y la de 360 hr 0.4 mg lo cual muestra que esta última tuvo una perdida en peso representativa con respecto al patrón.

En lo respecta a coeficientes de fricción los datos se encuentran de la siguiente manera la probeta patrón tuvo un coeficiente de 0.26, la de 120 hr 0.29, la de 240 hr 0.27, y la de 360 tuvo un coeficiente de fricción de 0.3. lo que muestra evidentemente que esta última tuvo una mayor resistencia al desgaste.

8.6.2 LATÓN 60-40

Patrón

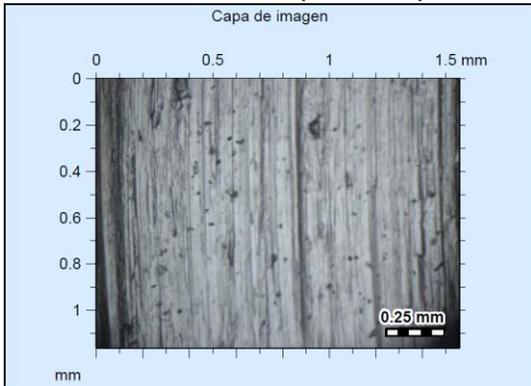


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.27

Tabla 30 análisis de huella latón 60-40 a probeta patrón.

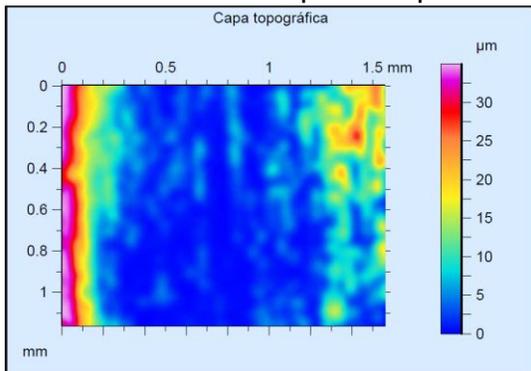
Ilustración 42. análisis profundidad de huellas latón 60-40 probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 42 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

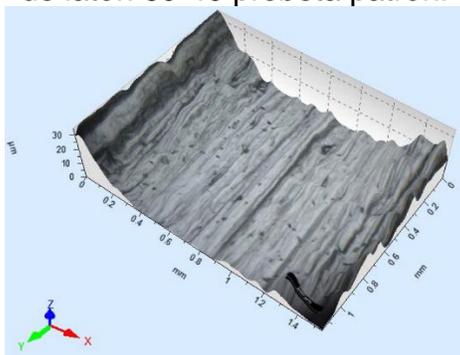
Ilustración 43. análisis profundidad de huellas latón 60-40 probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 43 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 42. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.5 mm de ancho de surco y una profundidad de 35 μm , y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 44. modelamiento de la huella de latón 60-40 probeta patrón.



Fuente: autores del proyecto.

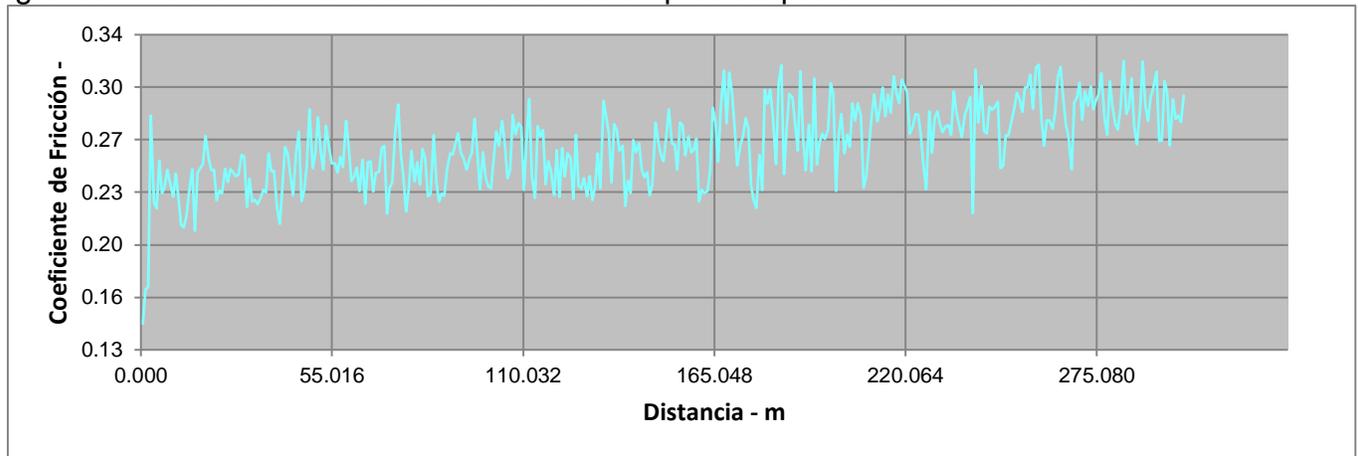
En la ilustración 34 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipo para obtener la imagen.

