

**INFLUENCIA DEL LAURIL SULFATO DE SODIO COMO AGENTE FORMADOR
DE POROS EN LA PERMEABILIDAD DE MOLDES DE YESO PARA SU
APLICACIÓN EN MICRO-FUNDICIÓN CON ESMERALDAS COLOMBIANAS**

**JOHANNA ANDREA GUERRERO RODRIGUEZ
ANA MARÍA GÓMEZ ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2014

**INFLUENCIA DEL LAURIL SULFATO DE SODIO COMO AGENTE FORMADOR
DE POROS EN LA PERMEABILIDAD DE MOLDES DE YESO PARA SU
APLICACIÓN EN MICRO-FUNDICIÓN CON ESMERALDAS COLOMBIANAS**

**JOHANNA ANDREA GUERRERO RODRIGUEZ
ANA MARÍA GÓMEZ ORTIZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

DIRECTOR:

ING. ARNALDO ALONSO BAQUERO

CO DIRECTORA:

ING. CARLINA MARGARITA LONDOÑO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Se manifiesta agradecimiento por parte de los autores hacia COLCIENCIAS por la financiación de la presente investigación, a través del proyecto “Innovación de método de gemas pre-engastadas en el proceso de micro-fundición, para su implementación en la joyería con esmeraldas colombianas”, Código Colciencias: 1102-521-28875 y Código UIS: 9418.

Hacemos extensivo este agradecimiento las empresas comercializadoras de esmeraldas COLOMBIAN E.U y a ORO&ARTE JOYEROS, por abrirnos las puertas de sus talleres de joyería y atender nuestras inquietudes entorno al pre-engaste de gemas.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	16
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivos Específicos	18
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	19
2.1. FUNDAMENTACIÓN	21
2.1.1. Yeso... ..	21
2.1.2. Permeabilidad	22
2.1.3. Lauril Sulfato de Sodio (SLS)	23
2.1.4. Tensión superficial y formación de las burbujas.....	23
2.1.5. Cámara de vacío.....	24
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	25
3.1. FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
3.2. FASE 2. SELECCIÓN DE CONDICIONES	26
3.2.1. Agente formador de poros.....	26
3.2.2. Velocidad de agitación	26
3.2.3. Tratamiento térmico	27

3.3. FASE 3. REALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	28
3.3.1. Fabricación de las probetas de yeso.....	28
3.3.2. Tratamiento térmico	30
3.3.3. Desmoldeo	30
3.4. FASE 4. PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN	30
3.4.1. Pruebas.....	30
3.4.2. Caracterización	31
3.5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	31
3.5.1. PERMEABILIDAD	31
3.5.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	33
3.5.3. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA.....	36
3.6. ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS.....	43
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	52

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación entre % de SLS y permeabilidad a 230 RPM.....	31
Tabla 2. Relación entre % de SLS y permeabilidad a 1085 RPM.....	32
Tabla 3. Relación entre % de SLS y permeabilidad a 1800 RPM.....	33
Tabla 4. Relación entre % de SLS y resistencia a la compresión a 230 RPM	33
Tabla 5. Relación entre % de SLS y resistencia a la compresión a 1085 RPM	34
Tabla 6. Relación entre % de SLS y resistencia a la compresión a 1800 RPM	35

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esmeralda Foto: IGE.4.....	20
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología.....	25
Figura 3. Tratamiento térmico utilizado en la investigación....	27
Figura 4. Procedimiento 1 para la elaboración de las probetas.....	29
Figura 5. Procedimiento 2 para la elaboración de las probetas.....	29
Figura. 6. Microscopía SEM, moldes sin SLS a 230 RPM.....	36
Figura. 7 Microscopía SEM, moldes con 0,2% SLS a 230 RPM.....	36
Figura. 8 Microscopía SEM, moldes con 0,3% SLS a 230 RPM.....	37
Figura. 9 Microscopía SEM, moldes con 0,4% SLS a 230 RPM.....	37
Figura. 10 Microscopía SEM, moldes con 0,5% SLS a 230 RPM.....	38
Figura. 11 Microscopía SEM, moldes con 0,6% SLS a 230 RPM.....	38
Figura. 12 Microscopía SEM, moldes con 0,1% SLS a 1085 RPM.....	39
Figura. 13 Microscopía SEM, moldes con 0,2% SLS a 1085 RPM.....	39
Figura 14. Microscopía SEM, moldes con 0,3% SLS a 1085 RPM.....	40
Figura 15. Microscopía SEM, moldes con 0,4% SLS a 1085 RPM.....	40
Figura 16. Microscopía SEM, moldes con 0,5% SLS a 1085 RPM.....	41
Figura 17. Microscopía SEM, moldes SIN SLS a 1800 RPM.....	42
Figura 18. Microscopía SEM, moldes con 0,2% SLS a 1800 RPM.....	42

Figura 19. Microscopía SEM, moldes con 0,2% SLS a 1800 RPM.....	43
Figura 20. Elaboración de los prototipos.....	44
Figura 21. Prototipo 1, Colada sin vacío y sin gemas.	45
Figura 22. Prototipo 2, Colada con vacío y sin gemas.....	45
Figura 23. Prototipo 3, Colada con vacío y con gemas.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Relación de permeabilidad con porcentaje de SLS a 230 RPM.....	32
Gráfico 2. Relación de permeabilidad con porcentaje de SLS a 1085 RPM.....	32
Gráfico 3. Relación de resistencia a la compresión con % de SLS a 230 RPM.....	34
Gráfico 4. Relación de resistencia a la compresión con % de SLS a 1085 RPM.....	34

RESUMEN

TITULO:

INFLUENCIA DEL LAURIL SULFATO DE SODIO COMO AGENTE FORMADOR DE POROS EN LA PERMEABILIDAD DE MOLDES DE YESO PARA SU APLICACIÓN EN MICRO-FUNDICIÓN CON ESMERALDAS COLOMBIANAS.¹

AUTORES:

GUERRERO Rodríguez Johanna Andrea
GÓMEZ Ortiz Ana María ²

PALABRAS CLAVES:

Revestimiento, lauril sulfato de sodio SLS, pre-engaste, permeabilidad.

DESCRIPCIÓN:

En la joyería moderna se utiliza el método de pre-engaste de gemas gracias a su idoneidad para fabricar piezas en serie, que reporta ahorro de costos y tiempos de producción, así como la mejora que proporciona al acabado superficial, sin embargo presenta inconvenientes en cuanto a la selección de la gema, debido a que existen gemas cuyo comportamiento no es compatible con la técnica, ocasionando daños como fisuras, cambios físicos (color y brillo), y la pérdida de las propiedades y la belleza propia de la gema.

En ésta investigación se pretende evaluar el comportamiento del lauril sulfato de sodio a diferentes concentraciones en la mezcla de yeso, así como la influencia de la velocidad de agitación en la misma, representado en el aumento de la permeabilidad del revestimiento (Yeso Diamante Kerr ® compuesto de cuarzo- α (32%), cristobalita- α (43%) y sulfato de calcio (25%)), teniendo en cuenta resultados favorables con éste espumante en un trabajo de grado anterior

La finalidad de la modificación en la mezcla es disminuir la temperatura de los tratamientos térmicos tradicionales para éste tipo de proceso, sin alterar las propiedades mecánicas del revestimiento, pero adecuándolo a las condiciones óptimas de las esmeraldas, tanto temperatura como presión, evitando así su deterioro por los cambios drásticos que pueda presentar el procedimiento, esto a partir del aumento en la permeabilidad, prestando atención al acabado superficial de los prototipos.

¹ Proyecto de Grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Director. Ing. ALONSO Baquero Arnaldo Codirectora. Ing. LONDOÑO Carlina Margarita

ABSTRACT

TITTLE:

INFLUENCE OF SODIUM LAURYL SULFATE AS PORE FORMING AGENT OF PERMEABILITY IN PLASTER MOLDS FOR ITS APPLICATION IN MICRO-CAST WITH COLOMBIAN EMERALDS.¹

AUTHORS

GUERRERO Rodríguez Johanna Andrea
GÓMEZ Ortiz Ana María³

KEY WORDS: Coating, Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Pre- setting, Permeability

ABSTRACT

In modern jewelry gem pre-setting method is used due to its suitability for manufacturing parts in series, reporting cost savings and production time, as well as providing improved surface finishing, however it has drawbacks as the selection of the gem, because there are gems whose behavior is not compatible with the technique, causing damage such as cracks, physical changes (color and brightness), and loss of properties and the inherent beauty of the gem.

The goal in this investigation is to evaluate the behavior of the sodium lauryl sulfate at various concentrations in the mixture of gypsum and the influence of the stirring speed in the same, represented in the increased permeability of the investment (Diamond plaster Kerr ® α -quartz compound (32%), α -cristobalite (43%) and calcium sulfate (25%)), given favorable results with this foaming in a previous degree work.

The purpose of the modification in the mixture is to improve castability so as to decrease the temperature of the traditional thermal treatments for this type of process, without changing the mechanical properties of the coating, but adapting it to the optimal conditions of emeralds, both temperature and pressure, thus preventing deterioration by the drastic changes that the procedure may present, since this increase in permeability paying attention to surface finish of the prototypes.

¹Thesis Grade

²School of Physics and Chemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science
Director. Ing. Arnaldo Alonso Baquero. Co-director Ing. LONDONO Carlina Margarita

INTRODUCCIÓN

Antiguamente se utilizaban materiales distintos a la cera para fabricar piezas selectas a las que pocos tenían acceso, sin embargo los avances de ésta técnica han permitido que el proceso haya tenido gran conmovión en la industria, teniendo en cuenta que se ha logrado el diseño de piezas con geometría compleja, además del bajo costo que implica llevar a cabo el procedimiento. [1]

Durante los últimos años se evidencian progresos en la tecnología que han proporcionado la facilidad de diseño y producción de modelos, moldes y piezas a gran escala, resaltando su excelente calidad y acabado superficial; no obstante el desarrollo del proceso sigue sin abarcar la aplicación a todo tipo de gemas, por lo que se busca una adecuación de las variables para mejorar las condiciones y adaptarlas al proceso. [2]

Una de las limitaciones del proceso para ser adaptado al método de pre-engaste es el reducido espacio que tienen los gases para ser evacuados a través del molde, así como la elevada temperatura a la que este se encuentra durante la colada, por esto es necesario adecuar la permeabilidad sin que el aumento de ésta signifique dejar a un lado el acabado superficial de la pieza y sin desatender la preservación de las propiedades de algunas piedras preciosas.

En esta investigación se estudiará la influencia de un agente formador de poros, Lauril sulfato de sodio (SLS), sobre la permeabilidad del revestimiento para no afectar la fluidez del metal y modificando a su vez la velocidad de agitación para el tratamiento térmico más adecuado, sin alterar las propiedades físicas y características propias de la esmeralda, que es la gema de interés por este estudio, teniendo en cuenta que estas pueden fallar de acuerdo con su sensibilidad a los cambios de temperatura debido a las inclusiones que presentan y a su baja resistencia al choque térmico.

