

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

YEHIMY ROCIO GUERRERO BANDERAS
HERNANDO ALFONSO ESCOBAR VERA

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

2012

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

YEHIMY ROCIO GUERRERO BANDERAS
HERNANDO ALFONSO ESCOBAR VERA

DIRECTOR:

Dr. ARNALDO ALONSO BAQUERO

CO DIRECTORA:

Dra. ELCY MARIA CÓRDOBA TUTA

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

2012

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir, crecer y por llenarme de fortaleza y sabiduría
en los momentos de dificultad.

A mi madre y hermanas por creer en mí durante todo este tiempo y por ser un ejemplo
claro de mujeres luchadoras, que no descansan hasta lograr sus objetivos.

A mi padre Carlos Guerrero que aunque no está conmigo en este momento, a él le debo
gran parte de lo que soy.

A Miguel Ángel Montañez por llenar mi vida de alegría y amor y por ser un compañero
incondicional durante estos años.

A mis amigas: Deisy, Yasmin, Leidy y Asbleidy; son mujeres con muchos valores, que
con paciencia me han aportado conocimientos y han estado ahí cuando más las necesito.

Sin importar en donde nos encontremos siempre las llevaré en mi corazón.

A mi compañero Hernando, porque sin su apoyo no hubiésemos podido culminar a
tiempo esta importante etapa de nuestras vidas.

Al profesor Arnaldo Alonso Baquero, por su amistad y plena disposición para colaborar
con el desarrollo de esta investigación.

A la profesora Luz Amparo Quintero quien con su gran vocación, influyó
indirectamente en mí, para que continuará con esta carrera.

Yehimy Rocio Guerrero Banderas

DEDICATORIA

Ante todo quiero dar gracias a Dios porque sin el ningún éxito alcanzado sería posible, él es el único que a través de personas o situaciones hace que cada día sea mejor que el anterior, Permitiéndonos así llegar hasta donde muchos creerían imposible. El obra de maneras misteriosas pero siempre está ahí, Escuchándonos. Doy gracias a mi familia, aquellas personas incondicionales que siempre me brindaron apoyo emocional y espiritual, A mi abuela Fanny Herrera, mi padre Hernando Escobar, mi tía Janeth Escobar, Alicia Herrera, Orlando Rincón. Que siempre confiaron que alcanzaría esta meta tan anhelada. Sin sus buenos deseos nada de esto sería posible. A Sandra Pinto y Libia Sánchez quienes durante muchos años de mi vida fueron mi apoyo incondicional durante la mayor parte de mi carrera y mi vida en la que cada día agradezco porque forman parte de mi vida. A mis amigos Gabriel Durán y Jaime Llorente por su apoyo en mi formación hacia mi vida profesional. A Lili Camacho. Agradezco a los jefes de mis trabajos. Lucia Díaz de Orejarena, Alfonso Orejarena, Diego Orejarena, Juan Pablo Valdivieso, Rodolfo Corzo, Juan Carlos Llanos, Miguel Ángel Castañeda, quienes durante muchos años de trabajo me han brindado su confianza, su amistad y la experiencia del mundo laboral.

A mis amigos, compañeros y conocidos que directa o indirectamente contribuyeron al desarrollo de este proyecto tan interesante, a Juan Pablo Reyes de la joyería Caracas, Iván Darío López. A Yehimy Guerrero mi compañera de proyecto que siempre ha sido constante y me ha brindado cosas buenas durante mi carrera.

Al profesor Arnaldo Alonso Baquero quien siempre ha visto en mí las capacidades que tengo para dar solución a todo lo que se nos presente, me brindó su amistad y entregó mucho conocimiento durante muchos años de mi carrera.

HERNANDO ALFONSO ESCOBAR VERA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por la oportunidad de formarnos como personas y profesionales.

A nuestro director de proyecto Arnaldo Alonso Baquero, por su paciencia, tiempo, dedicación y orientación durante el desarrollo de esta investigación, porque gracias a su confianza se convirtió en un gran amigo que brindó lo mejor de su experiencia para la realización de esta meta.

A la codirectora de nuestro proyecto la profesora Elcy Maria Córdoba Tuta, por creer en nuestras capacidades y aportarnos todo su valioso conocimiento para el cumplimiento del proyecto.

Al grupo de investigación GIMAT y a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, por facilitarnos sus instrumentos para el desarrollo de nuestra investigación.

A los profesores Luis Orlando Aguirre, Luz Amparo Quintero, Custodio Vásquez, Orlando Gómez, Afranio Cardona, Iván Uribe y Luis Emilio Forero (q.e.p.d).

A los técnicos Javier Gaitán, Ambrosio Carrillo, Domingo Carreño y en especial a Mario Navarrete por su disposición y orientación durante todo el ciclo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo General	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2. MARCO TEORICO Y ESTADO DE ARTE	21
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	27
3.1 ETAPA 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
3.2 ETAPA 2: SELECCIÓN DE VARIABLES EN EL PROCESO	28
3.2.1 Selección de los espumantes:	28
3.2.2 Determinación de parámetros de agitación:	28
3.3 ETAPA 3: FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS DE YESO	29
3.4 ETAPA 4: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA PERMEABILIDAD DEL YESO SEGÚN LOS ESPUMANTES SELECCIONADOS Y AGITACIÓN; ASÍ COMO LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS	32
3.5 ETAPA 5: APLICACIÓN DE LOS MOLDES DE YESO AL MÉTODO DE PRE-ENGASTE, CON ESMERALDAS SINTÉTICAS	34
3.6 ETAPA 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
3.6.1 Detergente sólido	36
3.6.2 Lauril sulfato de sodio	38
3.6.3 Aceite de pino	41
3.6.4 Genapol	44
3.6.5 Caracterización de las probetas obtenidas con la combinación de espumantes y agitación	49

3.6.6 Aplicación del método de pre-engaste de las esmeraldas con el molde de yeso espumado.....	50
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el detergente sólido	36
Tabla 2. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el lauril sulfato de sodio	39
Tabla 3. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el aceite de pino	42
Tabla 4. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el genapol ..	45
Tabla 5. Datos de permeabilidad para los espumantes analizados	48
Tabla 6. Datos de resistencia a la compresión para los espumantes analizados ..	48
Tabla 7. Resultados después de aplicar agitación	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol en cera	21
Figura 2. Engaste o montura de gemas con bisel.....	22
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto	27
Figura 4. Agitador mecánico	29
Figura 5. Probetas en acero inoxidable y su base en caucho vulcanizado	29
Figura 6. Tratamiento térmico para el molde en yeso.....	31
Figura 7. Permeámetro eléctrico.....	32
Figura 8. Máquina universal de ensayos	33
Figura 9. Equipos de microscopía Hirox y SEM.....	33
Figura 10. Diagrama ternario Ag-Cu-Zn.....	34
Figura 11. Esmeraldas pre-engastadas en el modelo en cera.....	35
Figura 12. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de detergente sólido ..	37
Figura 13. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de detergente sólido	37
Figura 14. Detergente sólido 0,3%- 140X- Hirox.....	38
Figura 15. Probeta Detergente sólido	38
Figura 16. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de Lauril sulfato de sodio	40
Figura 17. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de lauril sulfato de sodio.....	40
Figura 18. L. sulfato de sodio 0,4% - 140X - Hirox.....	41
Figura 19. L. sulfato de sodio 0,6% -50X - SEM	41
Figura 20. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de aceite de pino	43
Figura 21. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de aceite de pino	43
Figura 22. Aceite de pino 0,4%- 140X- Hirox.....	44
Figura 23. Aceite de pino 0,4% - 100X- SEM	44

Figura 24. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de genapol.....	46
Figura 25. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de genapol	46
Figura 26. Genapol 0,8%- 140X - Hirox	47
Figura 27. Genapol 0,8% - 50X - SEM.....	47
Figura 28. Acabado Superficial de la pieza colada	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE YESO.....	55
ANEXO B. OTROS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	56
ANEXO C. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS EN EL PROCESO	58
ANEXO D. SUPERFICIES DE ALGUNAS PROBETAS ELABORADAS	60

RESUMEN

TITULO:

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.*

AUTORES

GUERRERO Banderas Yehimy Rocío
ESCOBAR Vera Hernando Alfonso **

PALABRAS CLAVES:

Permeabilidad del yeso, pre-engaste de esmeraldas, espumantes en yeso, resistencia a la compresión

DESCRIPCIÓN

La técnica en joyería de pre-engaste de gemas presenta grandes ventajas en comparación con el método de engaste tradicional en joyería, entre las cuales tenemos disminución en los costos de operación, disminución en la pérdida de material, disminución en los tiempos de producción, mejoramiento en el acabado superficial, entre otros; no obstante esta técnica, presenta algunas desventajas, debido a que no todas las piedras presentan un comportamiento ideal durante los ciclos de calentamiento, causando en muchas ocasiones daños a la gema, tales como fisuras, cambios de color, pérdidas en su brillo, entre los más significativos.

En esta investigación, el principal foco es el papel que desempeña la variación de los porcentajes de espumantes seleccionados y la agitación mecánica en la permeabilidad del revestimiento; empleando como revestimiento yeso tipo Paris cuyo contenido de sulfato de calcio semihidratado y cristobalita corresponde a 75 y 25% respectivamente.

Inicialmente se definieron los límites en los rangos de fraguado del recubrimiento, a partir de la variación del porcentaje de cada espumante, para determinar la relación ideal de agua, revestimiento y espumantes.