Fuente: autores del proyecto

En las ilustraciones (42 a 44) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 30 μm .

120 horas

grafica 11 distancia VS coeficiente de fricción probeta patrón a 120 horas 60-40

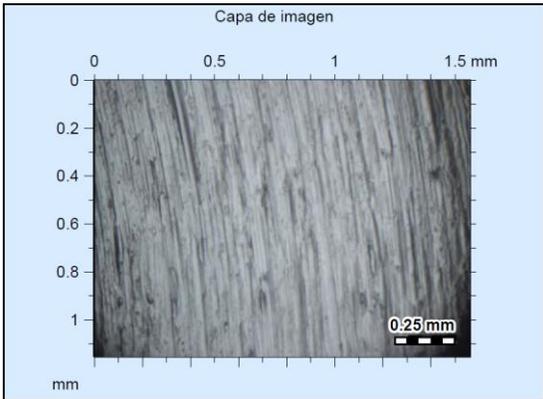


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.28

Tabla 31 análisis de huella latón 60-40 a 120 horas.

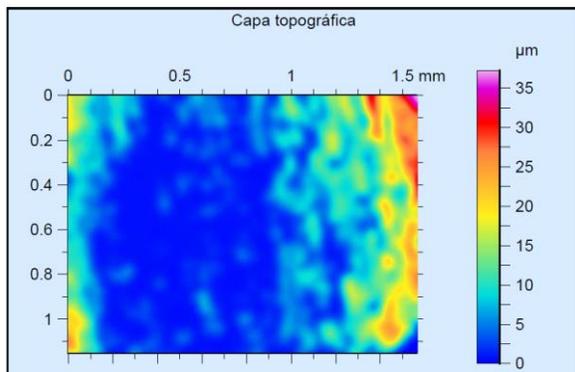
Ilustración 45. análisis profundidad de huellas latón 60-40 a 120 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 45 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

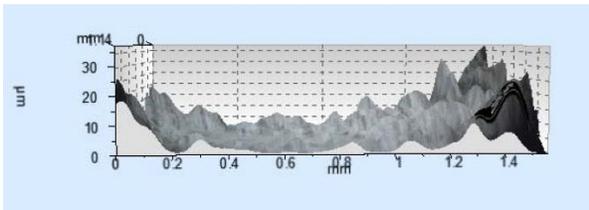
Ilustración 46. análisis profundidad de huellas latón 60-40 a 120 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 46 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 45. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.4 mm de ancho de surco y una profundidad de 25 µm, y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 47. modelamiento de la huella de latón 60-40 a 120 horas.