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de micro-fundición es un método de tradición muy antigua en el cual se elaboran piezas con geometrías complejas a través de moldes típicamente modelados en cera, además de esto las reproducciones no son maquinadas posteriormente.

El pre-engaste de gemas se fundamenta en incrustarlas en el modelo de cera antes de llenar el molde, sin embargo y debido a que las gemas se encuentran sometidas a todas las condiciones del proceso desde su inicio, suele ser un problema para aquellas piedras preciosas cuyas propiedades no soportan estas condiciones; las esmeraldas específicamente presentan inclusiones y baja resistencia al choque térmico que las hace susceptibles a la fragilización y ruptura.

Teniendo en cuenta que al obtener el acople de estos dos métodos, la esmeralda quedaría engastada sin necesidad de una corona de metal para sostenerla y además proporcionaría rentabilidad en cuanto tiempo y costos, es necesario adecuar las condiciones a las cuales la gema no sufrirá ningún cambio ni deterioro.

Uno de los inconvenientes que presenta el proceso de micro-fundición durante la colada es el espacio insuficiente que tienen los gases para evacuar el molde, debido a la geometría acicular de las partículas de sulfato de calcio y su fina granulometría, sin embargo la alternativa para equilibrar estas condiciones es adecuar la permeabilidad sin que el aumento de ésta influya en el acabado superficial de la pieza, ni en la conservación de las propiedades de la esmeralda.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia del Lauril sulfato de sodio en la permeabilidad de moldes en yeso para aplicación en micro-fundición.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Establecer la permeabilidad en moldes de yeso adicionando Lauril sulfato de sodio como agente formador de poros.
- ✓ Evaluar la influencia de la velocidad de agitación de la mezcla sobre la resistencia a la compresión en seco y la permeabilidad para diferentes concentraciones de lauril sulfato de sodio.
- ✓ Elaborar prototipos de piezas con diferentes gemas.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

La Micro-fundición ha sido conocida y utilizada por siglos. La historia de este proceso data de varios miles de años en el pasado, inclusive antes de las pirámides de Egipto. Durante el siglo XVI los historiadores perdieron indicios de Micro-fundición en Europa y Asia, pero en la misma época en el Valle Cauca en Colombia, las tribus incas realizaron fundición de esculturas en oro, anteriores a la llegada de Cristóbal Colón en 1492.

También se encontraron esculturas realizadas por artistas del imperio Azteca, con un alto grado de complejidad, esta maestría la lograron tras años de desarrollo de prueba y error.

En 1538, Vannoccio Biringuccio, encargado de la fundición Artística del Vaticano y contemporáneo con Leonardo Da Vinci, describió detalladamente el arte de fundir en su obra *Pirotecnica*: "...existen moldes similares para grandes estatuas, si uno desea hacerlas de bronce, primero se hacen en cera, de acuerdo al procedimiento ordinario..." [3]

Este "procedimiento ordinario" se desarrolla a partir de la creación de un original en cera, el cual puede ser fácilmente trabajado y pulido.⁴

El proceso de micro-fundición o cera perdida es la técnica más empleada recientemente por su idoneidad para fabricar piezas en serie. Consiste en reproducir en cera (a mano o mediante prototipos rápidos) un modelo de la pieza.⁵

En la actualidad, un elevado porcentaje de las piezas realizadas en joyería en todo el mundo se produce mediante la fundición a la cera perdida.

⁴FUNDISA. (s.f.). Recuperado el 5 de julio de 2013, de <http://www.fundisa.com>

⁵Diseño, C. T. (s.f.). [2]. Recuperado el 28 de junio de 2013, de *Guía para diseñadores y prescriptores de joyería*: www.tainingjoyaexperience.com/file/98008/

Figura 1. Esmeralda Foto: IGE.⁴



Por más de 20 años Estados Unidos y otros países han iniciado con la implementación de la técnica de pre-engaste de gemas. Las primeras publicaciones del uso de este método se realizaron en el año 1988.

Este proceso envuelve riesgos significativos en el deterioro de piedras preciosas si éste no se realiza cuidadosamente, en especial la esmeralda natural, por sus propiedades particulares, como baja resistencia al choque térmico.

La esmeralda (figura.1) es una piedra preciosa perteneciente al grupo del berilo, característica por su color verde, que puede ir desde pálido hasta intenso, que es el más apreciado en joyería.

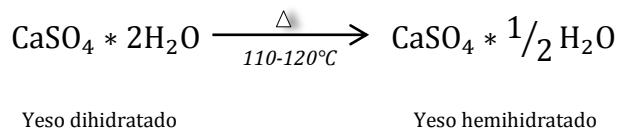
Considerada como una de las más importantes piedras preciosas, la esmeralda tradicionalmente ha sido montada en joyas acompañada con diamantes que realzan su color y belleza. A pesar de su dureza que se acerca al 8 en la escala de Mosh, la esmeralda es una gema frágil y delicada porque suele poseer multitud de inclusiones, conocidas como "jardín". En muchos casos, estas inclusiones son fracturas internas, por esta razón después de la talla la esmeralda tiene que ser tratada con mucho cuidado, sobre todo en los procesos de engastado y limpieza, evitando en todo momento ejercer grandes presiones sobre la piedra y no someterla a cambios bruscos de temperatura, que podrían llegar a fracturarla totalmente. ⁵

2.1. FUNDAMENTACIÓN

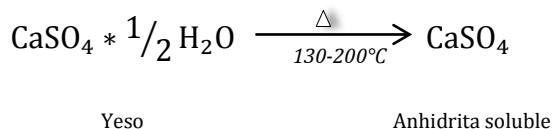
2.1.1. Yeso

El yeso en su forma natural es piedra de yeso o yeso crudo llamado aljez, presenta diversas formas y asociaciones, de acuerdo a condiciones de formación geológica, bien sea en masas compactas, cristalinas o terrosas, generalmente contiene impurezas como arcilla, óxido de hierro, sílice, caliza, etc. [4]

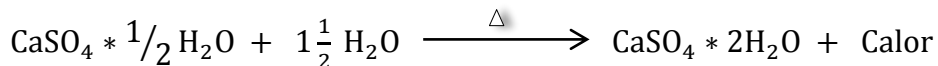
El yeso como material de moldeo permite obtener piezas fundidas de un excelente acabado superficial y alta precisión dimensional. Las técnicas de moldeo de precisión han sido aplicadas para satisfacer las necesidades de complejidad y exactitud que no pueden ser satisfechas por métodos de moldeo convencionales. En la industria, se tritura y después es sometido a temperaturas entre 110°C y 120°C, en donde parte del agua de cristalización se evapora y se forma sulfato de calcio hemihidratado. [5] (GONZALEZ & TAPIA, 1983)



Mientras se eleva la temperatura es eliminada el agua totalmente formándose la anhidrita soluble, y aumentándola hasta 1000°C se forma anhidrita natural y por encima de ésta el sulfato de calcio se descompone.



Los yesos utilizados para moldeo están compuestos principalmente por sulfato de calcio hemihidratado que se obtiene en la primera reacción, ésta formación más agua se puede representar por medio de la siguiente reacción:



La reacción química anterior se produce para cualquier tipo de yeso, al adicionar agua al sulfato de calcio hemihidratado, haciendo que las anhidritas endurezcan hasta formar sulfato de calcio dihidratado.

Los compuestos comunes de los revestimientos para fundición son una mezcla de 25-30% de sulfato de calcio dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) que actúa como aglutinante y 70-75% de sílice, como material refractario en forma de cuarzo y cristobalita que proporcionan transformaciones polimórficas en la estructura del molde.

La mezcla de sulfato de calcio y sílice es el revestimiento más usado para microfundición, ya que tiene un excelente copiado de detalles debido a su granulometría fina, pero es muy impermeable y evita la evacuación de los gases produciendo defectos en las piezas, como falta de llenado y porosidades generadas por gases que queden atrapados. [6] Una manera de solucionar estos inconvenientes es incrementar la temperatura de la aleación, pero en el caso de utilizar esmeraldas, esta medida no es viable, por lo tanto una alternativa es aumentar la permeabilidad del molde, para disminuir la temperatura de colada y trabajar con aleaciones de menor punto de fusión.

2.1.2. Permeabilidad

En fundición la permeabilidad se define como la propiedad física de la masa moldeada de la mezcla de arena que permite que el gas pase a través de él.⁶ Este concepto está relacionado con la definición teórica de permeabilidad que es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.

La velocidad con la que el fluido (gas) atraviesa el material depende de tres factores básicos:

⁶ INCORPORATED, A. F. (1952). *FOUNDRY SAND HANDBOOK*. CHICAGO, ILLINOIS: COPYRIGHT.

- ✓ La porosidad del material.
- ✓ La densidad del fluido, afectada por su temperatura.
- ✓ La presión a que está sometido el fluido.

Para que un material sea permeable debe ser poroso, es decir, debe contener cavidades vacías o poros que le permitan absorber fluido. Así mismo, y de manera muy importante estas cavidades deben estar enlazadas para acondicionar caminos para que el fluido pase a través del material.

2.1.3. Lauril Sulfato de Sodio (SLS)

El Lauril Sulfato de Sodio (SLS) es un agente surfactante anicónico. Es empleado en una amplia gama de formulaciones farmacéuticas. Es un eficaz agente detergente y humectante en condiciones tanto alcalinas como condiciones ácidas. El Lauril sulfato de sodio reacciona con agentes tensoactivos catiónicos, causando la pérdida de la actividad, incluso en concentraciones demasiado bajas para provocar la precipitación. A diferencia de los jabones, que es compatible con ácidos diluidos, calcio y iones de magnesio. [7]

“EL MEDIO POR EL CUAL SE PRETENDE AUMENTAR LA PERMEABILIDAD DEL YESO ES A TRAVÉS DE LA FORMACIÓN DE POROS DEBIDO A LA DESAPARICIÓN DE BURBUJAS FORMADAS DENTRO DE LA PASTA”.

2.1.4. Tensión superficial y formación de las burbujas

La **tensión superficial** de un líquido es la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área, es decir la resistencia de un líquido para aumentar su superficie, o las fuerzas intermoleculares que existen en los líquidos.

La tensión superficial, junto a las fuerzas que se presentan entre líquidos y superficies sólidas que entran en contacto con ellos, da lugar a la capilaridad. Como

producto tiene la variación de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido.

Sin embargo, una burbuja hecha solo con líquido puro no es estable y se necesita un tensoactivo disuelto, para estabilizarla (disminuye la tensión superficial en agua pura). Al estirarse la película del formador de burbujas, la concentración de éste disminuye, lo que hace que aumente de nuevo la tensión superficial, por lo tanto se refuerza selectivamente las partes más débiles de la burbuja.