Se buscó mejorar la permeabilidad en el molde, para reducir la temperatura del tratamiento térmico y mejorar la colabilidad, sin afectar la resistencia mecánica, llegando así, a adaptar el molde a las condiciones de temperatura de la esmeralda; particularmente la Colombiana, la cual es susceptible a fracturas por cambios bruscos de temperatura y presiones, debido a que esta presenta una gran variedad de defectos, tales como: inclusiones, gases, entre otros, los cuales son los que le dan su color y brillo característico.

Con esta técnica se mejoraría el proceso de fabricación, logrando un ahorro energético alto, haciendo de este proceso que sea económicamente más viable y con unos resultados en donde la calidad de la pieza es alta.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Director. Ing. ALONSO Baquero Arnaldo Codirectora. Ing. CÓRDOBA Tuta ElcyMaría

ABSTRACT

TITLE:

FITNESS PERMEABILITY OF PLASTER MOLDS BY THE ADDITION OF FOAMING AND / OR AGITATION FOR APPLICATION TO THE METHOD OF COLOMBIAN EMERALDS CAST IN PLACE.*

AUTORES

GUERRERO Banderas Yehimy Rocio
ESCOBAR Vera Hernando Alfonso **

KEYWORDS:

Plaster permeability, emeralds cast in place, foaming plaster, compressive strength

DESCRIPTION

The technique of pre-setting jewelery gem has great advantages compared with traditional crimping method jewelry, among which are reduction in operating costs, decrease in the loss of material, reduced production times, improved surface finish, among others; however this technique has some disadvantages, because not all the stones have an ideal behavior during heating cycles, often causing damage to the stone, such as cracks, discoloration, loss in brightness among the most significant. In this research, the primary focus is the role of the variation of the percentages selected blowing and mechanical agitation in the permeability of the coating, using as coating Paris plaster type whose content of calcium sulfate hemihydrate and cristobalite corresponding to 75 and 25% respectively. Initially the limits defined in the setting ranges of the coating, from the variation of the percentage of each foaming to determine the ideal ratio of water and foaming coating.

We sought to improve permeability into the mold, to reduce the heat treatment temperature and improve the castability, without affecting the mechanical strength, reaching, to adapt to the conditions of mold temperature emerald particularly the Colombian, which is susceptible to fracture by thermal shock and pressure, because this presents a variety of defects, such as inclusions, gas, among others, which are what give it its characteristic color and brightness.

This technique would improve the manufacturing process, achieving high energy savings, making this process more economically viable and which results in the quality of the piece is high.

*Project of degree

**Faculty Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director. Ing. ALONSO Baquero Arnaldo. Codirector. Ing. CORDOBA Tuta Elcy María

INTRODUCCIÓN

Con civilizaciones antiguas como las inca, azteca y egipcia surgió hace aproximadamente 6000 años el proceso de moldeo a la cera perdida; estas culturas dejaron como legado esculturas y joyas desarrolladas bajo este proceso, posteriormente se manifestó en el imperio bizantino y durante el renacimiento.

A finales de 1800 tuvo un gran impacto en la industria debido al uso de materiales refractarios en suspensión líquida, sin embargo, solo se utilizaba para la fabricación de piezas exclusivas que algunas personas podían costear.

En la actualidad con los avances tecnológicos, (maquinaria de precisión y perfección de la técnica) se ha logrado llevar a producciones en masa, el desarrollo de moldes flexibles en goma que favorecen el diseño de piezas de geometrías complejas. Es en este punto en donde se refleja la importancia del desarrollo o mejoramiento de técnicas que permitan la obtención de piezas de excelente calidad, sin que esto conlleve a gastos elevados en su fabricación; el método de pre-engaste de joyas se ha estudiado desde hace aproximadamente 15 años y según los resultados obtenidos en Norte América y Europa es posible disminuir los costos de manufactura y el tiempo de producción. En nuestro estudio se analiza el comportamiento de la permeabilidad como principal objetivo, pues esta variable permite modificar el tratamiento térmico y mejorar la colabilidad a temperaturas menores a las tradicionales; buscando la adecuación del molde en yeso, para preservar las características físicas de las gemas, particularmente en el caso de las esmeraldas colombianas, debido a que éstas son muy sensibles a fallar por cambios de temperatura, a causa de sus inclusiones o imperfectos que a su vez, le dan su color característico.

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El pre-engaste de gemas es un proceso que consiste en fijarlas piedras durante el llenado de los moldes, que para el caso de las esmeraldas presenta grandes dificultades debido a que esta piedra preciosa es muy susceptible a la ruptura al calentarse, debido a que en su interior presenta inclusiones de diferente naturaleza, las cuales le dan el tono característico a la esmeralda colombiana [4].

Al conseguir el pre-engaste de la esmeralda, se obtendría una piedra prácticamente soldada a la pieza y se lograrían beneficios en el proceso de manufactura, tal como reducir los tiempos y costos de producción.

Son pocas las personas capacitadas técnicamente a nivel nacional para tallar las esmeraldas, particularmente las colombianas, por ser considerablemente sensible a ligeros cambios de temperatura. Es por esta razón, que hasta hoy en día no se realiza el pre-engaste de estas piedras por medio del proceso de microfundición. Como las condiciones iniciales del molde, hay que modificarlas por medio de un tratamiento térmico y como la temperatura afecta directamente a la esmeralda, con este proyecto se pretende conservar la integridad de la gema mediante el aumento de la permeabilidad, con el fin de disminuir la temperatura del molde al momento de realizar la colada. Con esto se daría un paso adelante en la adaptación de las esmeraldas colombianas al proceso de pre-engaste.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Adaptar la permeabilidad de los moldes en yeso para joyería mediante una técnica económica (adición de espumantes y/o agitación), con el fin de disminuir el daño de las gemas (esmeraldas colombianas) durante el método de pre-engaste para la obtención de piezas de joyería.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto que tiene la adición de espumantes y la agitación de las pastas de yeso sobre las características físicas de los moldes de yeso para joyería.
- Aumentar la permeabilidad de moldes en yeso a usar en el proceso de pre-engaste de esmeraldas para la obtención de piezas de joyería mediante la adición de espumantes y/o agitación.
- Comprobar experimentalmente las características del proceso en colada para joyería.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE

La técnica de cera perdida también llamada microfusión es considerada el más antiguo estilo de fundición de los metales, utilizada desde hace muchos siglos por culturas antiguas como los egipcios y la dinastía shang en china (1766-1122 A.C), quienes crearon esculturas en bronce con delicada filigrana. En Colombia se encontró que las culturas incas en el valle del cauca realizaron fundición de esculturas de oro, anteriores a la llegada de Cristóbal Colón en 1492. También se encontraron esculturas realizadas en el imperio Azteca entre otras culturas [1]. Actualmente mediante avances tecnológicos se ha transformado en el más moderno y versátil proceso, muy implementado en la fabricación de joyas, es económico y tiene la ventaja de que permite desarrollar piezas de geometrías complejas y de producción en masa. Pues en una sola colada se pueden fabricar varios anillos en cera unidos mediante un tallo el cual en conjunto es llamado árbol, como puede observarse claramente en la figura 1.

Figura 1. Árbol en cera



Fuente. Los autores

En la actualidad uno de los procesos para la fabricación de piezas de joyería donde se utilizan gemas sintéticas o naturales, consiste en darle un tratamiento mecánico a la pieza con limas, martillos, buriles e incluso en algunos casos soldaduras en los cuales la gema podría llegar a sufrir cambios o transformaciones que afectan directa o indirectamente la calidad de la joya. Métodos como el engaste o montura de gemas facetadas con bisel, son los más utilizados (Figura 2).

Figura 2. Engaste o montura de gemas con bisel



Fuente. Biblioteca de joyería-Raúl Ibarra [2]

Otros tipos de monturas para las gemas en los anillos, los cuales depende del corte, tamaño, y el gusto, entre otros, es la montura con barras, montura engarzada, de doble guía, tensión, uñas, etc. Todos estos métodos ejercen presión sobre la gema y requieren muchas veces de la manipulación manual de las pequeñas barras o uñas que sujetan la piedra. Estos procesos requieren de mucha experiencia por parte del joyero, además de mucho cuidado y precisión al momento de su manipulación ya que éstas en su mayoría conllevan a costos elevados en la materia prima. [3]

Por más de 20 años Estados Unidos y otros países han comenzado a implementar la técnica de pre-engaste de gemas. Las primeras publicaciones del uso de este método se realizaron en el año 1988[10]. Este proceso envuelve riesgos significativos en la pérdida de piedras preciosas si este no se realiza meticulosamente [4], particularmente la esmeralda natural, que es una piedra de la familia del berilo, bastante rara y de un precio elevado en el mercado. La esmeralda colombiana conocida en el mundo por su hermoso matiz verde el cual es otorgado propiamente por sus inclusiones, que aumentan aún más su sensibilidad a los cambios físicos ante la variación de la temperatura o presiones.[5]

En la elaboración de joyas en el proceso de micro-fundición se emplean materias primas, de baja granulometría que garantizan piezas de gran acabado superficial. El yeso se caracteriza por copiar muy bien la forma y detalles de la pieza, ofrece un fraguado acelerado y actúa a su vez como material refractario de buenas propiedades mecánicas. Además es de fácil desmoldeo. El cual al final del proceso deja la pieza limpia de residuos. El yeso es bastante empleado en la técnica de cera perdida la cual consiste en la fabricación de piezas de joyería a partir de modelos en cera que al ser recubiertos por el yeso y tras posterior fraguado se elimina la cera a temperaturas de aproximadamente 80 a 115 grados Celsius dejando la forma de la joya impresa en el molde de yeso para su posterior colada o inyección del metal en el molde para formar la pieza.