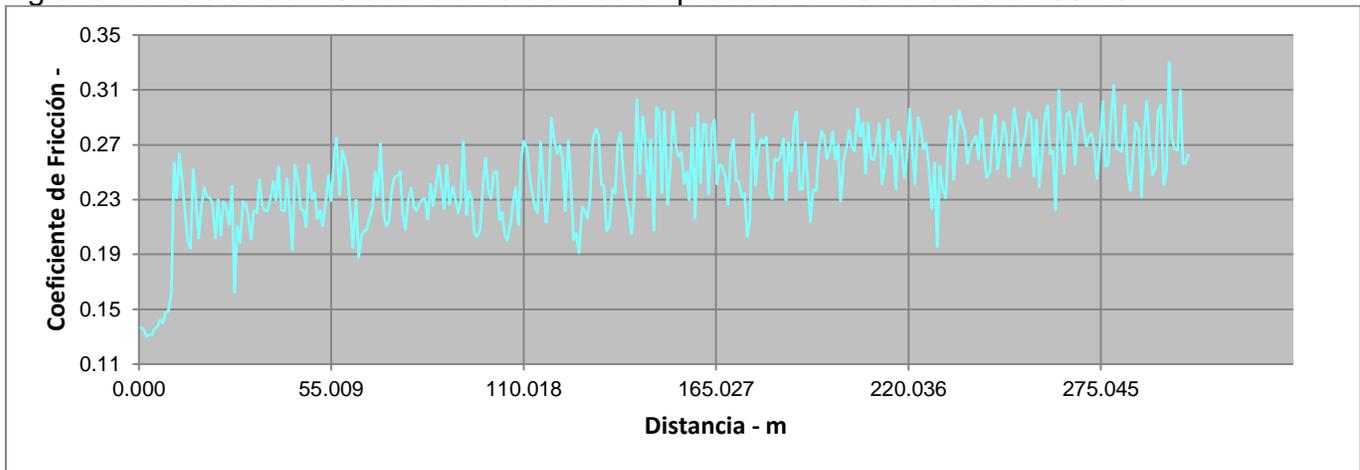
Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 47 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

En las ilustraciones (45 a 48) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 25 μm .

240 horas

grafica 12 distancia VS coeficiente de fricción probeta a 240 horas latón 60-40

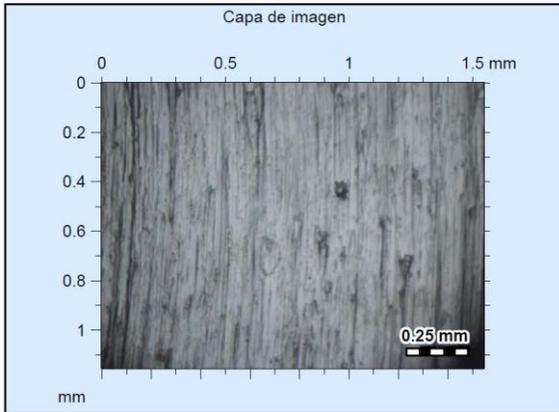


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.28

Tabla 32 análisis de huella latón 60-40 a 240 horas.

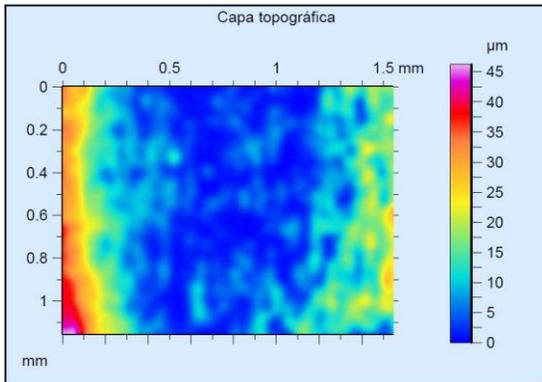
Ilustración 48. profundidad de huellas latón 60-40 a 240 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 48 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

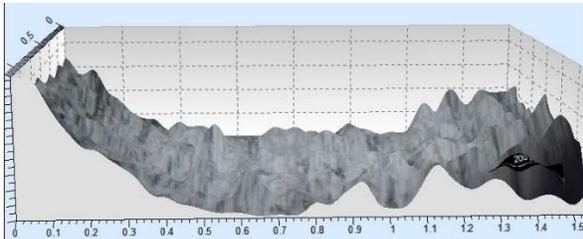
Ilustración 49. análisis profundidad de huellas latón 60-40 a 240 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 49 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 48. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.5 mm de ancho de surco y una profundidad de 40 µm, y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 50. Ilustración 68. modelamiento de la huella de latón 60-40 a 240 horas.