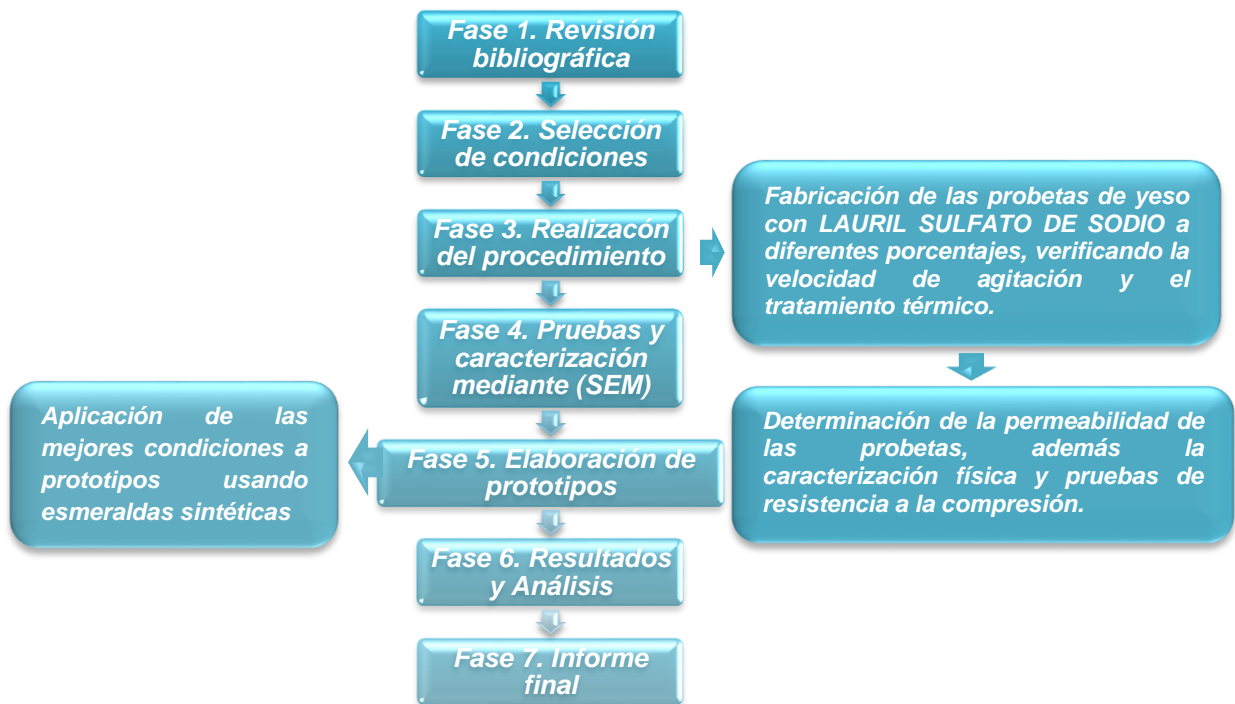
2.1.5. Cámara de vacío.

En micro-fundición se usa la ayuda de una cámara de vacío para asegurar una alta homogeneidad y ausencia de burbujas de aire en el revestimiento. Al momento de iniciar el procedimiento las burbujas formadas por el tensoactivo desaparecen dejando las cavidades libres por donde va a circular el gas.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El diagrama de flujo presentado a continuación indica las diferentes fases de elaboración de la investigación.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto de grado.
Fuente: Los autores



3.1. FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta etapa se realizó el acople de información acerca del revestimiento y sus características, además las teorías de permeabilidad y la influencia que tiene sobre ella la adición de agentes formadores de poros; también se documentó acerca del proceso de micro-fundición.

La documentación necesaria se obtuvo de artículos de simposios de joyería, manuales y publicaciones científicas, además se tuvo referencia de trabajos de grado con relación a la misma investigación.

3.2. FASE 2. SELECCIÓN DE CONDICIONES

3.2.1. Agente formador de poros

Como agente formador de poros fue seleccionado el LAURIL SULFATO DE SODIO SLS, de forma líquida, teniendo en cuenta que proporcionó los mejores resultados en una tesis implementada anteriormente [8]. Las concentraciones porcentuales a las que se realizó la investigación estuvieron entre 0,1-0,6% de Lauril sulfato de sodio.

3.2.2. Velocidad de agitación

La velocidad de agitación fue establecida de manera empírica debido a la obtención de resultados inesperados en la experimentación y a la necesidad de obtener mayor permeabilidad en las probetas.

Inicialmente se trabajó con una batidora industrial Oster (12 velocidades, 480W) que en adelante será llamada agitador 1, sin embargo las velocidades que proporcionó fueron muy bajas, por lo que se decide cambiar a un segundo agitador, éste es mecánico JANKE KUNKEL GMBH & CO.KG, IKA Labortechnik. Estos equipos se encuentran en el laboratorio de micro-fundición de la escuela de ingeniería metalúrgica.

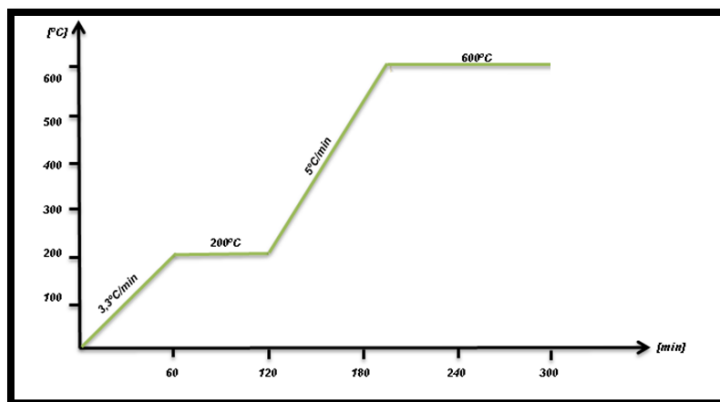
3.2.3. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico aplicado fue tomado de un artículo del simposio de Santa Fe en tecnología de fabricación de joyas (figura 3). [9]

La temperatura alcanzada fue de 600°C, y se analizó las transformaciones de la sílice teniendo en cuenta que la mayor parte de la mezcla está formada de este compuesto, y que la influencia que representa la temperatura sobre el sulfato de calcio está relacionada directamente con la deshidratación mas no con las propiedades del revestimiento.

El primer escalón del tratamiento hasta 200°C por una hora se realizó para garantizar la perdida de agua del molde, se estabiliza y aumenta la temperatura paulatinamente durante 80 minutos, en donde el revestimiento empieza a sufrir una transformación alotrópica en su estructura, primero en la cristobalita (250°C) y después de cuarzo α a cuarzo β (550°C), en donde ocurre rotación de átomos que implica un cambio volumétrico (expansión) que más adelante durante el enfriamiento ofrece la facilidad de desmoldeo de las probetas debido a que estas reacciones son reversibles, posteriormente se alcanza una temperatura final de 600°C durante los 120 minutos restantes, evitando la transformación reconstructiva de la sílice y manteniendo sus propiedades mecánicas.

Figura 3. Tratamiento térmico utilizado en la investigación. Tomado de: Simposio de Santa Fe en tecnología de fabricación de joyas



3.3. FASE 3. REALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

3.3.1. Fabricación de las probetas de yeso

Para realizar las probetas de yeso se utilizaron cilindros en acero inoxidable de 2 pulgadas de altura por 2 pulgadas de diámetro interno (2"X2") (figura 4) para realizar probetas de arena de moldeo según la norma AFS, rectificadas con pendiente de desmoldeo.

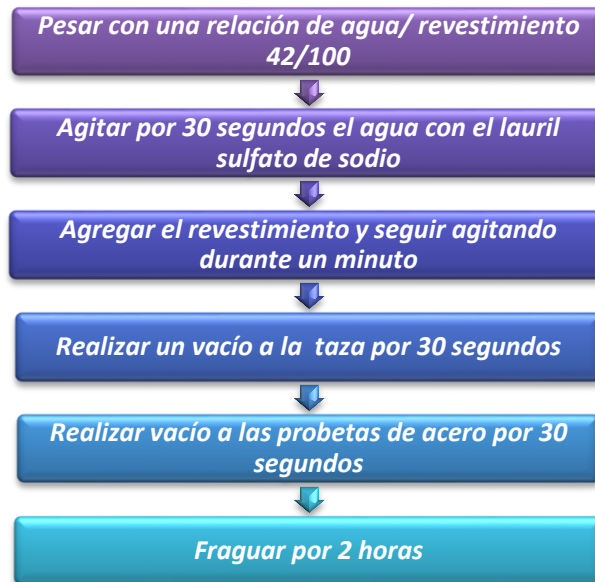
Se utilizó material refractario comercial Diamante Kerr, que es un yeso refractario con composición de cuarzo- α (32%), cristobalita- α (43%) y sulfato de calcio (25%), con granulometría menor a 200 mallas, como agente formador de poros lauril sulfato de sodio (SLS), con relación agua yeso 42/100, teniendo en cuenta que en joyería se usa esta relación para piezas delgadas.

El lauril sulfato de sodio (SLS) se usó en diferentes proporciones, variando velocidad de agitación, y manejando un límite de fraguado de aproximadamente 2 horas.

Fue necesario establecer dos procedimientos diferentes para hacer relación teniendo en cuenta los resultados obtenidos con cada uno de ellos.

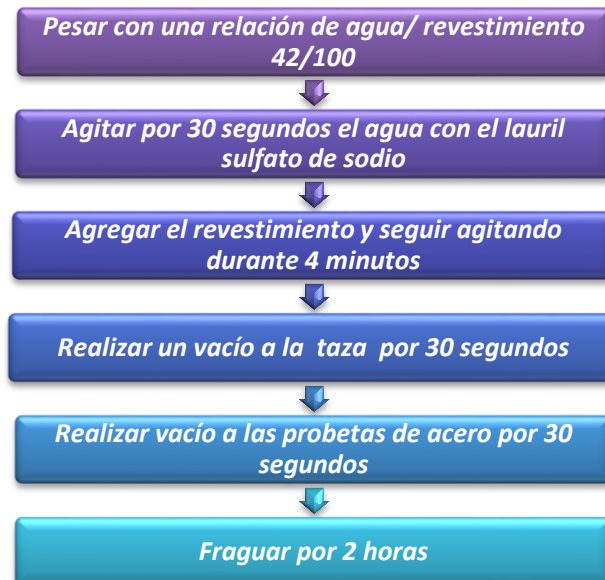
PROCEDIMIENTO 1

Figura 4. Procedimiento 1 para la elaboración de probetas de revestimiento.
Fuente: Los autores



PROCEDIMIENTO 2

Figura 5. Procedimiento 2 para la elaboración de probetas de revestimiento.
Fuente: Los autores



3.3.2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico seleccionado fue el mencionado en la fase anterior, eliminando agua, modificando su estructura y mejorando su resistencia y propiedades mecánicas, éste se realizó en el horno programable marca VULCAN 3-550 que se encuentra en el laboratorio de micro-fundición, de la escuela de Ingeniería Metalúrgica.