En la fabricación de piezas de joyería, el engaste de la piedra es posible realizarlo directamente en el molde de yeso; este proceso conocido como “Stone in place” en inglés, se presenta como una alternativa rápida y eficiente para ubicar la piedra en el molde antes de la colada. Combinando la simplicidad y efectividad de este método se refleja a nivel económico en la producción de joyería.

Durante el desarrollo de las piezas de joyería por medio de este método se deben tener en cuenta todos los factores que en él se dan, tales como, la selección del diseño del molde el cual debe sostener la gema con firmeza y precisión en la posición deseada. Se deben tener en cuenta para el modelo los factores de contracción y tolerancia dimensional al momento de hacer el molde en caucho y posteriormente en cera. La selección de las piedras es un factor definitivo al momento de buscar llegar a una pieza terminada satisfactoriamente.

Las piedras preciosas utilizadas en el método de pre-engaste deben ser de alta calidad, dimensionamiento preciso, libre de inclusiones, defectos que podrían inducir un opacamiento o ruptura durante su proceso. Las piedras más recomendadas para este proceso y que presentan resultados efectivos son: diamante, rubí, zafiro, zirconita cúbica y piedras sintéticas. No recomendadas: esmeralda, ópalo, jade, amatista, topacio, turmalina, perlas, turquesa, ónix, lapis lazuli entre otras [6].

En la búsqueda de mejorar las técnicas en las que se utiliza el yeso como material de recubrimiento se ha llegado a implementar la adición de componentes que modifican de manera importante las propiedades mecánicas o térmicas del recubrimiento cambiando las condiciones de fabricación de las piezas; tales como aditivos, espumantes, entre otros. El yeso espumado confiere mayor permeabilidad al molde, que la que puede obtenerse en los moldes por el proceso de moldeo de yeso convencional. Los moldes de yeso con adición de espumante tienen la superficie tersa con celdas de aire justo debajo de la superficie.

Durante el fraguado y el secado posterior de los moldes, esas celdas llegan a intercomunicarse, por lo tanto, permiten el escape de los gases formados durante la colada de manera más fácil; mejorando así su colabilidad a temperaturas inferiores a las que normalmente se manejan en el proceso de fabricación.

Si la permeabilidad del revestimiento no es lo suficientemente alta, entonces el metal no puede llenar la cavidad del molde completamente [7].

La permeabilidad de los moldes de yeso con espumante depende principalmente del incremento del volumen a causa de la adición de aire, cuando la suspensión es mezclada. Con la adición de espumantes es posible controlar la disminución del tratamiento térmico sin afectar su colabilidad y resistencia mecánica, también permite controlar según el tipo de espumante los tiempos de fraguado en función de la velocidad.

Los agentes espumantes son materiales que permiten de manera natural la formación de espuma, son heteropolares y presentan en su estructura una parte afín al agua (polar) y una parte afín al aire (no polar), siendo así adsorbidos en la interfase aire – agua. Dentro de este término encontramos: Los agentes tensoactivos que al estar en pequeñas cantidades, reducen la tensión superficial del líquido permitiendo crear la espuma por reducción de trabajo y/o aumenta su estabilidad coloidal mediante la inhibición de la coalescencia de las burbujas. Los surfactantes dentro de los cuales tenemos algunos como: Sulfato de sodio laureth, o lauril éter sulfato de sodio (SLES), el cual es un detergente y agente tensoactivo que se encuentra en productos de cuidado personal tales como jabones, champoo, etc; es económico y un generador de espuma eficaz. El lauril sulfato sódico (también conocido como dodecil sulfato sódico o SDS) y lauril sulfato de amonio (ALS) [8].

Teniendo en cuenta estas variables es posible controlar la temperatura del tratamiento térmico del molde en pre-colada y a su vez las transformaciones que puedan ocurrir en el yeso al calentarse. El yeso hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2$), en la etapa de eliminación de agua, sufre una deshidratación en dos etapas con temperaturas máximas de 104°C y 256°C respectivamente. La temperatura de uso general para la eliminación de agua oscila entre 130°C a 180°C, por lo tanto, la

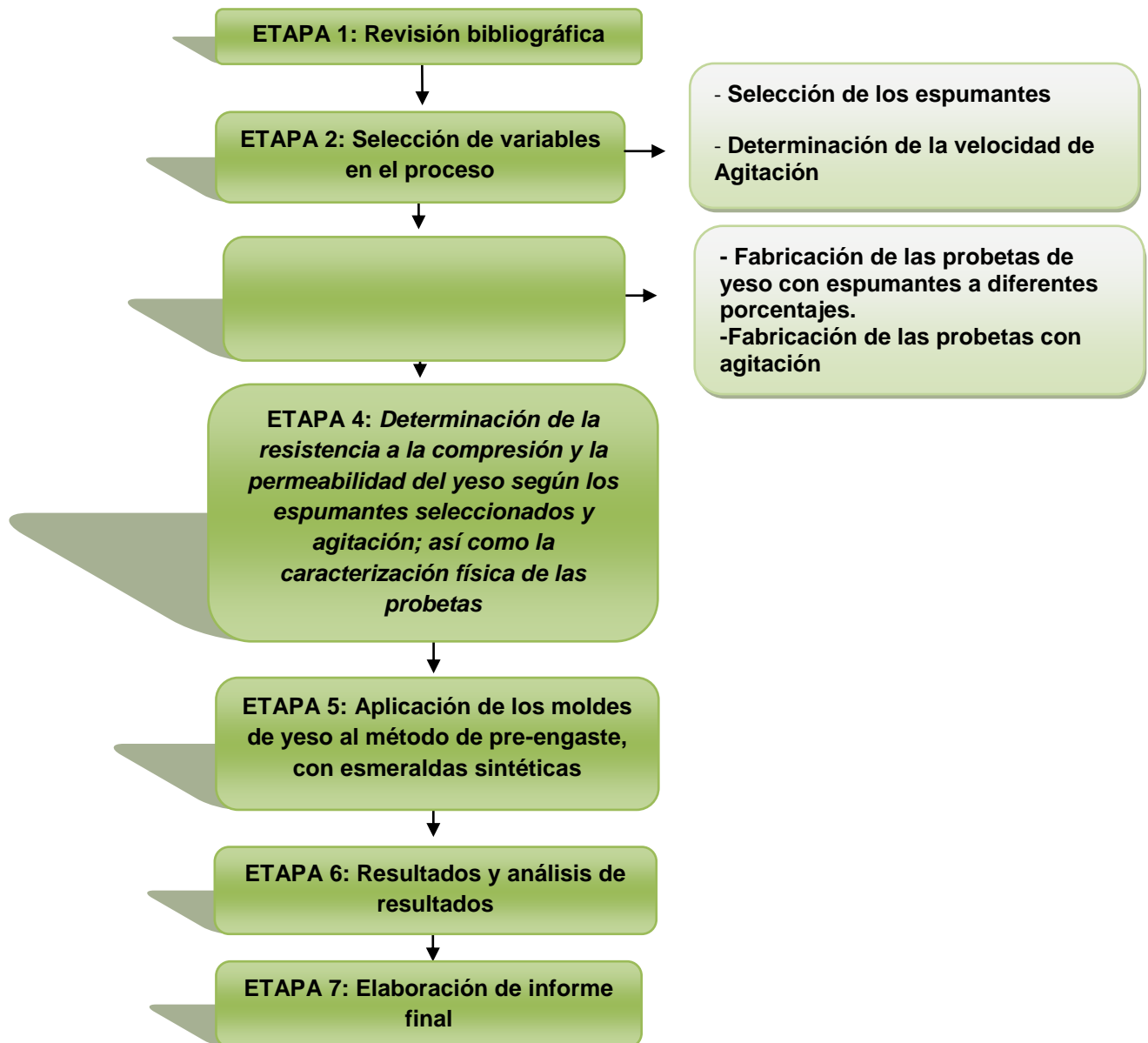
deshidratación puede ocurrir primero a 104°C sin problemas si se calienta lentamente durante el ciclo. La segunda etapa se produce a unos 240°C. En este caso la superficie puede ser modificada por la adición del agua hirviendo que podría generar una superficie rugosa. Si se desea una eliminación completa del agua se debe realizar un tratamiento térmico a unos 240°C.

A medida que aumenta la temperatura (aproximadamente 332°C) ocurre una pequeña transformación de la cristobalita que induce como consecuencia un cambio de volumen. [9]

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo con las etapas que se llevaron a cabo para la realización de la presente investigación.

Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo del proyecto



Fuente. Los autores

3.1 ETAPA 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó la documentación necesaria sobre el yeso y su permeabilidad, agentes espumantes y su comportamiento, los procesos de pre-engaste y cera perdida. Para la realización de esta etapa se consultaron artículos científicos, manuales de joyería, literatura de simposios de joyería y tesis relacionadas con la permeabilidad del yeso.

3.2 ETAPA 2: SELECCIÓN DE VARIABLES EN EL PROCESO

3.2.1 Selección de los espumantes:

Inicialmente se seleccionaron cuatro espumantes

- a) Lauril Sulfato de Amonio (SLA)
- b) Lauril Sulfato de Sodio (SLS)
- c) Aceite de pino
- d) Detergente en polvo (Detergente AS)

De la lista anterior se descartó el Lauril Sulfato de Amonio por su dificultad para conseguirlo en el medio, a cambio de éste se añadió a la lista el Lauril éter sulfato de sodio o Genapol.

Los porcentajes utilizados en cada espumante se muestran en las tablas de resultados y se determinaron de manera experimental.

3.2.2 Determinación de parámetros de agitación:

Para la agitación de las pastas de yeso se empleó un agitador mecánico de 110V con velocidad variable, este equipo se encuentra en la Escuela de Ingeniería Química. La figura 4 muestra el equipo empleado.

Figura 4. Agitador mecánico



3.3 ETAPA 3: FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS DE YESO

Para la elaboración de las probetas de yeso se utilizaron tres (3) cilindros en acero inoxidable de 2 pulgadas de altura por 2 pulgadas de diámetro interno (2"X2") (figura 5) rectificados con pendiente de desmoldeo y bases en caucho vulcanizado. Las medidas corresponden a las probetas de arenas de la norma AFS.

Figura 5. Probetas en acero inoxidable y su base en caucho vulcanizado



Fuente. Los autores

Como materia prima además de los espumantes antes mencionados, se utilizó yeso refractario que consta de la composición señalada: 75% sulfato de calcio hemihidratado y 25% de cristobalita.

La relación agua/yeso utilizada fue 40/100 ,como recomienda el fabricante del recubrimiento (yeso para joyería diamante kerr).

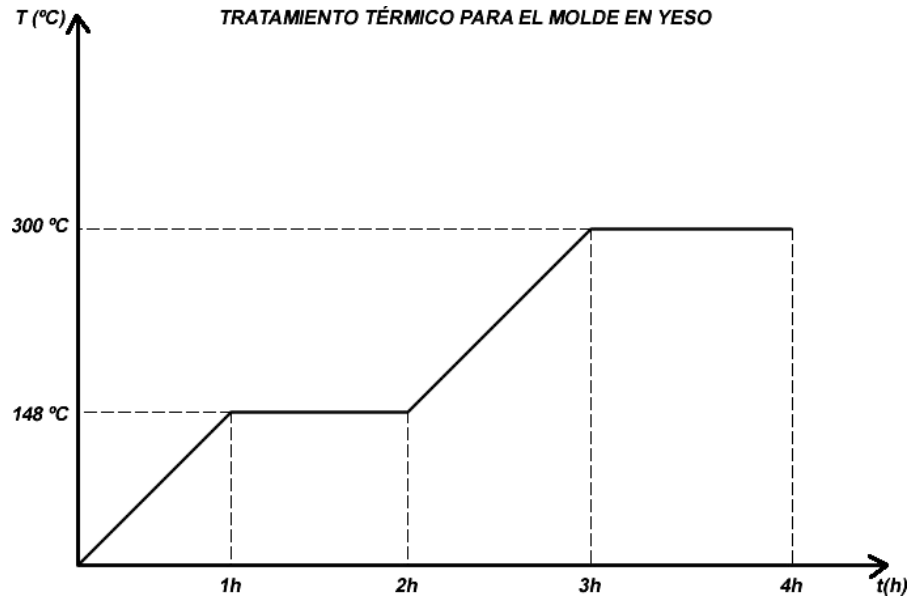
Se fabricaron las probetas de yeso adicionando espumantes en diferentes porcentajes. Se manejaron 3 porcentajes por cada espumante y a su vez 3 probetas por cada porcentaje. Inicialmente se elaboraron varias probetas con diferentes porcentajes de espumante, para determinar el límite de fraguado, el cual en ciertos casos era muy acelerado y en otros no se daba.

Se sometieron al tratamiento térmico seleccionado las 3 probetas por cada espumante, para eliminar el agua y las materias volátiles, y mejorar su resistencia mecánica. (Figura 6).

Durante las dos primeras horas de calentamiento y sostenimiento hasta 148°C se elimina el agua de la mezcla, en las siguientes dos horas de calentamiento y sostenimiento hasta 300°C se eliminan cenizas y se modifican las propiedades del recubrimiento

El tratamiento térmico aplicado a las probetas, se trabajó a partir de los tratamientos térmicos desarrollados por las ingenieras metalúrgicas Asbleidy Valderrama y Yuly Karime Tolosa en su proyecto de grado, [10], en donde su temperatura alcanzada fue de 600⁰C. Experimentalmente en esta investigación, se el tratamiento se llevó hasta 300⁰C, temperatura a la cual ocurre una ligera transformación de la cristobalita, sin ocurrir la transformación del cuarzo α a cuarzo β [11]; manteniendo sus propiedades mecánicas.

Figura 6. Tratamiento térmico para el molde en yeso



Fuente. Los autores

El tratamiento térmico se realizó en el horno programable, que se encuentra en el laboratorio de microfundición, de la Universidad Industrial de Santander.

Después de realizado el tratamiento térmico, a cada probeta se le determinó la permeabilidad y la resistencia a la compresión, con base en esos resultados, se seleccionó la mejor mezcla de cada espumante para aplicarle agitación y observar el comportamiento de la mezcla.

3.4 ETAPA 4: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA PERMEABILIDAD DEL YESO SEGÚN LOS ESPUMANTES SELECCIONADOS Y AGITACIÓN; ASÍ COMO LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS PROBETAS.

Para la determinación de la permeabilidad se utilizó la norma AFS [12], empleada para el ensayo de arenas en fundición y para tal finalidad se empleó el permeámetro eléctrico (figura 8) de lectura directa, marca Dietert Detroit referencia 338, que se encuentra en el laboratorio de microfundición.

Figura 7. Permeámetro eléctrico



Fuente. Los autores

Para la determinación de la resistencia a la compresión se empleó la máquina universal de ensayos AFS (figura 9), Harry W. Dietert Co Serie 33624. Cabe señalar que las probetas debían ser de forma cilíndrica de 5 centímetros de diámetro por 5 centímetros de altura de acuerdo a la norma AFS [12].

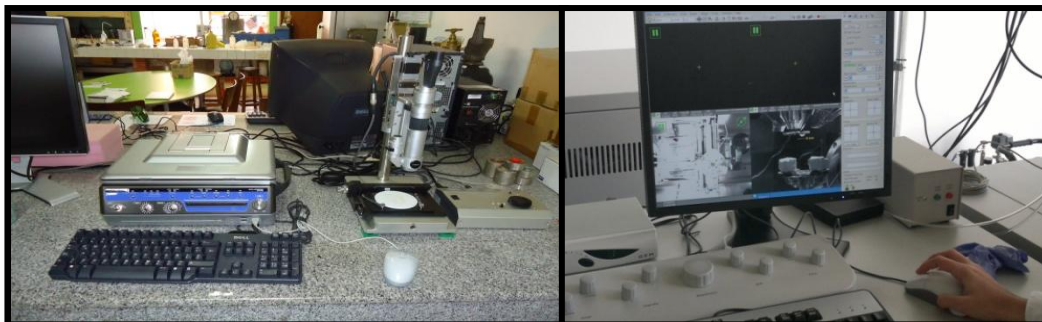
Figura 8. Máquina universal de ensayos



Fuente. Los autores

La caracterización física de los moldes se realizó por microscopía óptica mediante el uso del microscopio óptico confocal Hirox3D que pertenece al grupo GIMAT, también se hizo por microscopía electrónica de barrido (SEM), dicho equipo se encuentra en la Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará. En esta última técnica se evaluó la forma, tamaño y distribución de los poros. La figura 10 muestra los dos microscopios antes mencionados.

Figura 9. Equipos de microscopía Hirox y SEM

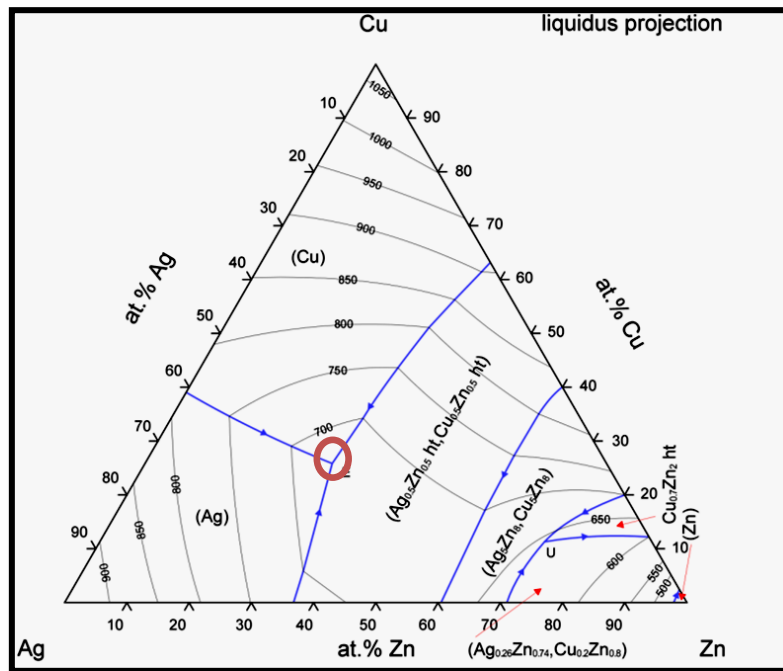


Fuente. Los autores

3.5 ETAPA 5: APLICACIÓN DE LOS MOLDES DE YESO AL MÉTODO DE PRE-ENGASTE, CON ESMERALDAS SINTÉTICAS

A partir de los resultados obtenidos se seleccionó experimentalmente el porcentaje del espumante que presentó una permeabilidad de 23 AFS y una resistencia a la compresión de 5,38 kg/cm²; para realizar la colada. Para ello se emplearon esmeraldas sintéticas y una aleación Ag-Cu-Zn, cuya composición fue: Ag (55%), Cu (25%), Zn (20%). La figura 10 muestra el diagrama ternario Ag-Cu-Zn, el círculo indica la aleación seleccionada. Esta relación se basó en dos parámetros: punto de fusión y colabilidad.

Figura 10. Diagrama ternario Ag-Cu-Zn



Fuente.LPF Multinaries Edition - 2009.SpringerMaterials Release 2012.[13]

La aleación se fundió en el horno eléctrico de resistencia al vacío, que se encuentra en el laboratorio de microfundición. La cera se eliminó por disolución en glicerina, según método indicado en [10].

La temperatura de fusión de la aleación está entre $680^{\circ} - 720^{\circ}\text{C}$ y la temperatura de colada fue de 712°C .

La figura 11 muestra el modelo en cera de los anillos con las gemas pre-engastadas, empleado en la colada.

Figura 11. Esmeraldas pre-engastadas en el modelo en cera



Fuente. Los autores

En el anexo A se indica el procedimiento seguido para la elaboración de las probetas en yeso.

3.6 ETAPA 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta etapa se realizó la caracterización físico-mecánica de las probetas de yeso con los diferentes espumantes, el análisis e interpretación de los diferentes resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad, resistencia a la compresión y la colada.

Las tablas y las figuras muestran los resultados obtenidos según el espumante y el porcentaje de adición.

3.6.1 Detergente sólido

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de la permeabilidad y la resistencia a la compresión, en función de la variación de los porcentajes de espumante.

Tabla 1. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el detergente sólido

DETERGENTE SÓLIDO		
% Espumante	Permeabilidad (AFS)	R. Compresión (kg/cm ²)
0 (Patrón)	2,5	6,19
0,1	4	6,12
0,2	7,5	6,01
0,3	14	5,66

Fuente. Los autores

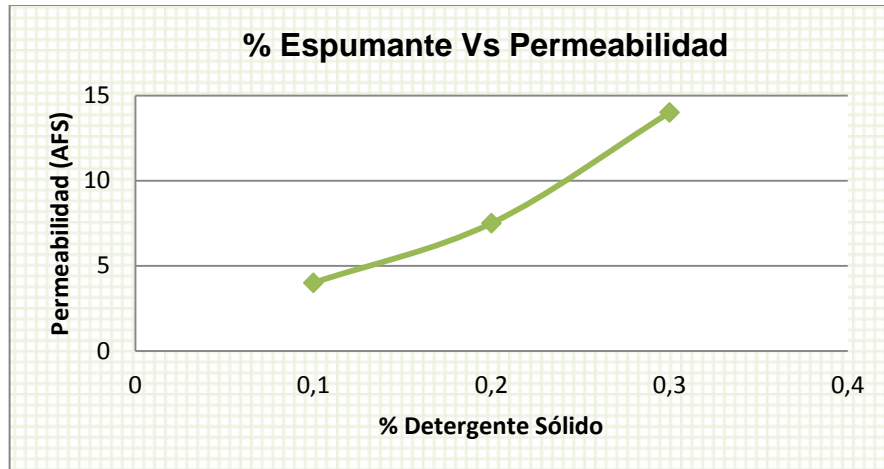
Se encontró que utilizando porcentajes mayores a 0,3% de detergente sólido, se retarda el tiempo de fraguado. Tiempo de fraguado mayor que 2 horas, razón por la cual no se emplean debido a que aumentaría considerablemente el tiempo del proceso. Por otro lado, tal como se esperaba, al aumentar el porcentaje de espumante aumentó la permeabilidad.

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión se reduce con el aumento de la permeabilidad.

Usando 0,3% de detergente sólido se aumenta la permeabilidad del molde de yeso aproximadamente 5,5 veces, mientras que la resistencia a la compresión disminuye sólo 8,26%, en comparación con la probeta patrón.

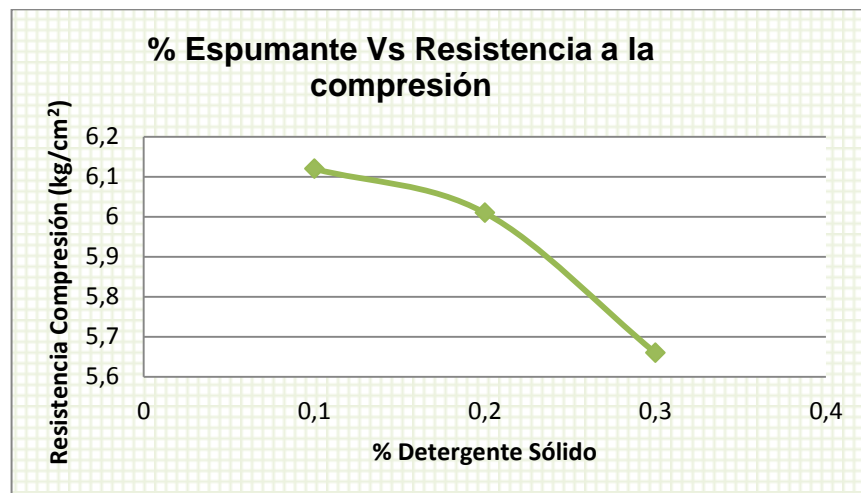
En las figuras 12 y 13 se muestran las curvas obtenidas a partir de los datos de permeabilidad y resistencia a la compresión, demostrando que su relación es inversa.

Figura 12. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de detergente sólido



Fuente. Los autores

Figura 13. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de detergente sólido

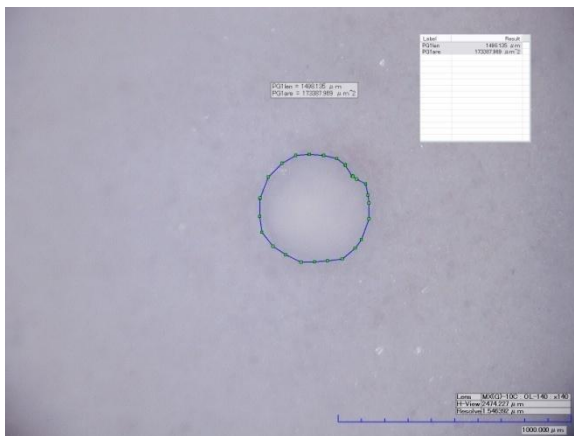


Fuente. Los autores

La caracterización física de los moldes elaborados con este espumante se realizó con el microscopio óptico confocal Hirox y su resultado se muestra en las figuras 14 y 15. De la zona enfocada con el microscopio, se observa la presencia de un poro, con un tamaño de alrededor de 1498,135 μm de longitud.

Se encontró que las probetas elaboradas con este espumante presentaron superficies lisas, con poca porosidad y sin agrietamiento.

Figura 14. Detergente sólido 0,3%- Figura 15. Probeta Detergente sólido 140X- Hirox



Fuente. Grupo GIMAT



Fuente. Los autores

3.6.2 Lauril sulfato de sodio

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la permeabilidad y la resistencia a la compresión, en función de la variación de los porcentajes de lauril sulfato de sodio.

Tabla 2. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el lauril sulfato de sodio

LAURIL SULFATO DE SODIO		
% Espumante	Permeabilidad (AFS)	R. Compresión (kg/cm ²)
0 (Patrón)	2,5	6,19
0,2	14	5,69
0,4	23	5,38
0,6	31	5,03

Fuente. Los autores

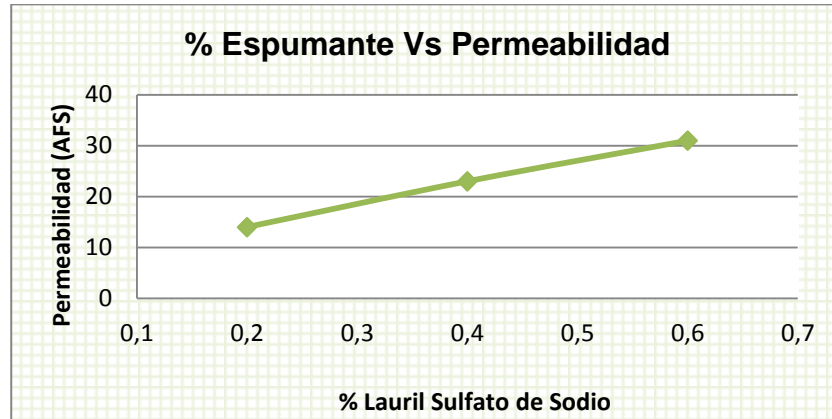
Se encontró que utilizando porcentajes mayores a 0,6% de lauril sulfato de sodio, se acelera el fraguado. Las probetas fraguan con mayor rapidez y se hace más difícil el proceso. Al aumentar el porcentaje de espumante aumenta la permeabilidad.

De igual forma se aprecia la disminución de la resistencia a la compresión en función de la permeabilidad y el porcentaje de espumante.

Con este espumante y a un porcentaje de 0,6%, la permeabilidad aumenta 12,4 veces, en comparación con la probeta patrón, más del doble que con el detergente sólido; mientras que la resistencia a la compresión disminuye ligeramente hasta 5,03 kg/cm².

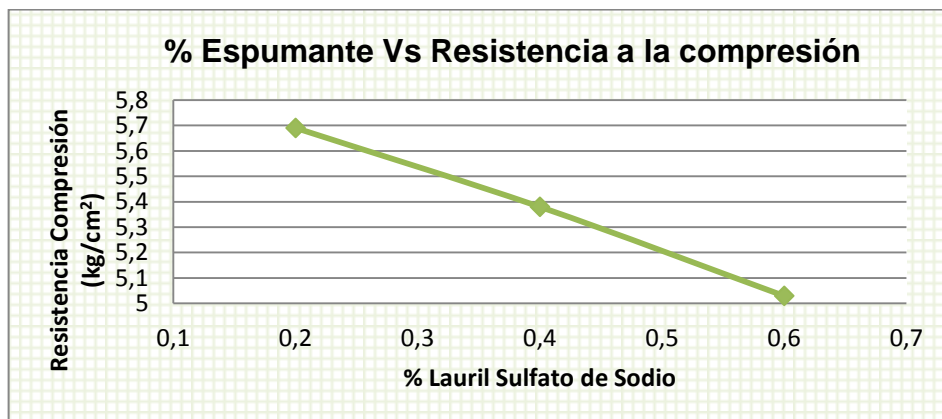
En las figuras 16 y 17 se muestran las curvas obtenidas a partir de los datos de permeabilidad y resistencia a la compresión, demostrando que su relación es inversa.

Figura 16. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de Lauril sulfato de sodio



Fuente. Los autores

Figura 17. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de lauril sulfato de sodio



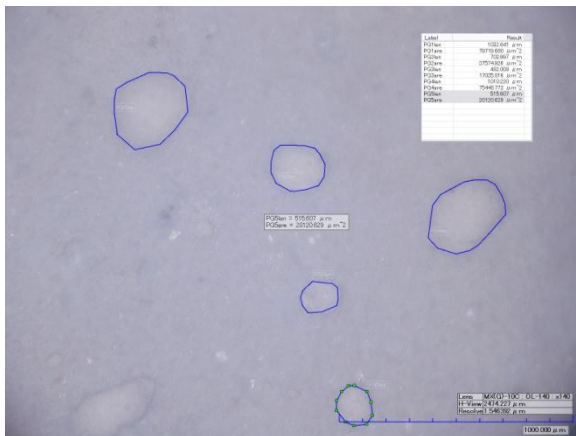
Fuente. Los autores

La caracterización física de los moldes elaborados con este espumante se realizó con el microscopio óptico confocal Hirox y con el SEM, su resultado se muestra en las figuras 18 y 19. De la zona enfocada con el microscopio Hirox, se observa la

presencia de seis poros en la probeta con 0,4% de espumante y de la micrografía por medio del SEM se observa una mayor densidad de poros de diferentes tamaños, aproximadamente entre 244,8 y 740,2 μm de diámetro.

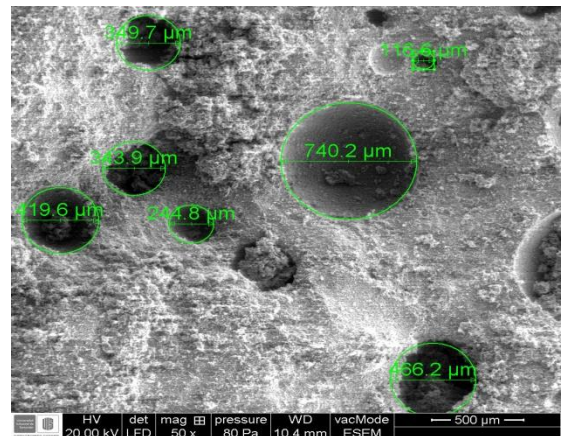
Se encontró que las probetas elaboradas con este espumante presentaron superficies rugosas, con alta porosidad en comparación con los demás espumantes y sin agrietamiento.

Figura 18. L. sulfato de sodio 0,4%- 140X - Hirox



Fuente. Grupo GIMAT

Figura 19. L. sulfato de sodio 0,6% - 50X - SEM



Fuente. Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará

3.6.3 Aceite de pino

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la permeabilidad y la resistencia a la compresión, en función de la variación de los porcentajes de aceite de pino.

Tabla 3. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el aceite de pino

ACEITE DE PINO		
% Espumante	Permeabilidad (AFS)	R. Compresión (kg/cm ²)
0 (Patrón)	2,5	6,19
0,4	5,2	6,15
0,6	6	6,12
0,8	7	5,98

Fuente. Los autores

Se encontró que utilizando porcentajes mayores a 0,8% de aceite de pino, se presenta un fraguado bastante acelerado en iguales condiciones de preparación, las probetas fraguan en el momento de realizarse el vacío a la mezcla de yeso, sin poder culminar el proceso.

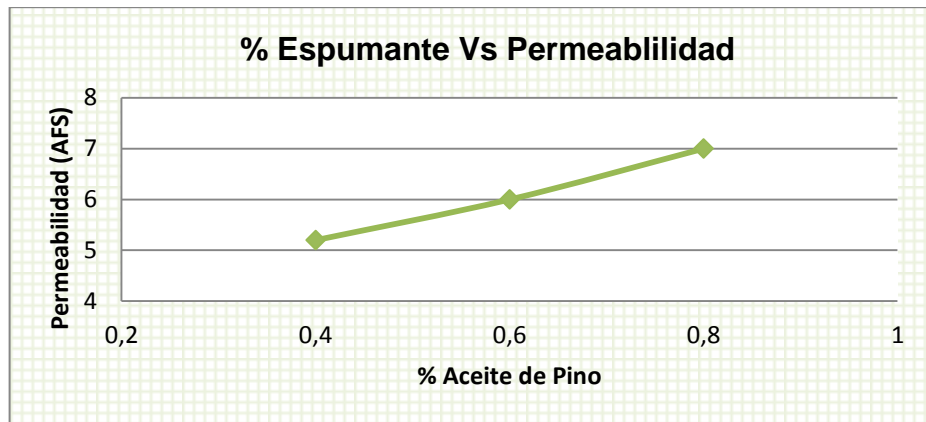
Al aumentar el porcentaje de espumante aumenta la permeabilidad; aunque se puede apreciar que el valor de la permeabilidad no fue alto, aumentándose tal parámetro en tan solo 2,8 veces en comparación con la probeta patrón.

De igual forma se aprecia una leve disminución de la resistencia a la compresión en función de la permeabilidad y el porcentaje de espumante.

Teniendo en cuenta que altas adiciones de aceite de pino no aumentaron en forma importante la permeabilidad del molde, se descarta el uso de este espumante.

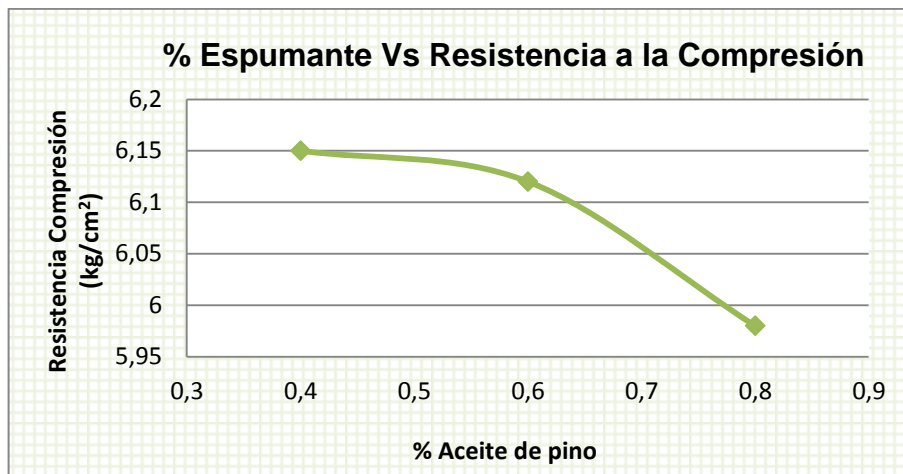
En las figuras 20 y 21 se muestran las curvas obtenidas a partir de los datos de permeabilidad y resistencia a la compresión, demostrando que su relación es inversa.

Figura 20. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de aceite de pino



Fuente. Los autores

Figura 21. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de aceite de pino



Fuente. Los autores

La caracterización física de los moldes elaborados con este espumante se realizó con el microscopio óptico confocal Hirox y con el SEM, su resultado se muestra en las figuras 22 y 23. De la zona enfocada con el microscopio Hirox se observa la presencia de un poro definido en la probeta con 0,4% de espumante y en la

micrografía del SEM también se observa un poro. El aceite de pino no genera un aumento en la permeabilidad, lo que es explicado por una mínima formación de poros, tal como se ve en la micrografía.

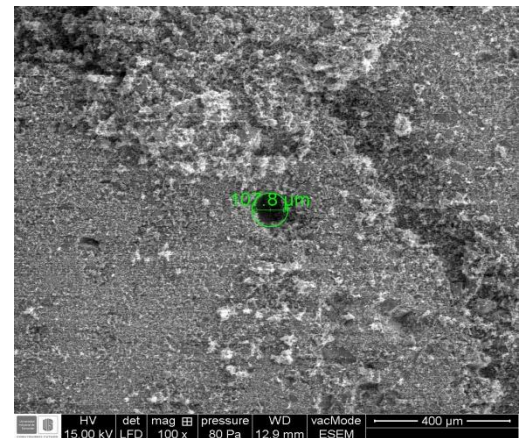
El aceite de pino al estar en contacto con el agua genera espuma; pero al estar en contacto con la mezcla en yeso también hace de espesante en la misma. Aglomerando más la mezcla y generando tamaños de poros más pequeños y superficies mas lisas.

Figura 22. Aceite de pino 0,4%- 140X- Hirox



Fuente. Grupo GIMAT

Figura 23. Aceite de pino 0,4% - 100X- SEM



Fuente. Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander- sede Guatiguará

3.6.4 Genapol

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos de la permeabilidad y la resistencia a la compresión, en función de la variación de los porcentajes de Genapol.

Tabla 4. Datos de permeabilidad y resistencia a la compresión para el genapol

GENAPOL		
% Espumante	Permeabilidad (AFS)	R. Compresión (kg/cm ²)
0 (Patrón)	2,5	6,19
0,4	6	6,08
0,8	8,5	5,94
1	9	5,84

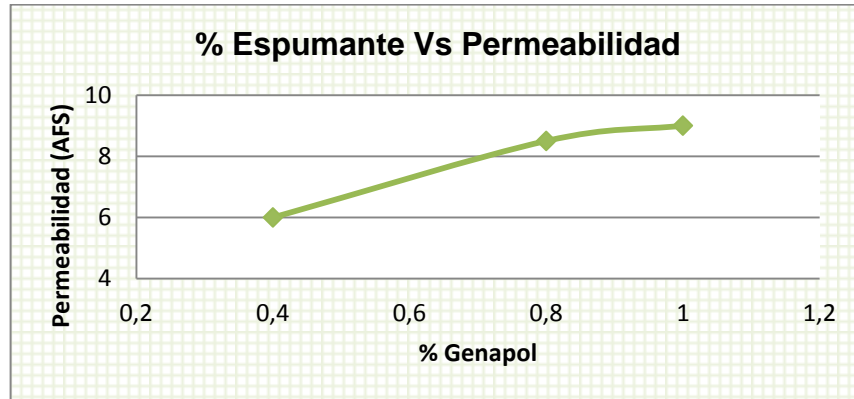
Fuente. Los autores

Se encontró que utilizando porcentajes mayores a 1% de Genapol, se acelera el fraguado, las probetas se endurecen con mayor rapidez y se genera mayor cantidad de espuma durante la mezcla. El proceso se hace difícil para cantidades mayores de espumante. Al igual que con el aceite de pino, el aumento del porcentaje de espumante no genera un aumento significativo de la permeabilidad, debido a que este espumante también actúa como espesante. Aunque entre la variación de porcentajes su cambio no fue tan significativo.

De igual manera se observa el decrecimiento leve, en un 5,65% de la resistencia a la compresión en función de la permeabilidad y el porcentaje de espumante.

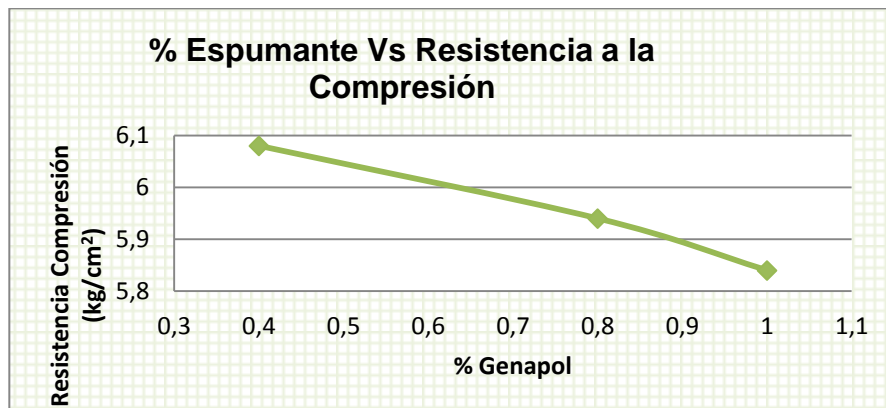
En las figuras 24 y 25 se muestran las curvas obtenidas a partir de los datos de permeabilidad y resistencia a la compresión, demostrando que su relación es inversa.

Figura 24. Relación de la permeabilidad con el porcentaje de genapol



Fuente. Los autores

Figura 25. Relación de la resistencia a la compresión con el porcentaje de genapol

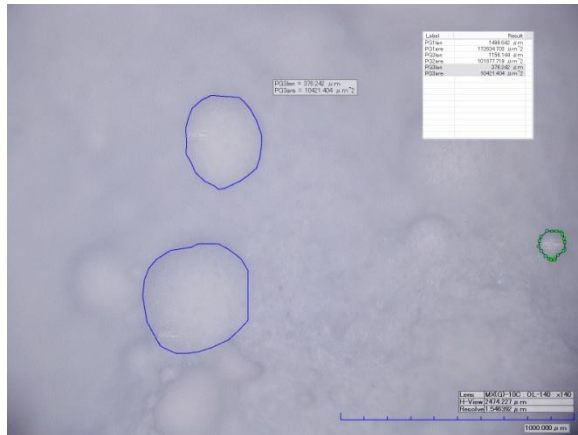


Fuente. Los autores

La caracterización física de los moldes elaborados con este espumante se realizó de igual manera, con el microscopio óptico confocal Hirox y con el SEM, su resultado se muestra en las figuras 26 y 27. Las probetas analizadas en ambos

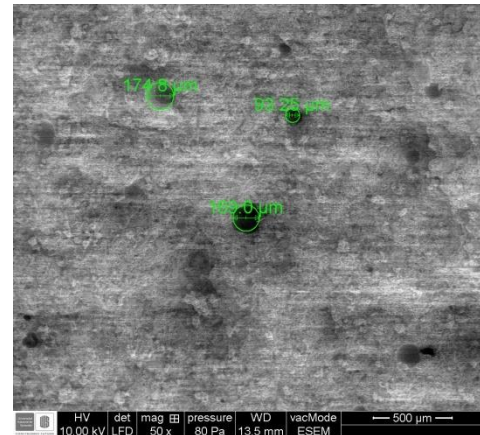
microscopios presentan un 0,8% de genapol observándose en ambos tres poros cercanos entre sí y con una permeabilidad moderada.

Figura 26. Genapol 0,8%- 140X - Hirox



Fuente. Grupo GIMAT

Figura 27. Genapol 0,8% - 50X - SEM



Fuente. Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará

Las tablas 5 y 6 muestran una comparación cuantitativa de permeabilidad y resistencia a la compresión entre los cuatro espumantes empleados en el desarrollo de la investigación.

De la tabla 5 obtenemos que la mayor permeabilidad fue del lauril sulfato de sodio con un porcentaje de 0,6% y un AFS de 31. No obstante, tal permeabilidad es excesiva, pues está relacionada con una gran cantidad de vacíos cercanos al modelo en cera y por consiguiente al realizar la colada el acabado superficial no será el adecuado, tal como se comprobó luego del proceso de colada.(Figura 28)

Tabla 5. Datos de permeabilidad para los espumantes analizados

PERMEABILIDAD (AFS)										
%	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Detergente										
Detergente sólido	4	7,5	14	-	-	-	-	-	-	-
Lauril sulfato de sodio	-	14	-	23	-	31	-	-	-	-
Aceite de pino	-	-	-	5,2	-	6	-	7	-	-
Genapol	-	-	-	6	-	-	-	8,5	-	9

Fuente. Los autores

De la tabla 6 se observa que aunque la resistencia a la compresión disminuye al aumentar la permeabilidad en comparación con la probeta patrón cuya resistencia a la compresión fue de 6,19 kg/cm² los valores obtenidos con los espumantes utilizados en la investigación no presentan una variación significativa entre sí.

Tabla 6. Datos de resistencia a la compresión para los espumantes analizados

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)										
%	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Detergente										
Detergente sólido	6,12	6,01	5,66	-	-	-	-	-	-	-
Lauril sulfato de sodio	-	5,69	-	5,38	-	5,03	-	-	-	-
Aceite de pino	-	-	-	6,15	-	6,12	-	5,98	-	-
Genapol	-	-	-	6,08	-	-	-	5,94	-	5,84

Fuente. Los autores

3.6.5 Caracterización de las probetas obtenidas con la combinación de espumantes y agitación

En la tabla 7 se muestran los datos de permeabilidad y resistencia a la compresión de los porcentajes seleccionados para cada espumante, después de aplicada la agitación.

Tabla 7. Resultados después de aplicar agitación

Espumante	Permeabilidad (AFS)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
Detergente sólido 0,3%	10	5,84
Lauril sulfato de sodio 0,4 %	-	-
Aceite de pino 0,8%	-	-
Genapol 1%	-	-

Fuente. Los autores

Como se había mencionado en la metodología, los porcentajes seleccionados para cada espumante eran escogidos dependiendo de los resultados de permeabilidad y resistencia a la compresión, porque no necesariamente el molde más permeable es el mejor.

También se había encontrado que el comportamiento del detergente sólido frente a los otros espumantes era diferente, esto se confirma con la tabla 7. En ésta tabla se observa claramente que el proceso de yeso espumado con agitación no es efectivo; puesto que para en el detergente sólido en lugar de aumentar la permeabilidad se disminuye, esto debido a que la mezcla presenta mayor homogeneidad de la mezcla en cuanto a los tiempos de agitación. En el caso del lauril sulfato de sodio, aceite de pino y genapol, los resultados cambian; la mezcla

del recubrimiento con estos espumantes, generó una gran cantidad de espuma, que aceleró el fraguado, haciendo imposible la terminación del proceso.

De aquí se concluye que no es favorable la agitación de la mezcla para la fabricación de los moldes de yeso

3.6.6 Aplicación del método de pre-engaste de las esmeraldas con el molde de yeso espumado

Para la colada se elaboró un árbol (figura 11) en cera con las gemas pre-engastadas, el cual se montó en la base de un molde ahuecado.

Se preparó la pasta de recubrimiento con el espumante lauril sulfato de sodio en porcentaje de 0,4% y una relación de 40/100 de agua; siguiendo los pasos de preparación sugeridos por el fabricante del recubrimiento mostrados en el anexo A.

Se realizó el descerado del molde a una temperatura progresiva de 130°C hasta su completa eliminación en el molde y se observó que las piedras no salieron del molde.

Después del fraguado del molde se realizó el tratamiento implementado en la investigación a una temperatura máxima de 300°C, para eliminación de aguas, volatilización de cenizas y precalentamiento del molde. (Figura 6)

Se realizó la colada con la aleación mencionada en el desarrollo experimental a una temperatura de 712°C.

Las piezas coladas presentaron porosidad solidificada en el material (Figura 28), donde estaban ubicados los poros generados por el espumante, lo cual indica que se deben probar otros porcentajes menores de espumante para mejorar su acabado superficial. El método de pre-engaste fue exitoso en la aplicación de esta

técnica, como se puede apreciar en la figura 29, las gemas quedaron en su lugar, se mantuvo su textura, su forma y precisión; mostrando que el molde en yeso sometido a 300°C, no sufrió agrietamiento, ni daños que pudieran ocasionar imperfectos en la pieza; logrando así un avance en algo que nunca antes se había implementado, con los parámetros utilizados en esta investigación.

No se determinó cambio alguno en el color de las esmeraldas sintéticas, no se apreció un cambio en su brillo, fracturas o daño alguno. Además estas conservaron su lugar después de la colada, mostrando la efectividad del proceso de pre-engaste de gemas en moldes de yeso con espumante.

Figura 28. Acabado Superficial de la pieza colada



Fuente. Los autores

Figura 29. Gemas después de la colada



Fuente. Los autores

CONCLUSIONES

El espumante que ofreció mejores condiciones para la elaboración de las probetas, por su velocidad de endurecimiento, generación de espuma y además por su economía es el Lauril sulfato de sodio.

La mayor permeabilidad se presentó al emplear lauril sulfato de sodio como espumante, con un valor de 31 AFS a un porcentaje de 0,6%, el cual generó mayor cantidad de poros y una superficie de rugosidad elevada.

La mayor resistencia a la compresión se presentó en el aceite de pino, con un valor de $6,15 \text{ kg/cm}^2$, al emplearse un porcentaje de 0,4% de espumante y su permeabilidad fue de 5,2 AFS.

Se demostró que el molde en yeso a una temperatura de tratamiento térmico máxima de 300°C , presentó un comportamiento favorable, en la aplicación de esta técnica, debido a que no presentó agrietamiento después de la colada, las piezas salieron completas y con las gemas en su lugar; logrando así un avance significativo al disminuir el tiempo del tratamiento térmico, su temperatura y los costos energéticos generados en este proceso.

El aumento de la permeabilidad va acompañado de la disminución de la resistencia a la compresión, por tal razón es necesario encontrar un equilibrio entre estas dos variables.

El recubrimiento es un material heterogéneo el cual dificulta caracterizar con precisión el tamaño y la cantidad de los poros debido a que el proceso de vacío sobre el espumante es impredecible generando así, burbujas de diferentes tamaños las cuales quedan como poros después del fraguado.

RECOMENDACIONES

El comportamiento del espumante en pequeñas composiciones genera grandes cantidades de espuma, y por tanto, es necesario realizar vacíos a la mezcla, controlados para evitar la pérdida del material.

Realizar coladas con porcentajes de espumantes menores para su reducción en la permeabilidad y así poder mejorar su acabado superficial, se sugiere implementar en un nuevo trabajo de grado.

Probar el comportamiento del proceso con otras aleaciones de mayor punto de fusión y con esmeraldas naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] http://www.zoara.es/compromiso/monturas_de_anillos
- [2] http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya7/7engaste_monturabisel.ht
- [3] <http://www.fundisa.com.ar/Historia.htm>
- [4] Wade, Suzzane., “Stone-in-place Casting: Has this casting technique revolutionized coloured stone pave setting?”. Settingthe Standard.
- [5] Centro Tecnológico Andaluz del Diseño (SURGENIA), Guía para diseñadores y prescriptores de joyería, 2009, p. 69. Disponible en: www.trainingjoyaexperience.com/file/98008/
- [6] A WARDLE & CO. 2005. Jewellery Casting & Manufacturing. Disponible en http://www.awardle.co.uk/page_1172483975281.html. Consultado 6 abril de 2012.
- [7] Carter, Ralph. Does investment permeability impact jewelry castings?. Santa Fe Symposium, May 2004. p.105
- [8] <http://ingenieriapro.blogspot.com/2008/10/espumantes.html>
- [9] McKeer. Ian, “Stone in place casting: the investment perspective”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2004, p. 293-309.
- [10] TOLOSA. L. Yuly, VALDERRAMA. C. Asbleidy. “Estudio de las variables que regulan el tratamiento térmico del yeso y su adaptación al método de pre-engaste de las esmeraldas colombianas”. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. 2012. p. 25.
- [11] Carter. Ralph, “Effects of water quality and temperature on investment casting powders”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2004, p. 1
- [12] American Foundrymen’s Society, sixth edition. Foundry Sand Handbook.p.p66-80.
- [13] LPF Multinaries Edition - 2009. SpringerMaterials Release 2012. © Springer & Material Phases Data System (MPDS), Switzerland & National Institute for Materials Science (NIMS), Japan 2012. (Data generated pre-2002: © Springer & MPDS & NIMS; post-2001: © Springer & MPDS). All Rights Reserved. Version 2012.03.

ANEXOS

ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE YESO

		
Pesar el yeso. Y el espumante	Medir el agua.	Añadir el yeso y el espumante al agua
		
Mezclar de 3 a 3-1/2 minutos	Succionar por 20 segundos después de hervir.	Verter el yeso en el cilindro.
		
Succionar un máximo de 90 segundos.	Dejar reposar un mínimo de dos horas.	Precalentar el horno a 149°C.
		
Retirar la base de goma del cilindro.	Cargar en el horno.	Seguir el ciclo de quema que se adapte a su situación.

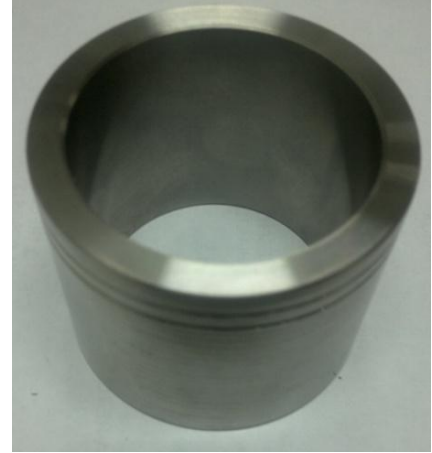
ANEXO B. OTROS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Torno para preparación de probetas



Fuente: Los autores

Probetas en acero inoxidable AFS



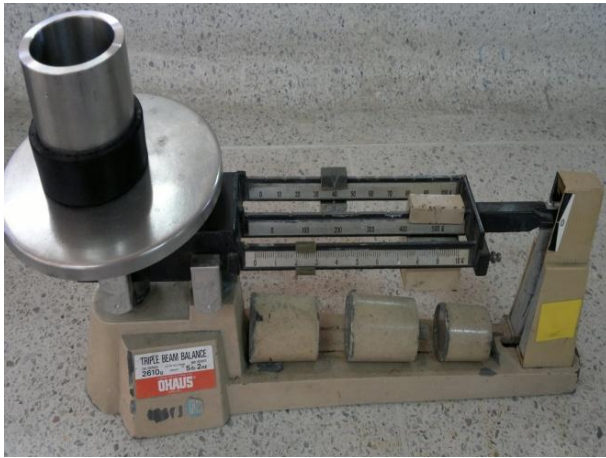
Fuente: Los autores

Herramientas para preparación de probetas en yeso



Fuente: Los autores

Balanza análoga y digital, ubicada en el laboratorio de microfundición



Fuente: Los autores

Cámara de vacío, ubicada en el laboratorio de microfundición



Fuente: Los autores

ANEXO C. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS EN EL PROCESO

Encintado de probetas para llenado



Fuente: Los autores

Fraguado de probetas



Fuente: Los autores

Vacío en probetas



Fuente: Los autores

Tratamiento térmico en las probetas



Fuente: Los autores

Medición de la permeabilidad



Fuente: Los autores

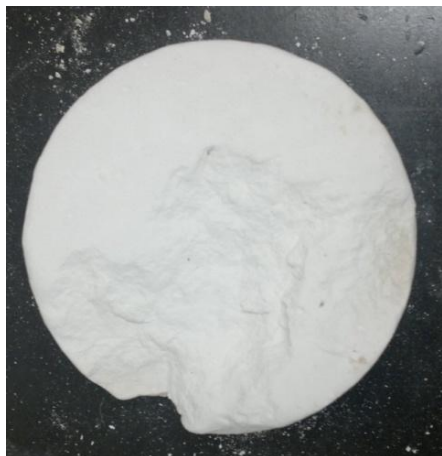
Medición de la resistencia mecánica



Fuente: Los autores

ANEXO D. SUPERFICIES DE ALGUNAS PROBETAS ELABORADAS

Probeta detergente solido 0,3 %



Fuente: Los autores

Probeta aceite de pino 0,8 %



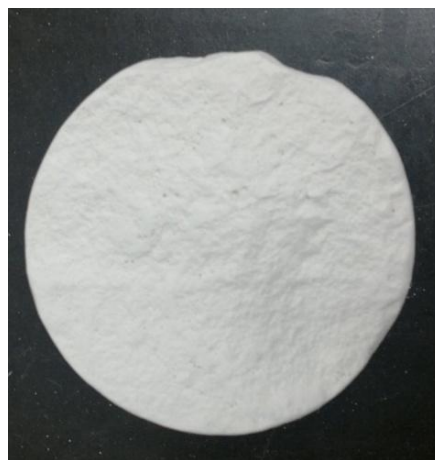
Fuente: Los autores

Probeta lauril sulfato de sodio 0,6 %



Fuente: Los autores

Probeta genopol 0,8 %



Fuente: Los autores

Probeta detergente solido
agitación 0,3 %



Fuente: Los autores

Probeta detergente solido 0,3 %



Fuente: Los autores