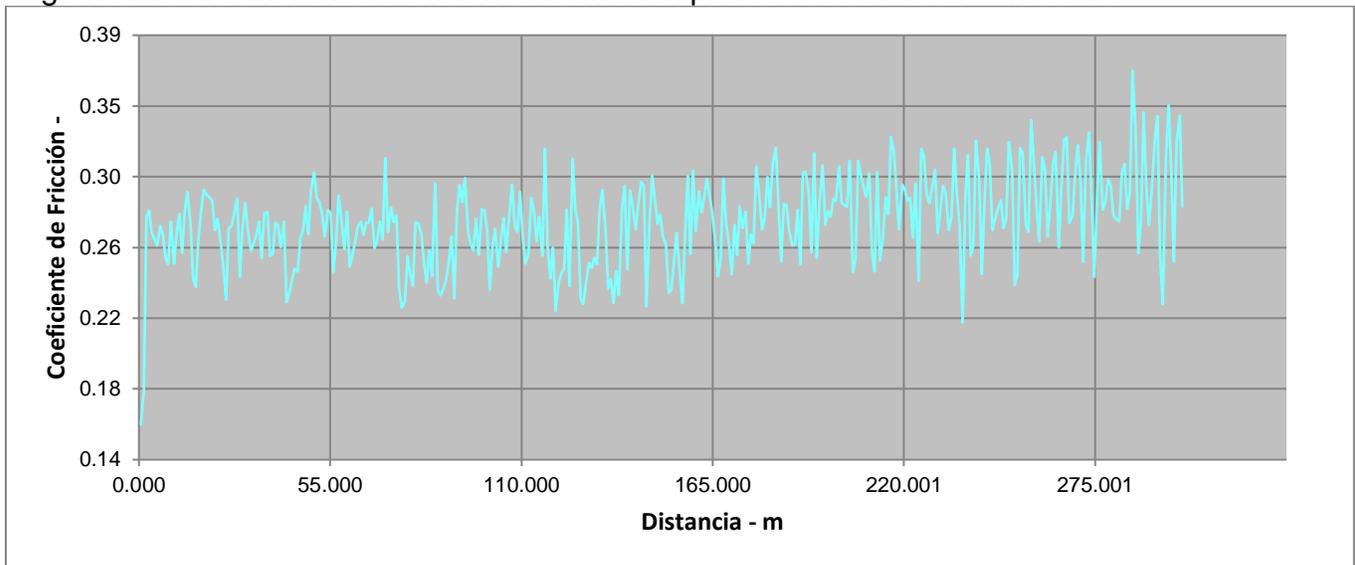
Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 50 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

En las ilustraciones (48 a 50) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 45 μm .

360 horas

grafica 13 distancia VS coeficiente de fricción probeta 360 horas latón 60-40

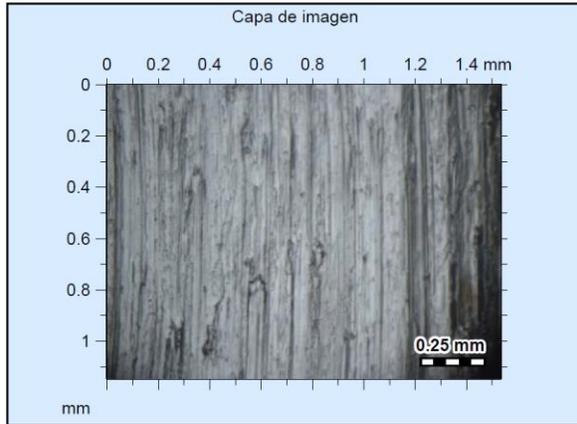


Fuente: autores del proyecto

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.29

Tabla 33 análisis de huella latón 60-40 a 360 horas.

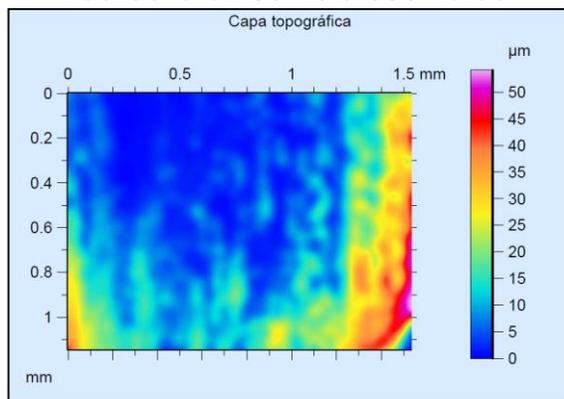
Ilustración 51. profundidad de huellas latón 60-40 a 360 horas.