3.3.3. Desmoldeo

Después de realizar el tratamiento térmico, se dejan enfriar las probetas a temperatura ambiente para evitar fracturas durante el desmoldeo, éste se realiza con la ayuda de un tubo de acero que tiene el diámetro de los cilindros usados para fabricar las probetas.

3.4. FASE 4. PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN

3.4.1. Pruebas

Para realizar las pruebas a cada probeta se determinó la permeabilidad y la resistencia a la compresión, además se efectuó la caracterización de las mismas. Para estos análisis se utilizaron: Permeámetro eléctrico de lectura directa marca Harry W. Dietert Co serial 338, para arenas de fundición con base en la norma AFS, para determinar la resistencia a la compresión se utilizó la máquina universal de ensayos, Harry W. Dietert Co. Control Equipment, DETROIT, MICH. Serial 33624, bajo la norma AFS de igual forma.

3.4.2. Caracterización

La caracterización física que se le realizó a las probetas se hizo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), para ello se utilizó el microscopio electrónico de barrido, que se encuentra en la sede Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander; evaluando tamaño, forma y distribución de los poros.

3.5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se relacionan los datos de la prueba de permeabilidad que se le realizó a las probetas por medio del Permeámetro eléctrico de lectura directa.

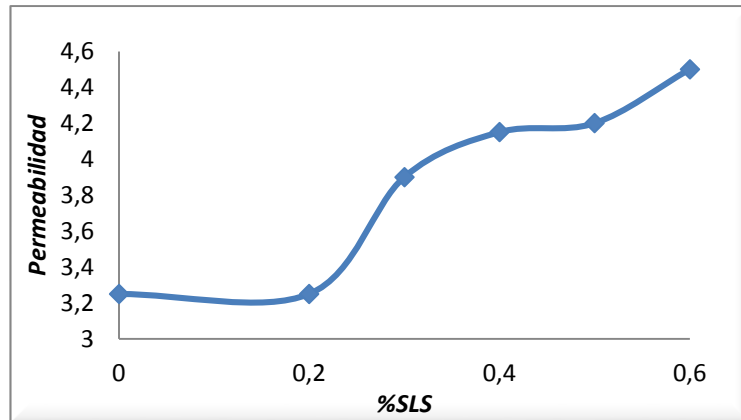
3.5.1. PERMEABILIDAD

➤ 230 RPM AGITADOR 1, PROCEDIMIENTO 1

Tabla 1. Relación entre el porcentaje de SLS y la permeabilidad, en mezclas a 230 RPM, en el agitador 1 con el procedimiento 1. Fuente: Los autores

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	PERMEABILIDAD PROMEDIO
0.0	3,25
0.2	3,25
0.3	3,9
0.4	4,15
0.5	4,2
0.6	4,5

Gráfico 1. Relación de permeabilidad con porcentaje de SLS a 230 RPM, utilizando el agitador 1 y el procedimiento 1. Fuente: Los autores

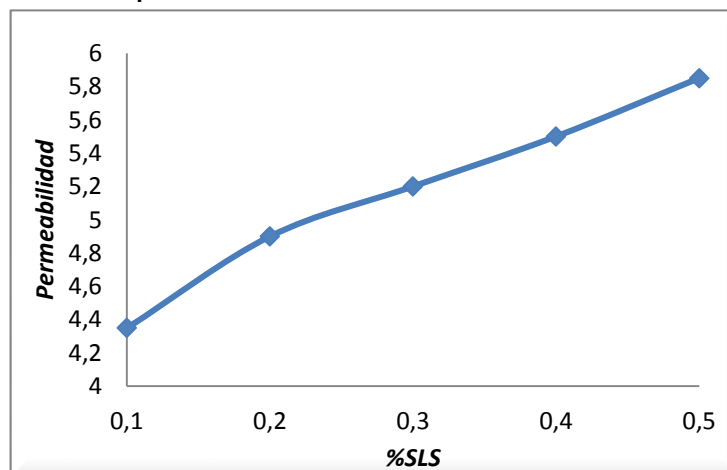


➤ **1085 RPM AGITADOR 1, PROCEDIMIENTO 1**

Tabla 2. Relación entre el porcentaje de SLS y la permeabilidad, en mezclas a 1085 RPM, en el agitador 1 con el procedimiento 1. Fuente: Los autores

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	PERMEABILIDAD PROMEDIO
0.1	4,35
0.2	4,9
0.3	5,2
0.4	5,5
0.5	5,85

Gráfico 2. Relación de permeabilidad con porcentaje de SLS a 1085 RPM, utilizando el agitador 1 y el procedimiento 1. Fuente: Los autores



➤ 1800 RPM AGITADOR 2 PROCEDIMIENTO 2

Tabla 3. Relación entre el porcentaje de SLS y la permeabilidad, en mezclas a 1800 RPM, en el agitador 2 con el procedimiento 2

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	PERMEABILIDAD PROMEDIO
0.0	5,00
0.1	5,05
0.2	5,90

Es evidente el aumento progresivo de la permeabilidad de los moldes a medida que se aumenta el porcentaje de SLS en la mezcla, teniendo en cuenta la velocidad de flujo de aire bajo presión que atraviesa las probetas.

Las variables velocidad de agitación y porcentaje de espumante se ven relacionados en la medida que la permeabilidad aumenta, por la producción de espuma en la mezcla que genera la porosidad abierta que más adelante proporciona un incremento en la condición de interés.

La mejor respuesta al procedimiento en cuanto a permeabilidad se presentó en la relación 0,2% de espumante, mezclado a 1800 RPM en el agitador 2 con el procedimiento 2.

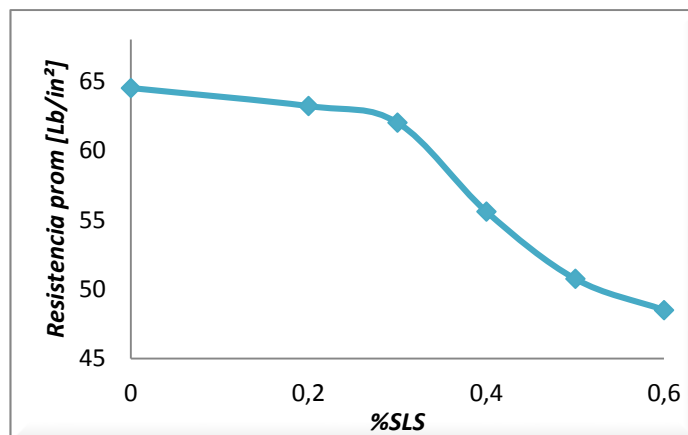
3.5.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

➤ 230 RPM AGITADOR 1, PROCEDIMIENTO 1

Tabla 4. Relación entre el porcentaje de SLS y la resistencia a la compresión, en mezclas a 230 RPM, en el agitador 1 con el procedimiento 1. Fuente: Los autores

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	RESISTENCIA PROMEDIO Lb/ in ²
0.0	64.5
0.2	63.2
0.3	62
0.4	55.6
0.5	50.75
0.6	48,5

Gráfico 3. Relación de resistencia a la compresión con porcentaje de SLS a 230 RPM, utilizando el agitador 1 y el procedimiento 1. Fuente: Los autores

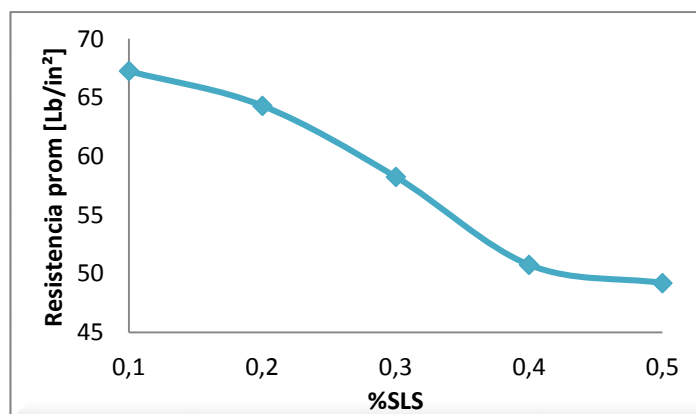


➤ 1085 RPM AGITADOR 1, PROCEDIMIENTO 1

Tabla 5. Relación entre el porcentaje de SLS y la resistencia a la compresión, en mezclas a 1085 RPM, en el agitador 1 con el procedimiento 1. Fuente: Los autores

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	RESISTENCIA PROMEDIO Lb/ in ²
0.1	67.25
0.2	64.3
0.3	58.25
0.4	50.75
0.5	49.2

Gráfico 4. Relación de resistencia a la compresión con porcentaje de SLS a 1085 RPM, utilizando el agitador 1 y el procedimiento 1. Fuente: Los autores



➤ 18800 RPM AGITADOR 2 PROCEDIMIENTO 2

Tabla 6. Relación entre el porcentaje de SLS y la resistencia a la compresión, en mezclas a 1800 RPM, en el agitador 1 con el procedimiento 1. Fuente: Los autores

% DE LAURIL SULFATO DE SODIO	RESISTENCIA PROMEDIO Lb/ in²
0.0	NO ROMPIO
0.1	NO ROMPIO
0.2	63.5

Para porcentajes superiores a 0.2%, la mezcla forma demasiada espuma, evitando el llenado de los cilindros, además durante el vacío las probetas quedan sin material dentro de ellas, por lo que este porcentaje de espumante es descartado.

Evaluando el porcentaje de espumante que se adicionó a la mezcla y la influencia de éste sobre la resistencia a la compresión, es clara la disminución en esta propiedad del material, ya que al haber mayor cantidad de burbujas de aire en el interior de las probetas hay más espacios intersticiales que permiten la fragilización de las mismas.

Teniendo en cuenta la velocidad de agitación durante el procedimiento, se afirma que al aumentarla, va incrementando progresivamente la resistencia a la compresión de las probetas a diferentes porcentajes, por lo tanto la relación que existe entre el porcentaje de espumante y la resistencia no se puede establecer, es posible trabajar porcentajes diferentes a velocidades de agitación mayor para contrarrestar el efecto y obtener buenas propiedades físicas.