Fuente: autores del proyecto

En la ilustración 51 se tiene una imagen obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica que se encuentra en el instituto INCITEMA de la UPTC, es una fotografía de la huella. Tomada a 400x. la imagen muestra las dimensiones del ancho del surco generado por el pin del tribómetro.

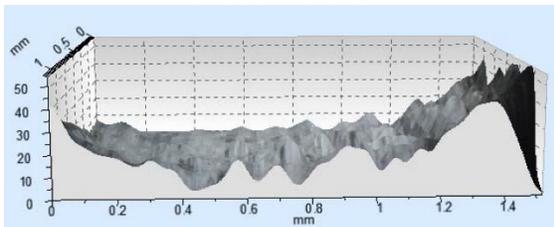
Ilustración 52. análisis profundidad de huellas latón 60-40 a 360 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 52 se muestra un diagrama de colores de la variación de la profundidad de la huella obtenida en la ilustración 51. El color azul indica las regiones más profundas mientras que el color violeta indica las regiones más superficiales de la huella. Las dimensiones de la huella según la imagen son 1.4 mm de ancho de surco y una profundidad de 35 µm, y la variación de acuerdo el pin esférico.

Ilustración 53. Ilustración 68. modelamiento de la huella de latón 60-40 a 360 horas.



Fuente: autores del proyecto.

En la ilustración 32 se muestra una imagen en 3D obtenida por medio de la cámara integrada en el microscopio de alta resolución leica mediante 15 fotos desde la parte superior a la parte inferior de la huella. Las cuales fueron procesadas por el software del equipó para obtener la imagen.

En las ilustraciones (51 a 53) se muestra primero la toma de la imagen de la huella, seguido del análisis de profundidad por último el modelado en 3D. la profundidad de la sección analizada de la huella fue de 27.5 μm .

Masa removida

Tabla 34 masa removida probetas latón 60-40. ensayo pin on disk

masa removida				
material	LATÓN 60-40			
tiempo	Patrón	120 horas	240 horas	360 horas
peso inicial (gr)	79.7341	78.9838	82.2142	72.3692
peso final (gr)	79.7238	78.9732	82.205	72.3601
total, masa removida (gr)	0.0103	0.0106	0.0092	0.0091

Fuente: autores del proyecto

El orden en que las probetas perdieron material fue la siguiente:

Tabla 35 comparación de material removido latón 60-40

Probeta Patrón	0.0103 gr
120 horas	0.0106 gr
240 horas	0.0092 gr
360 horas	0.0091 gr

Fuente: autores del proyecto

8.6.2.1 Discusión pruebas pin on disk para el laton 60-40

Con respecto al peso perdido las probetas sumergidas 240 y 360 horas en nitrógeno tuvieron una pérdida entre 9.1 y 9.2 mg respectivamente comparadas con la pérdida de las probetas patrón y 120 que fueron de 10.3 y 10.6 mg, denotando así una pérdida en peso menor cuanto más es la permanencia del tratamiento.

Por el lado del coeficiente de fricción, que es el parámetro que nos da la resistencia al desgaste la probeta patrón tuvo un dato de 0.27, la probeta sumergida 120 hr 0.28, 240 hr 0.28 y 360 hr 0.29. Es un cambio pequeño en el coeficiente, que muestra una ligera mejora en resistencia al desgaste por parte de la muestra de 360hr.

9 CONCLUSIONES

La influencia del tratamiento térmico criogénico en el bronce SAE 64 y latón 60-40, no generó cambios en las dimensiones de ninguna de las probetas. Se puede decir que es dimensionalmente estable.

El análisis metalográfico evidencio para el latón 60-40 las fases propias de este material, alfa (α) y beta (β), no se encontraron cambios en tamaño de grano. Al realizar el SEM en este material, se denota en la fase beta (precipitado) la acumulación de zinc, también la presencia de plomo. agrupado en zonas brillantes entre los límites de grano en la fase alfa (α) y fase beta (β).

Para el latón 60-40, en la parte dureza Vickers y Brinell, los resultados no mostraron cambios que justifiquen la aplicación del tratamiento criogénico.

En la parte de resultados del ensayo pin on disk, el material removido y el coeficiente fricción demuestran que al aumentar el tiempo de permanencia en nitrógeno el desgaste fue menor.

Para el Bronce SAE 64 tratado criogénicamente, las metalografías mostraron una estructura dendrítica, con fases alfa (α)(región oscura) y delta (δ) (región clara) siendo esta ultima el precipitado y a partir del análisis SEM se evidencio la acumulación de estaño en estas zonas. Al hacer el comparativo se establece que al paso de las horas del tratamiento se afinan las dendritas, se presenta una mejor distribución y afinamiento de dichas zonas. Además, se observa puntos negros lo cual hace alusión a la presencia de plomo en la aleación.

En la parte de dureza Vickers y Brinell, los resultados para el bronce SAE 64, mostraron un aumento en la dureza.

La resistencia al desgaste se mejora al dejar el bronce SAE 64 en nitrógeno hasta 360 hr, de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de desgaste.

La influencia del tratamiento térmico criogénico en las aleaciones de cobre, bronce SAE 64 y latón 60-40, tiene un mayor efecto en el bronce. Según los resultados su dureza Brinell aumento al igual que su resistencia al desgaste, según el análisis de metalografías su estructura se afino y organizo de una manera más ordenada, lo que no se evidencio en el laton aunque este tuvo un aumento en su resistencia al desgaste.

10 REFERENCIAS

- [1] ASKELAND, Donald R. (2013). *Ciencia e ingeniería de materiales*.
- [2] BARRON, R. F. (1982). *Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance*.
- [3] CAI, Baozhuang, et al. (2014). *Enhanced mechanical properties in Cu–Zn alloys with a gradient structure by surface mechanical attrition treatment at cryogenic temperature*.
- [4] GONZÁLEZ PÉREZ, Rogelio. (2014). *Criogenia: Cálculo de equipos. Recipientes a presión*.
- [5] HERENGUEL, Jean. (1971). *METALURGIA ESPECIAL TOMO II, EL COBRE Y SUS ALEACIONES*.
- [6] KALIA, Susheel. (2009). *Cryogenic Processing: A Study of Materials at Low Temperatures*.
- [7] LUO, Wei, et al. (2015). *Effect of cryogenic impact deformation and subsequent annealing on microstructure and microhardness of pure copper*.
- [8] MONTGOMERY, Douglas C. (2002). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS*.
- [9] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2008). *DOCUMENTACIÓN. PRESENTACIÓN DE TESIS, TRABAJOS DE GRADO Y OTROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN*.
- [10] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2008). *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. CONTENIDO, FORMA Y ESTRUCTURA*.
- [11] OBANDO, Johnny F. (2011). *Subcero y Criogénico: El Frío, Secreto de los Fórmula Uno*.
- [12] REITZ, Wayne; PENDRAY, John. (2006). *CRYOPROCESSING OF MATERIALS: A REVIEW OF CURRENT STATUS*.
- [13] VELAZQUES C, Juan pablo. (s.f.). *PRODUCCION DE ALEACIONES BASE COBRE Y SU TRATAMIENTO*.
- [14] WANG, Yongxing, et al. (2006). *Investigation on the Properties of CuCr Contact Material after Cryogenic Treatment*.

- [15] WU, Zongbao. (2009). *The Expanded Application Research of Deep Cryogenic Treatment*.
- [16] WURZBACH, Richard N; DeFELICE, William. (2004). *Improving component wear performance through cryogenic treatment*.
- [17] YILDIZ, Y. (2011). *The Effects of Cold and Cryogenic Treatments on the Machinability of Beryllium-Copper Alloy in Electro Discharge Machining*.
- [18] GÓMEZ CORZO, LUIS RODOLFO. (2010). *Tratamientos criogénicos y la propuesta de su ensayo como práctica del laboratorio de metalurgia y metalografía*.

11 ANEXOS

ANEXO 1 FACTURA DE COMPRA DE BRONCE SAE 64 Y LATÓN



METAVAL BOGOTA, LTDA.

NIT. 832.000.375-5 - Régimen Común
 Actividad Económica 204 - 11.04 x 1.000

Av. 6a. (COMUNEROS) No. 19-22 PBX: (91) 370 0299
 FAX: (91) 201 5529 - 775 1162 - BOGOTA, D.C. - COLOMBIA

FACTURA DE VENTA No. MB 88719

BOGOTA, D.C.: 10-junio-2015

NIT. o C.C.: 80197461

SEÑORES: ELKIN BARAJAS DIAZ

BOGOTA D.C.