La permeabilidad en el revestimiento aumenta con el contenido de espumante, mientras que la resistencia a la compresión disminuye, lo cual era lo esperado teniendo en cuenta que la formación de poros en la matriz permite el paso del flujo de gas a través de ella, y la porosidad influye en la disminución de las propiedades mecánicas al reducir el área efectiva de la sección transversal de la probeta haciéndola menos resistente, sin embargo al aumentar la velocidad de agitación

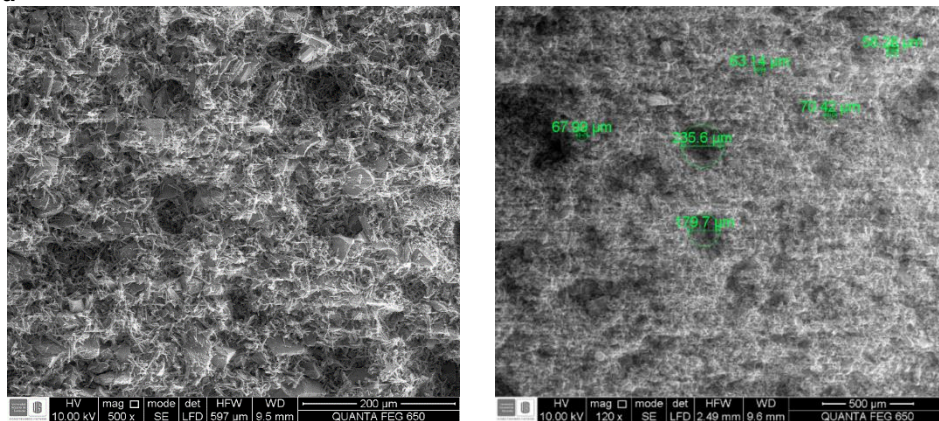
durante la mezcla ésta relación se puede descartar, debido al aumento de las propiedades con las misma condiciones de espumante.

3.5.3. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA

230 RPM, AGITADOR 1, PROCEDIMIENTO 1.

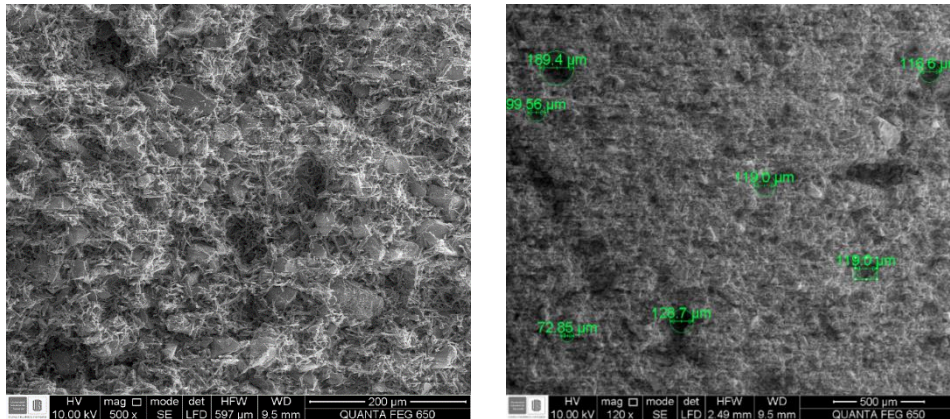
✓ Sin lauril sulfato de sodio

Figura 6. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes sin SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



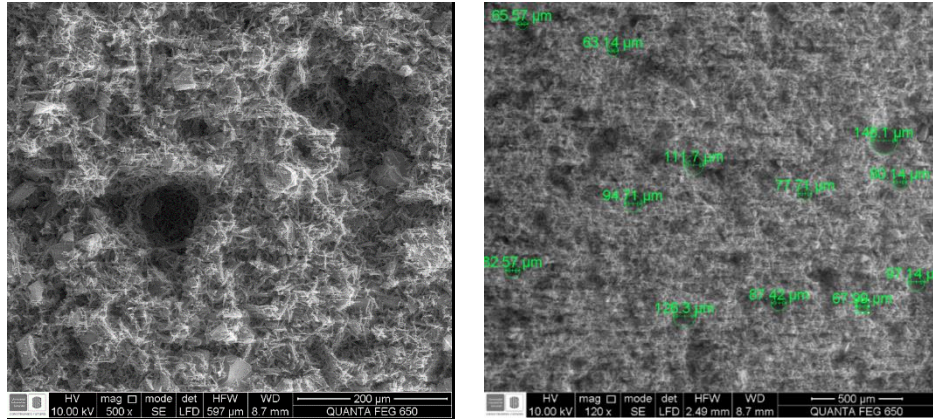
✓ Con 0.2 % de lauril sulfato de sodio

Figura 7. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,2% SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



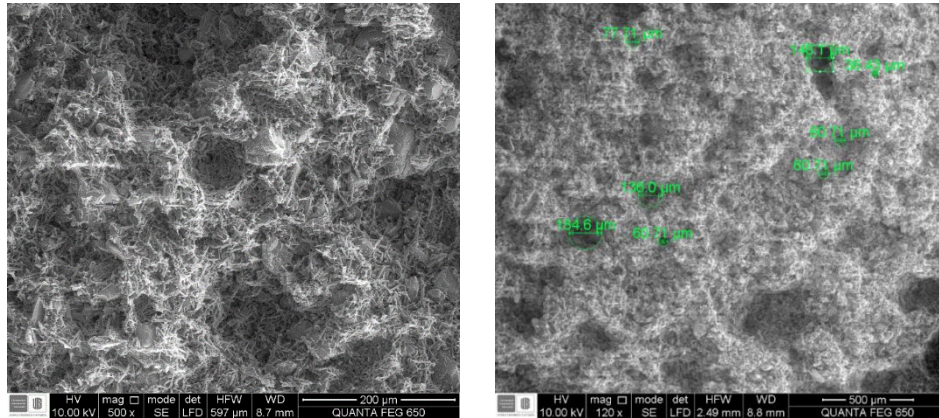
✓ Con 0.3 % de lauril sulfato de sodio

Figura 8. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,3% SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



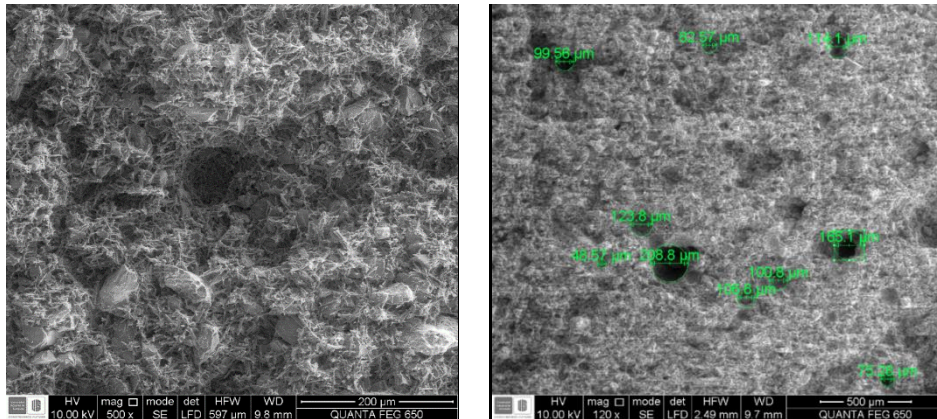
✓ Con 0.4 % de lauril sulfato de sodio

Figura 9. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,4% SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



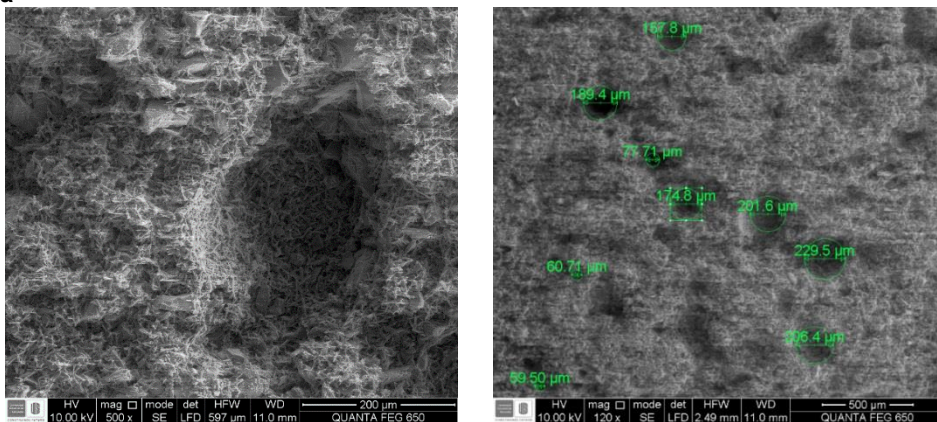
✓ **Con 0.5 % de lauril sulfato de sodio**

Figura 10. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,5% SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



✓ **Con 0.6 % de lauril sulfato de sodio**

Figura 11. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,6% SLS a 230 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



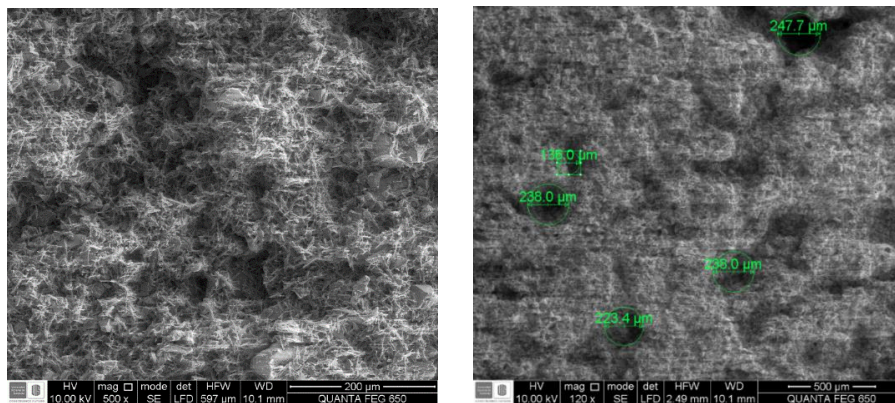
En las figuras se observa las micrografías del revestimiento con lauril sulfato de sodio a diferentes porcentajes a 230 RPM, mezclado con el agitador 1 y utilizando el procedimiento 1, comparando a diferentes aumentos (120X y 500X) para cada porcentaje. La microestructura que presenta mejor distribución de poros en cuanto a tamaño es la de las probetas con 0,3% de SLS, sin atender a un promedio entre estos valores, el tamaño oscila entre 63-97 µm, despreciando algunas medidas en una desviación estándar.

La estructura va perdiendo homogeneidad al adicionar SLS, y el tamaño de los poros va aumentando progresivamente, debido al incremento en la concentración de espumante que va formando macro-porosidad y no permite la adecuada cohesión entre partículas. La porosidad no es homogénea, sin embargo el incremento en el diámetro de las cavidades es notable a medida que el porcentaje de SLS es mayor.