TEL.: 3144253034

DIRECCION: CR 8 H 164 B 05

BOGOTA D.C.

TEL.: 3144253034

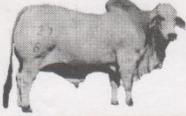
VENTA MOSTRADOR CONTADO

DESCRIPCION	VALOR TOTAL														
50 CMS. BRONCE SAE-64 Ø DE 1"	83.620,70														
50 CMS. LATON REDONDO DE 1"	38.793,11														
															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">VENTA</td> <td style="text-align: right;">122,414</td> </tr> <tr> <td>DESCUENTO</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>RETE FUENTE</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>RETE IVA</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>RETE ICA</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> <tr> <td>I.V.A.</td> <td style="text-align: right;">19,586</td> </tr> <tr> <td>TOTAL \$</td> <td style="text-align: right;">142,000</td> </tr> </table>		VENTA	122,414	DESCUENTO	0	RETE FUENTE	0	RETE IVA	0	RETE ICA	0,00	I.V.A.	19,586	TOTAL \$	142,000
VENTA	122,414														
DESCUENTO	0														
RETE FUENTE	0														
RETE IVA	0														
RETE ICA	0,00														
I.V.A.	19,586														
TOTAL \$	142,000														
<p>RESOLUCION DIAN No. 230001138482 DE 2014/05/05 DEL MB- 84001 AL MB- 100000 AUTORIZA</p> <p>SON QUARENTA Y DOS MIL PESOS</p>															
VENTAS	CAJA														
ALMACEN															

Impreso por: GALLERNO R. WELLDOR R. NIT. 19.350.466-7 - PREC. 375.18.56

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

ANEXO 2 RECIBO DE ALQUILER DEL TERMO CRIOGÉNICO Y COMPRA DE 20 Lt DE NITRÓGENO LIQUIDO



Taurusgan
 FERNANDO REINA G. • NIT. 79.157.694 REGIMEN SIMPLIFICADO

SUMINISTROS GANADEROS

FACTURA DE VENTA
 No 628

FECHA FACTURA
 Día Mes Año
 16 | 7 | 15

Calle 134B No 11A -11 CELS: 320 302 2124 - taurusgan@gmail.com

CLIENTE: Elkin Barajas Diaz NIT. 80197461
 DIRECCION: Cra 8H # 164B-05 TEL: 6741259

CANT.	DESCRIPCION	VR. UNIT.	VR. TOTAL
20	Lts de Nitrogeno liquido	5000	100 000
15	Dias alquiler Termo	20000	300000
<i>Cancelado efectivo</i> <i>Se puestas termo 20 Lts x 3 canast.</i>			
Observaciones:	<u>Jueves 30 Julio 2015</u>	SUB-TOTAL \$	<u>400000</u>
Taurusgan	ACEPTADA	\$	
		TOTAL \$	<u>400.000</u>

La presente Factura de Venta se asimila para todos los efectos legales a una Letra de Cambio de conformidad con los Arts. 772, 773 y 774 del Código del Comercio.

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

ANEXO 3 FACTURA DE COMPRA SUSPENSIÓN METALGRÁFICA

Testek de Colombia S.A.S. Calle 41 No 20-39 Bogotá D.C. Phone: 8023687 Fax: 7514380	Fecha 28/01/2016 Oferta No. TPRC00216	
--	--	--

Vicente Rico Suárez Estudiante Universidad Libre Calle 12 N° 26ª-20 Bogota - Colombia	Tel: Cel: 315-4401684 Fax: Correo: vicente.rico.suarez@gmail.com
--	---

Consumibles Metalografía

Cant	Referencia	Descripción	Valor unitario	Valor total
ALUMINAS				
1	0012006	Suspensión SPM 0,03 µ presentación por 1 litro. (Cristalina)	\$ 174.458	\$ 174.458
1	0012045	Suspensión SPM 0,03 µ presentación por 1 litro (No cristalina)	\$ 189.628	\$ 189.628
Sub Total				\$ 364.086
IVA 16,000%				\$ 58.254
TOTAL				\$ 422.339

TERMINOS Y CONDICIONES GENERALES APLICABLES A LAS OFERTAS DE LA EMPRESA TESTEK DE COLOMBIA S.A.S.