1085 RPM AGITADOR 1 PROCEDIMIENTO 1

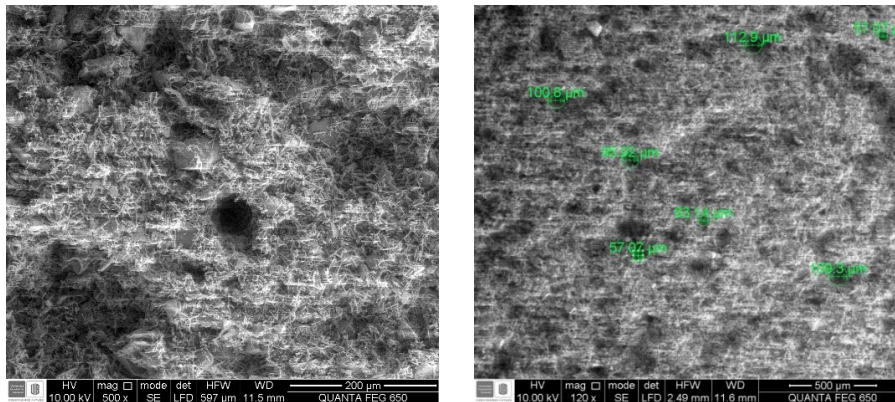
✓ 0,1% de lauril sulfato de sodio

Figura 12. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,1% SLS a 1085 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



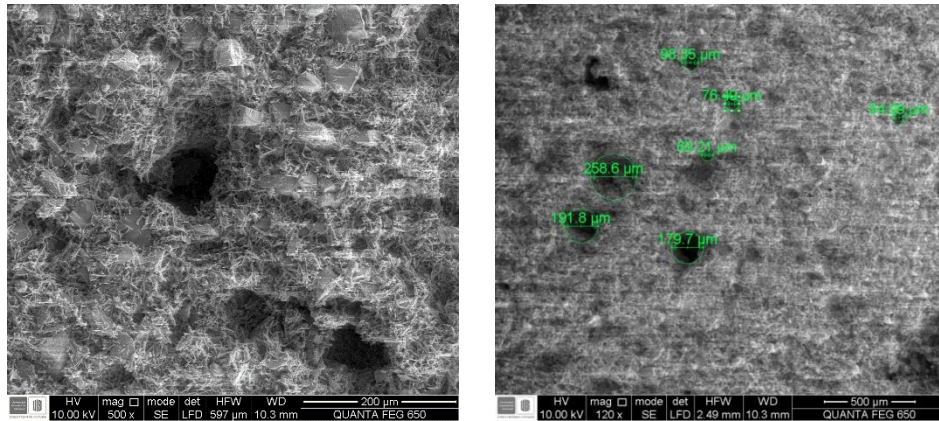
✓ 0,2% de lauril sulfato de sodio

Figura 13. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,2% SLS a 1085 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



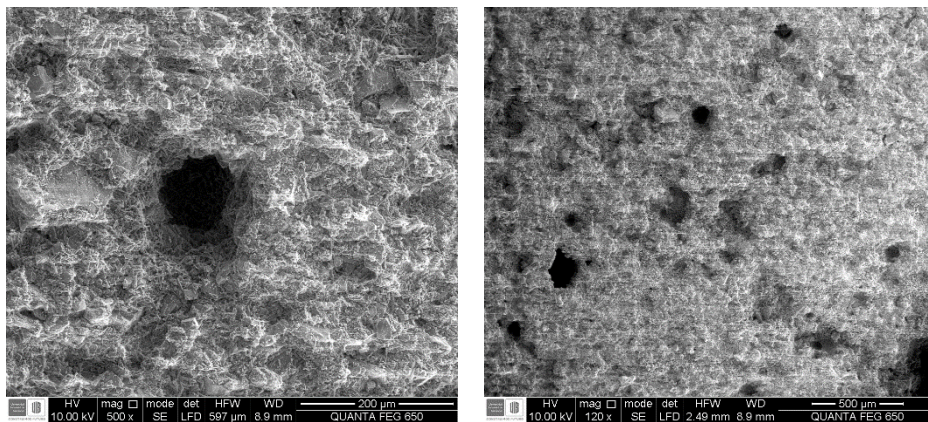
✓ **0,3% de lauril sulfato de sodio**

Figura 14. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,3% SLS a 1085 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



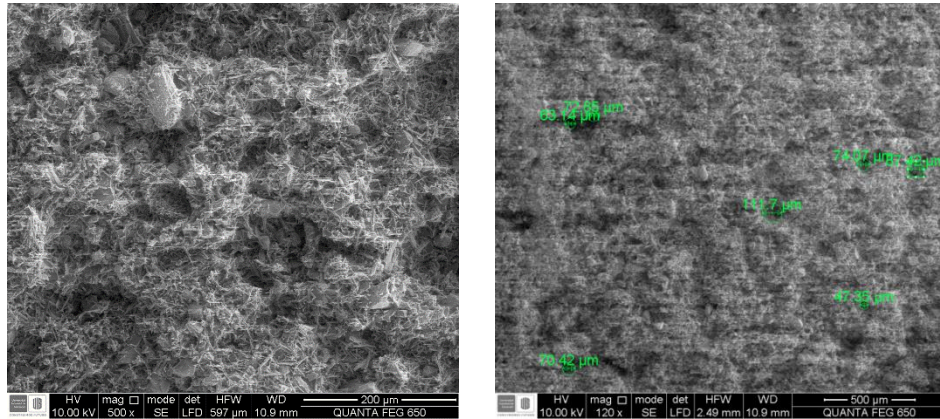
✓ **0,4% de lauril sulfato de sodio**

Figura 15. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,4% SLS a 1085 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



✓ **0,5% de lauril sulfato de sodio**

Figura 16. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,5% SLS a 1085 RPM utilizando agitador 1 y procedimiento 1. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



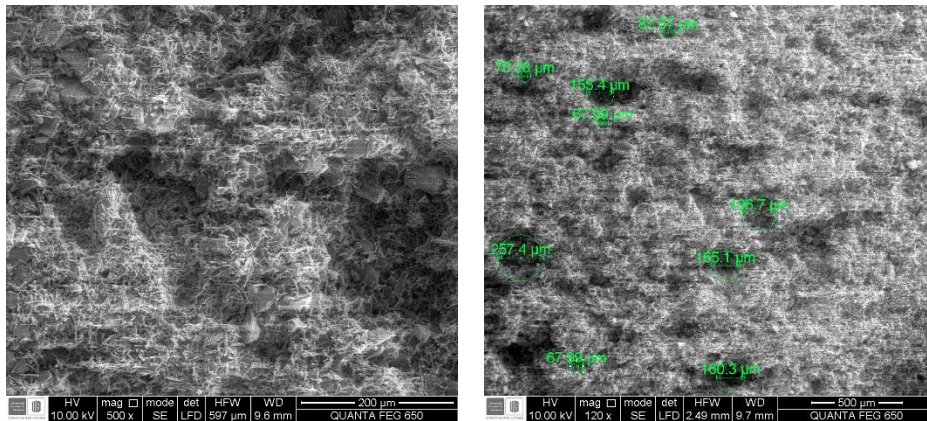
En las figuras de microscopía se evidencian las micrografías del revestimiento con lauril sulfato de sodio a diferentes porcentajes a 1085 RPM, mezclado con el agitador 1 y utilizando el procedimiento 1, comparando a diferentes aumentos (120X y 500X) para cada porcentaje.

Aunque no es posible relacionar un promedio para el tamaño de los poros en las microestructuras, se observa que al aumentar la velocidad de agitación el diámetro de las cavidades es menor, y se explica por qué la resistencia a la compresión aumenta en esta misma medida.

1800 RPM AGITADOR 2 PROCEDIMIENTO 2

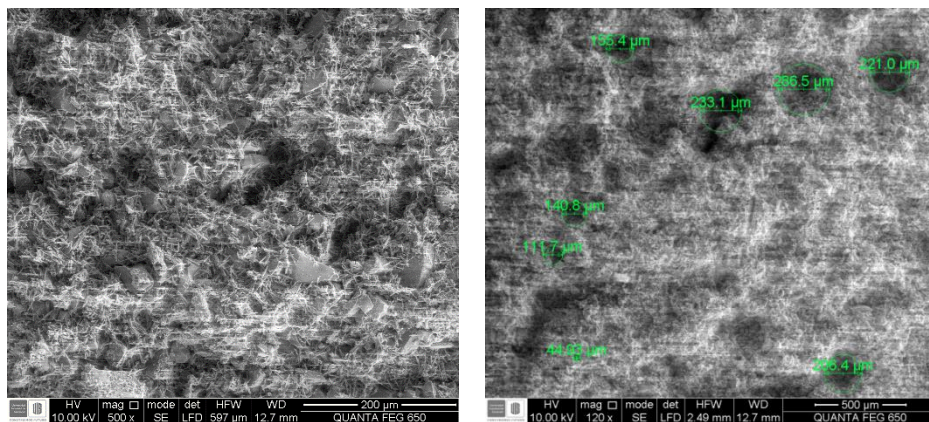
✓ Sin lauril sulfato de sodio

Figura 17. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes sin SLS a 1800 RPM utilizando agitador 2 y procedimiento 2. Fuente: Laboratorio de microscopía – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



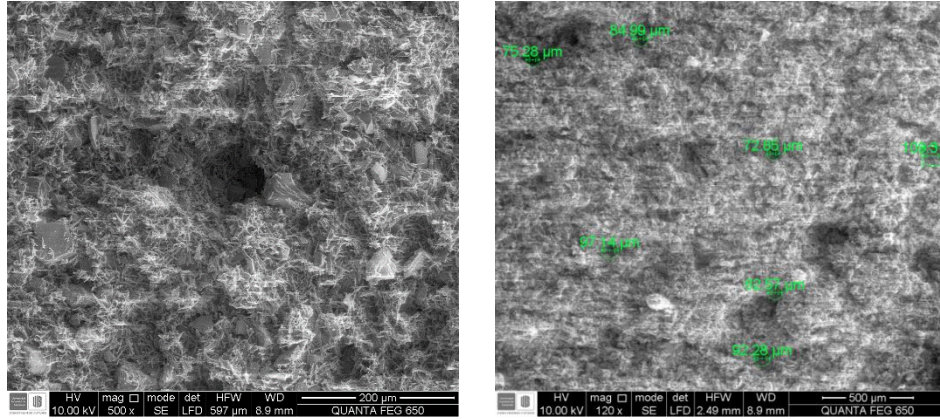
✓ 0,1% de lauril sulfato de sodio

Figura 18. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,1% SLS a 1800 RPM utilizando agitador 2 y procedimiento 2. Fuente: Laboratorio de microscopía – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



✓ **0,2% de lauril sulfato de sodio**

Figura 19. Microscopía por SEM 500x y 120x para moldes con 0,2% SLS a 1800 RPM utilizando agitador 2 y procedimiento 2. Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará



El aumento en la velocidad de agitación para éste último caso promueve evidentemente la formación de poros más pequeños, reflejándose en la resistencia de las probetas con éstas condiciones.

El lauril sulfato de sodio promueve la formación de poros en la estructura del revestimiento, lo que favorece el escape de gases del molde durante la colada, sin embargo al aumentar significativamente la concentración del espumante, se ve afectada aptitud del material a copiar las características superficiales de modelos dispuestos para el procedimiento de micro-fundición.

3.6. ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS

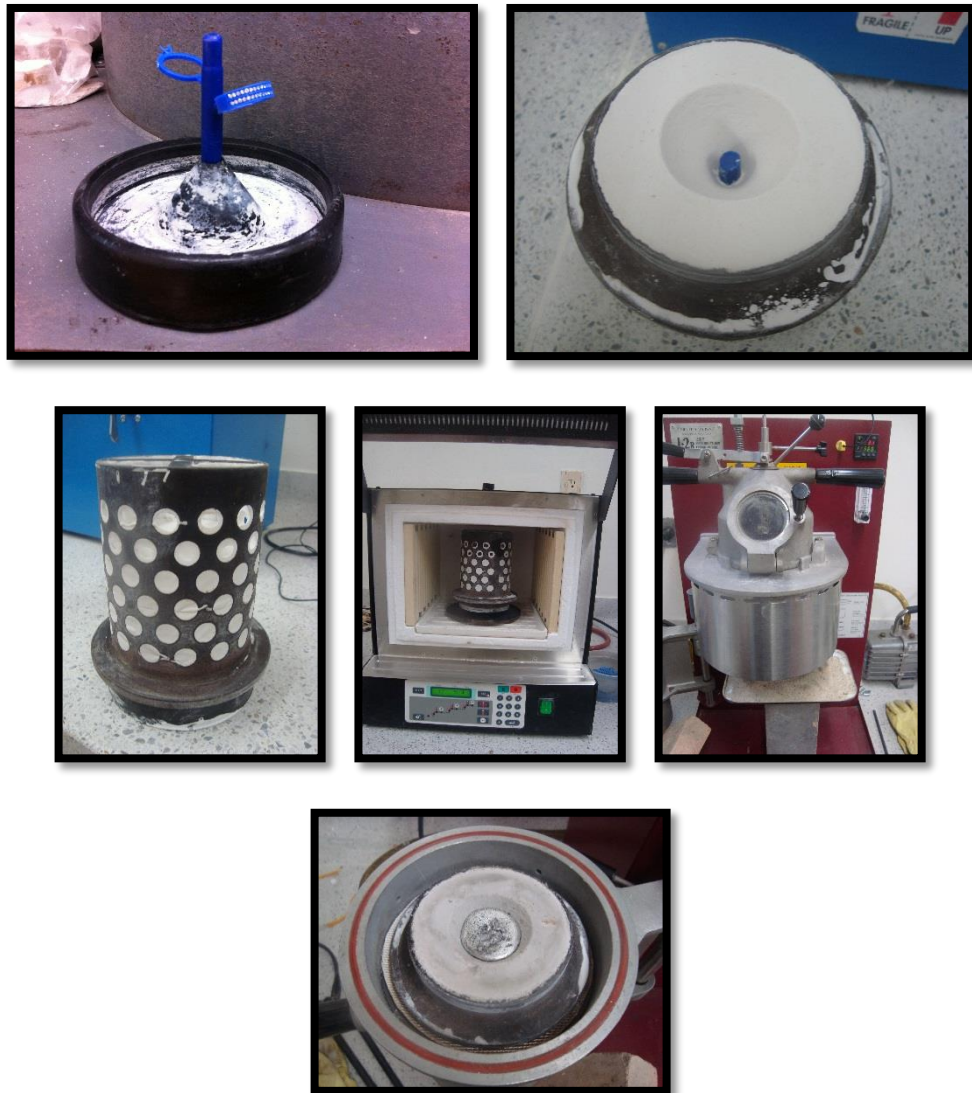
Para la elaboración de prototipos se utilizó la mejor combinación entre las variables, espumante, permeabilidad, y velocidad de agitación.

La aleación utilizada fue Zn-Al 16% teniendo su cuenta la buena colabilidad, con temperatura de fusión 480°C, sin embargo la temperatura fue aumentada para garantizar el llenado eficiente del molde.

Las condiciones fueron las siguientes:

- 0,2% de lauril sulfato de sodio
- Indicador de permeabilidad: 6
- 1800 RPM
- Agitador 2
- Procedimiento 2

Figura 20. Proceso de colada. Fuente: los autores



PROTOTIPO 1

Condiciones de colada:

Temperatura de fusión: 560°C

Temperatura del molde: 300°C

Sin vacío durante la colada

Sin gemas

Figura 21. Prototipo 1, colada sin vacío y prototipo sin gemas



PROTOTIPO 2

Teniendo en cuenta la falta de llenado de las piezas, fue necesario aumentar la temperatura de colada.

Condiciones de colada:

Temperatura de fusión: 580°C

Temperatura del molde: 300°C

Con vacío durante la colada

Sin gemas

Figura 22. Prototipo 2, Colada con vacío y prototipo sin gemas



PROTOTIPO 3

Condiciones de colada:

Temperatura de fusión: 580°C

Temperatura del molde: 300°C

Con vacío durante la colada

Con gemas (zircón y aguamarina semipreciosa natural)

Figura 23. Prototipo 3, Colada con vacío y prototipo con gemas



Se observa un pre-engaste efectivo, además el acabado superficial de las piezas es aceptable, sin embargo la piedra aguamarina sufrió fisuras y pérdida de brillo debido a que ésta no resiste altas temperaturas, por otra parte el zircón que es más resistente no sufrió cambios durante la colada.

CONCLUSIONES

1. La permeabilidad y el porcentaje de espumante son directamente proporcionales, debido al aumento de porosidad en el molde, la mejor relación encontrada en cuanto a permeabilidad fue 0,2% de SLS, agitador 2, procedimiento 2 a 1800 RPM.
2. La resistencia a la compresión está ligada directamente con el porcentaje de espumante, al aumentar la concentración de esta variable las condiciones de resistencia son menos favorables, las probetas que presentaron mayor resistencia fueron las agitadas a 1085 RPM con 0,1% de SLS, en el agitador 1 y utilizando el procedimiento 1, teniendo en cuenta datos numéricos.
3. Otra variable importante sobre las propiedades físicas de los moldes de yeso es la velocidad de agitación, teniendo en cuenta que se observó una mejora en la resistencia a medida que aumentaba la velocidad, las probetas agitadas a 1800 RPM SIN SLS y 0,1% de SLS, en el agitador 2 y utilizando el procedimiento 2 no se rompieron, por lo que se les atribuye máxima resistencia a la compresión.
4. La mejor combinación entre resistencia y tamaño de poro se presentó en las probetas con 0,2% de SLS agitadas a 1800 RPM en el agitador 2 y utilizando el procedimiento 2.
5. Los prototipos fueron elaborados con la mejor combinación de permeabilidad y resistencia a la compresión, y se estableció que las condiciones de colada que proporcionaron mejores resultados fueron las del prototipo 3.

RECOMENDACIONES

1. La resistencia a la compresión del molde está influenciada por el cambio en el procedimiento de elaboración de las probetas, el tiempo de mezcla y las condiciones de vacío, serian una variable a analizar en futuras investigaciones.
2. Una elevada velocidad de agitación en la mezcla influye de manera favorable sobre la resistencia del molde, sin embargo la razón de concentración afecta, por lo que se recomienda estudiar una relación ideal de porcentaje y velocidad, sin perder las propiedades.
3. Es importante realizar el recubrimiento refractario sobre la gema para implementar el método en esmeraldas, debido a su susceptibilidad a la temperatura haciéndose probable el deterioro de la gema.
4. Realizar un tratamiento térmico a una temperatura inferior a 600°C y evaluar las propiedades del molde así como la modificación en la gema.

BIBLIOGRAFÍA

BLANCO, H. A., & RUEDA, J. G. Mejoramiento de la permeabilidad en moldes de yeso por el proceso de agitación y adición de espumantes. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 1993.

DEPARTAMENTO DE METALURGIA GRUPO CERA PERDIDA. segundo seminario de fundición de precisión a la cera perdida. Medellin. 1992

DISEÑO, C. T. Guia para diseñadores y prescriptores de joyeria Recuperado el 28 de junio de 2013, de: www.tainingjoyaexperience.com/file/98008/

ESCOBAR. V. Hernando, GUERRERO. B. Yeimy. “Adecuación de la permeabilidad de moldes en yeso mediante la adición de espumantes y/o agitación para su aplicación al método de pre-engaste de esmeraldas”. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. 2012. p. 31

FUNDICIÓN ARTISTICA. S. O. Obtenido de <http://sebasoiarte.blogspot.com/2010/03/fundicion-la-cera-perdida.html>

FUNDICION. (28 de OCTUBRE de 2010). Obtenido de <http://fundiciondelblingcarv.blogspot.com/p/microfucion.html>

FUNDISA. Recuperado el 5 de julio de 2013, de <http://www.fundisa.com.ar/Historia.htm>

GONZALEZ, J., & TAPIA, V. Técnicas modernas para permeabilizar moldes en yeso. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1983.

INCORPORATED, A. F. Foundry Sand Handbook. Chicago, illinois: copyright. 1952.

John C, M. D. An evaluation of the permeability of a jewelry casting investment. Stuller Settings, Inc, Lafayette; Louisiana.

LOEWEN, Ronald. Rapid elimination and reaction chemistry of sulfate-bonded investment. The santa fe symposium on jewelery manufacturing techonology, NUEVO MEXICO. 2002. p. 167.

ROWE, Raymond C, SHESKEY, Paul J and QUINN, Marian E. Handbook of Pharmaceutical Exicipients. sixth edition. p.651

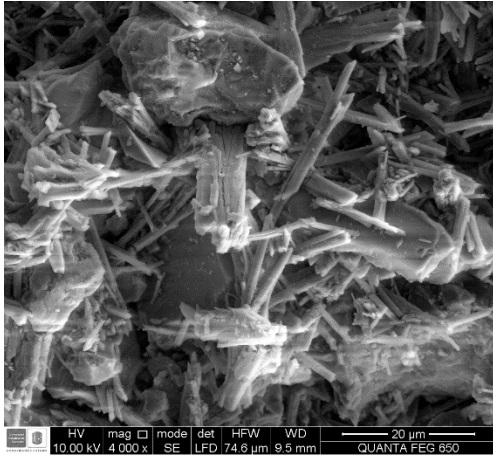
R&R JEWELRY PRODUCTS. Obtenido de http://www.ransom-randolph.com/html/___r_r_jewelry_investments.html

VALERIO FACCENDA, pomellato y GABRIEL M. INGO Advances in investment and burnout furnace desing, S.P.A, Italy, CNR-ICMAT

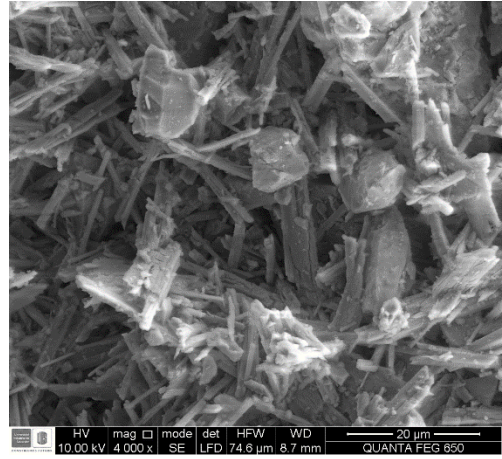
CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1][2], S. O. (s.f.). FUNDICIÓN ARTISTICA. Obtenido de <http://sebasoiarte.blogspot.com/2010/03/fundicion-la-cera-perdida.html>
- [3] FUNDISA. (s.f.). Recuperado el 5 de julio de 2013, de <http://www.fundisa.com.ar/Historia.htm>
- [4] BLANCO, H. A., & RUEDA, J. G. (1993). Mejoramiento de la permeabilidad en moldes de yeso por el proceso de agitación y adición de espumantes. Bucaramanga.
- [5] GONZALEZ, J., & TAPIA, V. (1983). Tecnicas modernas para permeabilizar moldes en yeso. Bucaramanga.
- [6] Departamento de Metalurgia Grupo Cera Perdida. (1992). SEGUNDO SEMINARIO DE FUNDICIÓN DE PRECISIÓN A LA CERA PERDIDA. Medellin.
- [7] Raymond C Rowe, Paul J Sheskey and Marian E Quinn. Handbook of Pharmaceutical Excipients. sixth edition. p.651
- [8] ESCOBAR. V. Hernando, GUERRERO. B. Yeimy. "Adecuación de la permeabilidad de moldes en yeso mediante la adición de espumantes y/o agitación para su aplicación al método de pre-engaste de esmeraldas". UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. 2012. p. 31.

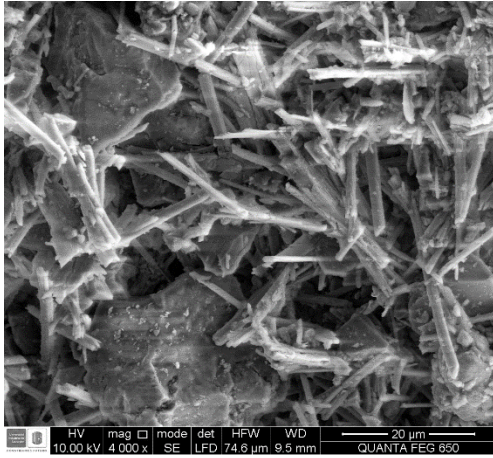
ANEXOS



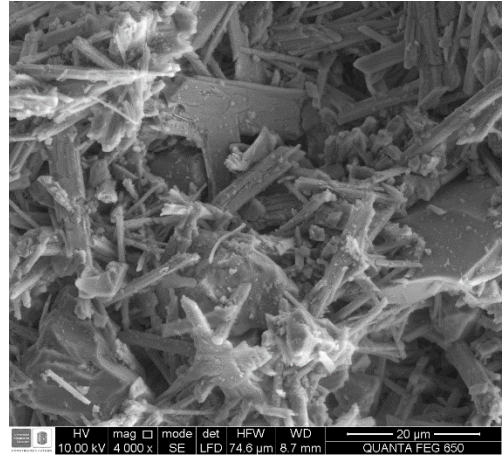
0% SLS 230 RPM A1 P1



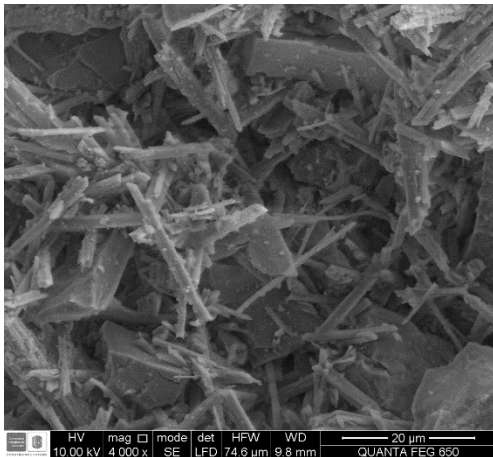
0,2% SLS 230 RPM A1 P1



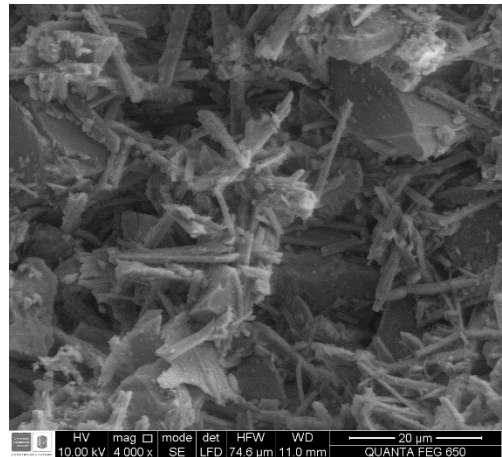
0,3% SLS 230 RPM A1 P1



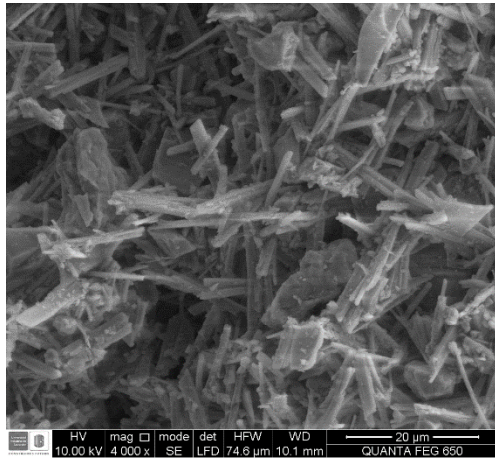
0,4% 230 RPM A1 P1



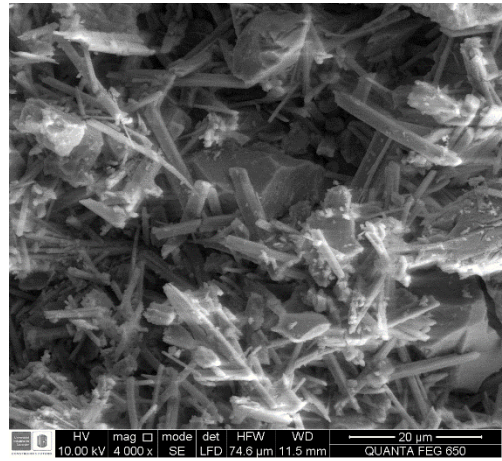
0,5% 230 RPM A1 P1



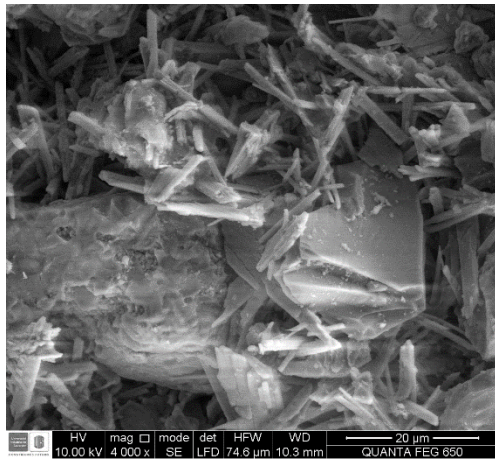
0,6% 230 RPM A1 P1



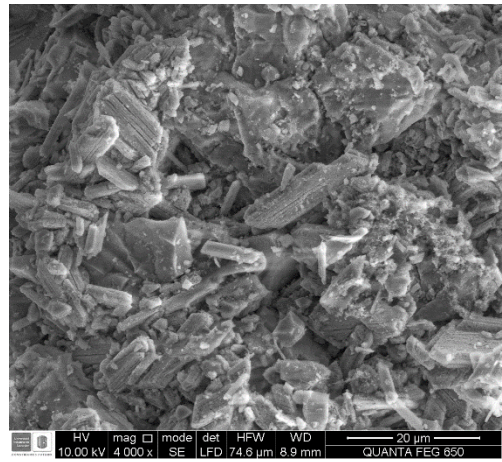
0,1% 1085 RPM A1 P1



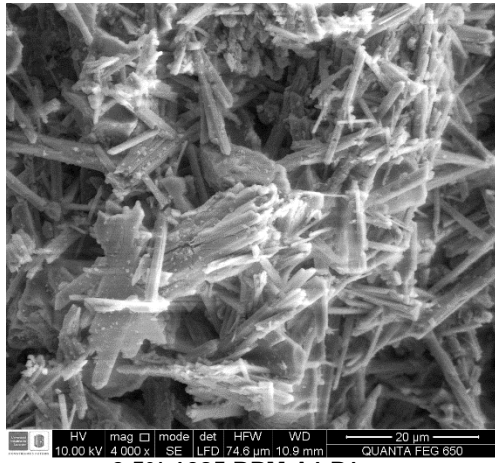
0,2% 1085 RPM A1 P1



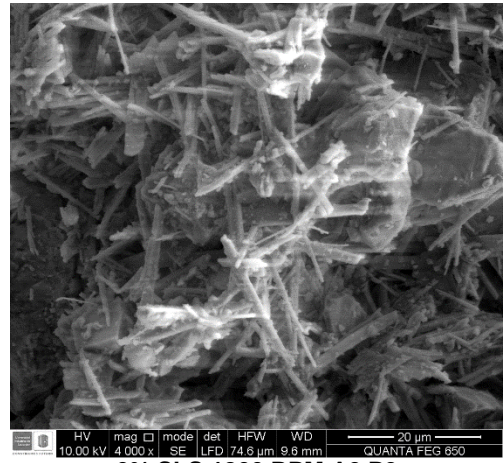
0,3% 1085 RPM A1 P1



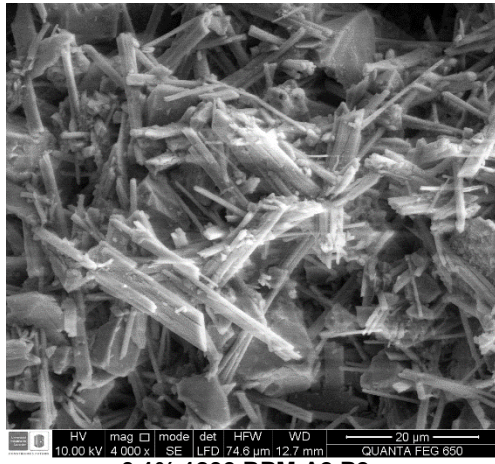
0,4% 1085 RPM A1 P1



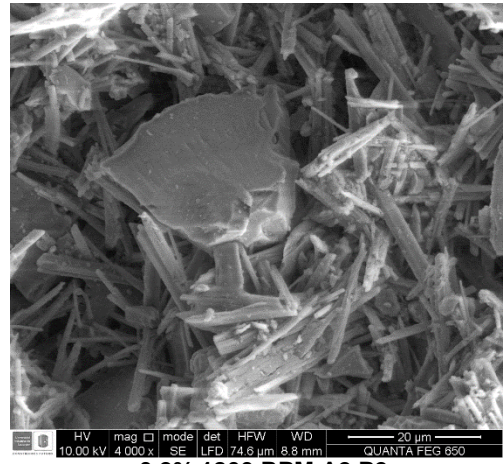
0,5% 1085 RPM A1 P1



0% SLS 1800 RPM A2 P2



0,1% 1800 RPM A2 P2



0,2% 1800 RPM A2 P2