CONDICIONES COMERCIALES

Validez: 30 días

Precio y Moneda: Pesos colombianos.

Plazo de entrega: 2 a 3 semanas.

Forma de pago: Anticipado

Garantía: 1 año contra defectos de fábrica más no por mal manejo.

Lugar de entrega: Oficinas Cliente

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

ANEXO 4 FACTURA SERVICIO SEM UNIVERSIDAD ANDES

AUTORIZACIÓN DE PAGO		REFERENCIA
NOMBRE ELKIN BARAJAS DIAZ IDENTIFICACIÓN 80197461 DIRECCIÓN CR 48 H 164 B 05 CIUDAD BOGOTA D.C. TELÉFONO 3144253034	CÓDIGO UNIDAD VICE DE INVESTIGACIONES DEPENDENCIA	715700000113000080197461
DESCRIPCIÓN DEL PAGO		
Servicios De Laboratorio- Meb		390.000
Banco de Bogota 127 San Cristobal Srv 2121 B04712701 Usu9281 7300 @*****4913 14/06/16 10:31 H.NO UNIVERSIDAD DE LOS ANDES CED 1723 Us:715700000113000080197461		
VALOR A CANCELAR HASTA:	22/06/2016	Valor Efectivo: 390,000.00 Us. Cheque: 0.00 n 390.000
Observaciones :	LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES: a.t.a. 0.00 1. Es GRAN CONTRIBUYENTE (Resolución 771496) 2. Es una entidad NO CONTRIBUYENTE DE RENTA Art. 23 E.T.). 3. NO es responsable del impuesto sobre las Ventas IVA (Art. 476 E.T.) 4. Es agente de RETENCIÓN PERMANENTE del impuesto de Industria, Comercio y Avisos ICA. en Bogotá D.C. (D 053/96). 5. Entidad sin ánimo de lucro, no sujeta a retención Art. 369 del E.T. 6. Código Actividad Económica CIU 8544	

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO

ANEXO 5 FACTURA DE PAGO DE SERVICIOS INCITEMA.



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

BANCO CORPBANCA

Código de Recaudo 1306

Nombre: <u>Elkin Barajas</u>	FECHA		
Identificación: <u>80197461</u>	Día	Mes	Año
	<u>18</u>	<u>07</u>	<u>16</u>
CONCEPTO	VALOR		
Constancias o Certificados de:			
Derechos de Grado			
Copia de Acta de Grado			
Formularios de:			
Carné			
Reintegro Viáticos			
Biblioteca Multas			
Imprenta y Publicaciones			
Laboratorio Clínico			
Otros: <u>Pruebas pin On Disk</u>	<u>750.000</u>		
TOTAL \$			<u>750.000</u>

Programa: _____
 Modalidad: Presencial Distancia Posgrado Otro _____

107478

PAGO: Efectivo

Estudiante

Imprenta_publicaciones@uptc.edu.co



Código :1306 UNIVERSIDAD PEDAGOGI

RECAUDO EFECTIVO No. Facturas:1 No. Cheques: Cuenta Cargo:

REF1 000080197461	REF2	REF3	VALOR
			\$750.000,00
			\$0,00
			\$0,00
			\$0,00
			\$0,00
			\$0,00
			\$0,00

Cuenta	Cheque	Valor	
			\$0,00
			\$0,00
			\$0,00

Vir Efectivo : \$750.000,00	Vir Cheque : \$0,00	Vir Total : \$750.000,00	
Vir Ergo Cuenta: \$0,00			
Costo Transacción: 0,00			

OFICINA UNIVES10626 Terminal:196E Usuario: MROSA01 ON LINE Trans
 Jornada : NORMAL Hora :15:30:09 Fecha : 2016/07/18 L1NE 0163

BANCO CORPBANCA COLOMBIA S.A.

ESTE RECIBO NO ES VÁLIDO SIN FIRMA Y SELLO DEL CAJERO
 TODA TRANSACCIÓN EN CHEQUE ESTA SUJETA A VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

NOMBRE, FIRMA Y TELÉFONO DEL CUENTE
 FT1259 (JUN-2013)

FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO