# ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE REGULAN EL TRATAMIENTO TERMICO DEL YESO Y SU ADAPTACION AL METODO DE PRE-ENGASTE DE LAS ESMERALDAS COLOMBIANAS

**YULI KARIME TOLOSA LARA**
**ASBLEIDY VALDERRAMA CASTRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS**
**ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES**
**BUCARAMANGA**
**2012**

# ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE REGULAN EL TRATAMIENTO TERMICO DEL YESO Y SU ADAPTACION AL METODO DE PRE-ENGASTE DE LAS ESMERALDAS COLOMBIANAS

**YULI KARIME TOLOSA LARA**
**ASBLEIDY VALDERRAMA CASTRO**

**Trabajo de grado, presentado como requisito para optar al título de:**

**INGENIERA METALÚRGICA**

**Director**
**ARNALDO ALONSO BAQUERO**
**Ingeniero Metalúrgico**

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

**2012**

## DEDICATORIA

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

Agradecer hoy y siempre a mi familia porque a pesar de no estar presentes físicamente, procuran mi bienestar, y está claro que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, no podría haber alcanzado tan anhelado logro en mi vida. A mi madre Yulima Lara, mi hermana Viviana, porque a pesar de la distancia, el ánimo, apoyo y alegría que me brindan, me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante. A Darío Osorio por ser la persona que ha compartido el mayor tiempo a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe.

Durante estos años, son muchas las personas que han contribuido para la realización de este trabajo y a quienes quiero sinceramente expresar mi gratitud por ser mi soporte y compañía de forma desinteresada.

Al profesor Arnaldo Alonso quien desde el primer momento me brindo todo el apoyo, colaboración y cariño sin ningún interés, gracias a todos y cada uno de mis amigos, porque gracias a ellos hoy por hoy puedo afirmar que, a pesar de haber venido sola a continuar mis estudios, jamás me he sentido así, porque ellos han estado a mi lado cada día durante estos años.

Yuly Karime Tolosa Lara.

A Dios primeramente por las bendiciones recibidas a cada instante y por las experiencias que me ha permitido vivir; sin su fuerza, apoyo y guía no hubiese alcanzado esta meta. A mi familia por acompañarme en todo momento, a mi madre María Castro y hermana Gisela Valderrama por sus sacrificios, enseñanzas y confianza depositados en mí. A mis amigos Carolina, Gerson, Jorge, Jesús, Camilo y Francy, por su comprensión, compañía, consejos y buenos deseos.

Asbleidy Valderrama Castro.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar nuestros pasos y ser nuestro pilar para alcanzar nuestras metas.

A la Universidad Industrial de Santander por la oportunidad de formarnos como personas y profesionales, y nos facilitó los medios para la finalización de nuestro proyecto.

Al profesor Arnaldo Alonso Baquero, por su amistad, enseñanza, confianza, buena voluntad, dedicación y comprensión mostradas hacia nosotras.

A los docentes de la Escuela, en especial a las profesoras Luz Amparo Quintero y Elcy María Córdoba, por su disposición, enseñanzas y colaboración.

A Diego Hernández, por compartir sus conocimientos, comprensión, colaboracióny asesorías constantes.

Al grupo de Investigación de Nuevos Materiales GIMAT por facilitarnos el acceso y uso de los laboratorios.

A Mario Navarrete, por su valiosa ayuda y colaboración.

A todos nuestros compañeros y amigos que siempre estuvieron brindándonos su apoyo a lo largo de nuestra carrera.

## TABLA DE CONTENIDO


| | Pág. |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 22 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 23 |
| 3. OBJETIVOS | 24 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL | 24 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS | 24 |
| 4. FUNDAMENTO TEÓRICO | 25 |
| 4.1. IMPORTANCIA DE LA PERMEABILIDAD EN EL REVESTIMIENTO | 29 |
| 4.2. PROCESO DE PRE-ENGASTE DE GEMAS | 31 |
| 4.3. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES DEL PRE-ENGASTE DE GEMAS | 34 |
| 5. METODOLOGÍA | 36 |
| 5.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA | 37 |
| 5.2. DOCUMENTACIÓN | 37 |
| 5.3. FASE DE ESTUDIO | 37 |
| 5.4. DESARROLLO | 37 |
| 5.5. INFORME FINAL | 38 |
| 6. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 39 |

7. RESULTADOS OBTENIDOS 51

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS 60

9. CONCLUSIONES 64

10. RECOMENDACIONES 65

BIBLIOGRAFÍA 66

ANEXOS 68

## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**


Figura 1. Curva DTA-TG para el yeso hidratado. Medido a una velocidad de calentamiento de 50°C/minuto. 27

Figura 2. . Esquema de la estructura de sílice y sulfato de calcio en revestimiento. 29

Figura 3. Pre-engaste en oro de 18K 31

Figura 4. Gema pre-engastada en modelo de cera. 33

Figura 5. La misma esmeralda y diamantes ajustados después de la fundición en oro blanco 33

Figura 6. Tratamientos térmicos usados en joyería. 39

Figura 7. Tratamiento térmico 1 de 23 horas. 40

Figura8.Tratamiento térmico 2 de 9 horas. 40

Figura 9. Tratamiento térmico 3 de 13 horas. 41

Figura10.Tratamiento térmico 4 de 21 horas. 41

Figura 11. Tratamiento térmico 5 de 9 horas 42

Figura 12. Tratamiento térmico 6 de 13 horas, con relación de agua 42/100. 42

Figura 13. Tratamiento térmico 7 de 13 horas. 43

Figura 14. Tratamiento térmico 8 de 10,5 horas. 43

Figura 15. Tratamiento térmico 9 de 10 horas. 44

Figura 16. Probetas acero inoxidable. 44

Figura 17. Permeámetro según la norma AFS. 45

Figura 18. Agitador mecánico. 46

Figura 19. Montaje diseñado. 48

Figura 20. Montaje a 134 °C 48

Figura 21. Glicerina y cera, a temperatura ambiente. Separadas. 49

Figura 22. Cera recuperada. 49

Figura 23. Micrografía Modo SE - 100X. Tratamiento térmico 1. 53
Figura 24. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 1. 53
Figura 25. Micrografía Modo SE - 250X. Tratamiento térmico 1. 53
Figura 26. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 1. 53
Figura 27. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 1. 54
Figura 28. Micrografía Modo SE - 100X. Tratamiento térmico 8. 55
Figura 29. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 8. 55
Figura 30. Micrografía Modo SE - 259X. Tratamiento térmico 8. 55
Figura 31. Micrografía Modo Z Cont 259X. Tratamiento térmico 8. 55
Figura 32. Micrografía Modo SE - 308X. Tratamiento térmico 8. 56
Figura 33. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 8. 56
Figura 34. Micrografía Modo SE - 673X. Tratamiento térmico 8 56
Figura 35. Micrografía Modo Z Cont - 673X. Tratamiento térmico 8. 56
Figura 36. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 8. 57
Figura 37. Micrografía Modo Z Cont - 1000X. Tratamiento térmico 8. 57
Figura 38. Micrografía Modo SE - 3084X. Tratamiento térmico 8. 57
Figura 39. Micrografía Modo Z Cont - 3084X. Tratamiento térmico 8. 57
Figura 40. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 9. 58
Figura 41. Micrografía Modo Z Cont - 250X. Tratamiento térmico 9. 58
Figura 42. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 9. 58
Figura 43. Micrografía Modo Z Cont - 707X. Tratamiento térmico 9. 58
Figura 44. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 9. 59
Figura 45. Micrografía Modo Z Cont - 1000X. Tratamiento térmico 9. 59
Figura 46. Etapas cronológicas del proceso de disolución de cera en glicerina. 62

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1. Problemas, causa y solución del pre-engaste 34

Tabla 2. Resultados promediados de las 3 probetas utilizada para cada tratamiento térmico. 51

## LISTA DE DIAGRAMAS

**Pág.**

Diagrama 1. Factores para un proceso exitoso. 32
Diagrama 2. Metodología 36

## LISTA DE ECUACIONES


**Pág.**

Ecuación 1. Ley de D'arcy 30

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo A. Elaboración de probetas de yeso 68
Anexo B. Ficha técnica del yeso Diamante Kerr 70

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE REGULAN EL TRATAMIENTO TERMICO DEL YESO Y SU ADAPTACION AL METODO DE PRE-ENGASTE DE LAS ESMERALDAS COLOMBIANAS[*]

**AUTORES** YULI KARIME TOLOSA LARA[**]
ASBLEIDY VALDERRAMA CASTRO

**PALABRAS CLAVES:** Permeabilidad del yeso, pre-engaste de esmeraldas, ciclos de calentamiento del yeso, relación agua – yeso.

**DESCRIPCIÓN**

Las ventajas que se han obtenido mediante el pre-engaste de gemas van desde la facilidad del proceso hasta la disminución de costos al ser comparado con los métodos tradicionales de joyería, sin embargo no todas las gemas permiten ser pre-engastadas debido principalmente a las altas temperaturas del ciclo de calentamiento que provocan daño en la piedra.

En esta investigación, nuestra atención se enfocó principalmente en el papel que tienen la temperatura, el tiempo de duración del tratamiento térmico y la relación agua/yeso en la permeabilidad del revestimiento; para su determinación se trabajó con yeso tipo Paris cuyo contenido de sulfato de calcio hemihidratado y cristobalita corresponde a 75 y 25% respectivamente.

Inicialmente se realizaron las pruebas de permeabilidad correspondientes a los tratamientos térmicos del yeso encontrados en la literatura, seguido de la variación en la relación agua/yeso.

Los resultados experimentales permitieron explicar el aumento de permeabilidad y el tratamiento térmico adecuado para el pre-engaste de esmeraldas, también la temperatura máxima a la cual puede ser sometido el revestimiento determinando la temperatura de la solubilidad de la cera en glicerina, adicionalmente se identificó en el microscopio óptico y de barrido la estructura del revestimiento después del proceso de calentamiento.


[*] Trabajo de grado en Investigación

[**] Facultad de Ingenierías Fisico- Quimicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Arnaldo Alonso Baquero

## ABSTRACT

**TITTLE:** STUDY OF VARIBLE REGULATING HEAT TREATMENT OF PLASTER AND ITS ADAPTATION TO STONE IN PLACE OF COLOMBIAN EMERALD[*]

**AUTHOR:** YULI KARIME TOLOSA LARA[**]
ASBLEIDY VALDERRAMA CASTRO

**KEYWORDS:** gypsum permeability, casting emerald Stone in place, burnout cycle, water-to-powder ratios.

**DESCRIPTION**

The advantages has been obtained by stone in place ranging from the ease of the process to lower costs when compared to traditional methods of jewelry casting, however not all gems can be used in stone in place, due mainly to the high temperatures of the burnout process that causing damage in gem.

In this research, our attention is focused on role of temperature, time of the burnout cycle and water-to-powder ratio on investment permeability; for its determination is worked Paris gypsum type, whose content calcium sulphate hemihydrate and cristobalite corresponding to 75 and 25% respectively.

Initially were performed permeability test for each burnout cycle of gypsum that who founded in the literature, followed by the variation in water-to-powder ratios.

The experimental result allowed explain the increased permeability and appropriate burnout cycle for emerald stone in place, also the maximum temperature at which the investment can be subjected determining the solubility temperature of the wax in glycerin additionally identified in the optical microscope and scanning the structure of the investment after the burnout cycle.


[*]Undergraduate work

[**]Physicochemical Faculty of Engineering, School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: Arnaldo Alonso Baquero.

# INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas el hombre ha desarrollado procesos que le han permitido la fabricación de joyas, incluso antes de la fabricación de armas y otros objetos. El proceso de moldeo a la cera perdida surgió hace aproximadamente 6000 años con las civilizaciones egipcia, azteca e inca que han dejado evidencia de joyas hechas bajo ese proceso, sucedió lo mismo posteriormente en el imperio bizantino y durante el renacimiento.

La utilización de este proceso en la industria a finales de 1800 tuvo gran impacto debido al uso de refractario en suspensión liquida, no obstante, solo se usó para la fabricación de piezas exclusivas de personas que podían costear los gastos.

Actualmente se cuenta con producciones a gran escala, moldes flexibles en goma que favorecen la producción en masa de patrones de cera y las máquinas de colada, sin embargo, como se mencionó anteriormente, los costos que acarrea la implementación del proceso, materia prima, producción y mano de obra, son altos y, además, los aspectos metalúrgicos son de gran importancia, si se desea obtener joyas de alta calidad.

Aquí radica la importancia del desarrollo de nuevas técnicas que permitan la obtención de piezas de excelente calidad, pero sin que esto genere gastos extras en la fabricación; la investigación del método de pre-engaste de joyas se ha investigado hace aproximadamente 15 años y según los resultados obtenidos en Alemania y Estados Unidos es posible disminuir no solo los

gastos de mano de obra si no el tiempo de producción. Sin embargo, debe tenerse especial cuidado en aspectos tales como revestimiento utilizado, joya, dimensiones y ciclo de calentamiento adecuados.

# 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El pre-engaste de piedras preciosas en las joyas, es un proceso que ha tenido un gran desarrollo en los últimos 15 años. Consiste en fijar previamente la gema en el molde de yeso antes de colar el metal. Cuando entra el metal líquido apisona la gema, al solidificarse la joya con metal colado. Durante la solidificación el metal se contrae y engasta la gema. Las esmeraldas colombianas presentan inclusiones en su estructura formadas durante el proceso geológico, que están presentes en diferentes estados; gaseoso, líquido y sólido. Estas inclusiones son las que le dan esa hermosa tonalidad pero a la vez son las causantes de que hasta el momento no se puedan pre-engastar en el método de la cera pérdida, ya que al aumentar la temperatura tienden a salir dichas inclusiones y provocan la fisuración de las mismas.

# 2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de nuevas técnicas en fabricación de joyería que permitan disminuir no solo los costos de mano de obra, sino también el tiempo de ejecución del proceso y, más aun, el aprovechamiento de recursos naturales, pueden permitir una evolución en la industria de la joyería en nuestro país.

Ante esto se plantea la posibilidad de la utilización del método de pre-engaste de esmeraldas colombianas, sin embargo, el reto consiste en la adaptación del proceso de pre-engaste a la esmeralda, ya que a las temperaturas convencionales del proceso y a las inclusiones que presenta la gema, no son compatibles.

Por esto, se aprecia la importancia de investigar las propiedades, que permitan disminuir la temperatura de colada para evitar daño en la gema, esto es viable con el aumento de la permeabilidad del revestimiento que posibilite la salida de gases y por ende la disminución de temperatura, además, del choque térmico entre la superficie de la esmeralda y el metal colado.

# 3. OBJETIVOS

## 3.1. OBJETIVO GENERAL

Valorar el tratamiento térmico seleccionado de los moldes de yeso, para conocer el comportamiento de la esmeralda colombiana en el proceso de pre-engaste.

## 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar en función de la permeabilidad el tratamiento térmico del yeso más apropiado para ser aplicado en el método de pre-engaste de la esmeralda colombiana.

- Analizar y valorar la influencia de la temperatura y el tiempo en los procesos de calentamiento y enfriamiento en la permeabilidad del revestimiento de yeso.

- Disminuir la temperatura máxima del ciclo de calentamiento del revestimiento

# 4. FUNDAMENTO TEÓRICO

En la fabricación de joyas, el engaste se puede hacer directamente en el molde de yeso, o después, durante el terminado de la prenda. En el proceso de fabricación de joyas en molde de yeso, existe una etapa muy importante, que es el tratamiento térmico, que se hace para mejorar las propiedades del molde. En el presente trabajo se tratará de analizar las transformaciones que se presentan en el yeso durante el calentamiento y enfriamiento.

Desde los años 90 se empezó a estudiar los tratamientos térmicos para mejorar la permeabilidad del revestimiento del yeso y tener una aproximación del comportamiento, estabilidad térmica y propiedades mecánicas, cuando se trabaja con ciclos a elevadas temperaturas, con modificaciones en la composición original; los materiales que forman el revestimiento de yeso son la sílice ($SiO_2$) en dos formas cristalinas (cuarzo y cristobalita) y como aglomerante el yeso ($CaSO_4$)[1]. Durante el ciclo de calentamiento estos componentes cambian su estructura física y química.

De las diferentes variedades de yeso existentes, el yeso de taller o yeso tipo 1, utilizado principalmente como revestimiento en los procesos de fundición de joyas, es el más débil de los yesos, debido al tamaño y forma de sus partículas, este yeso necesita más agua, y por lo mismo, es más poroso y débil.

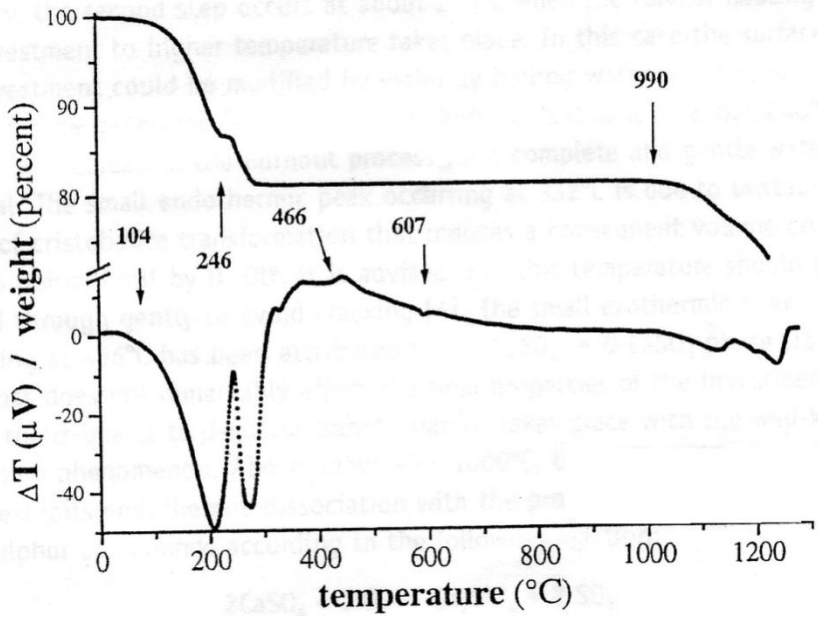
[1]Ingo, G.M., et.al., "Termochemical and microstructual study of $CaSO_4$ bonded investment as a function of the burnout process parameters". The 14th Santa Fe Symposium on Jewellery Manufacturing Technology.2000, Pág 148.

La temperatura de descomposición del yeso de taller es de 1000°C, pero puede ser disminuida con la variación de los procesos, duración y temperatura del ciclo de calentamiento.

Las propiedades fisicoquímicas del yeso de moldeo pueden ser estudiadas en función de los parámetros de calentamiento tales como temperatura y tiempo. El estudio se efectúa por técnicas analíticas. El objetivo se enfoca en la medición de la temperatura de descomposición térmica del yeso, la cual está estrictamente relacionada con el origen de la porosidad y en lograr una mayor revelación de la microestructura del tratamiento térmico.

En la reacción de descomposición del yeso de moldeo en un rango de temperatura entre 900° y 1000°C, ocurre la transformación de la fase cristalina beta inestable dela sílice y da lugar a una mayor reactividad. De hecho, la tasa de descomposición térmica llega a ser mucho más alta, a las temperaturas a las cuales se somete la transformación del cuarzo cristalino. Por el contrario, la cristobalita no está sujeta a las transiciones cristalinas a altas temperaturas, y por lo tanto, su presencia debe ser preferida en el material.

**Figura 1. Curva DTA-TG para el yeso hidratado. Medido a una velocidad de calentamiento de 50°C/minuto.**




Fuente: Referencia [1]

Según la técnica DTA-TG (Fig. 1), se comprueba que el yeso hidratado ($CaSO_4$. $2H_2O$+$SiO_2$), en la eliminación de agua, sufre una deshidratación en dos etapas con temperaturas máximasde104° Cy246°C respectivamente. La temperatura de uso general para la eliminación de agua oscila entre los 130°C a180° C (como se observa en la figura), por lo tanto, la deshidratación puede ocurrir primero a 104°Csinproblemassise calienta lentamente a esta temperatura. En la segunda etapa se produce a unos 240° C. En este caso la superficie puede ser modificada por la acción del agua hirviendo que podría generar una superficie rugosa. Si se desea una eliminación completa del agua se debe realizar un tratamiento térmico aunos240° C. A medida que aumenta la temperatura (332° C) ocurre un pequeño pico endotérmico que se debe a formas inestables de la transformación cristobalita que induce como consecuencia un cambio de volumen. En 607° C toma lugar la

transformación del α-cuarzo → β-cuarzo con el fenómeno de expansión conocida. Y encima del rango 990 - 1000° C el yeso refractario muestra una disociación endotérmica con la producción de silicatos de calcio y compuestos de sulfuro como se muestra en la siguiente reacción:

$$2CaSO_4 + SiO_2 \rightarrow Ca_2SiO_4 + 2\ SO_3 \quad \text{Reacción 1}$$

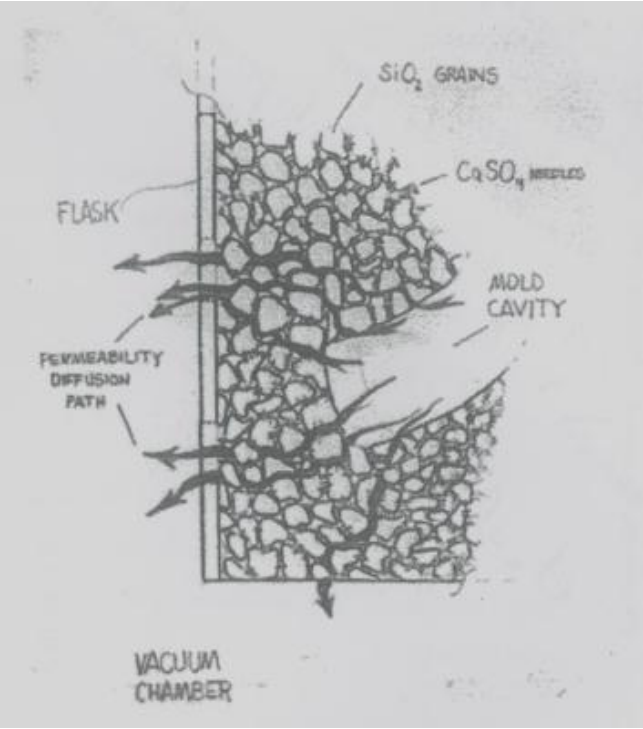
La técnica del TG-DTA demuestra que en el rango detemperaturasentre900 a 1000° C, la descomposición térmica ($CaSO_4$) se produce en función del tiempo de tratamiento. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que la descomposición de sulfato de calcio es inducida por la presencia de sílice y está estrictamente relacionado con la interacción dela superficie de ácido-base entre$SiO_2$y$CaSO_4$. A nivel molecular, esta interacción entre electrones donante/receptor lentamente se produce a temperaturas inferiores a1000 °C y da lugar a la formación de una fina capa de productos dela reacción de las partículas de yeso que actúan como una barrera contra la descomposición térmica.

Como consecuencia de esta presencia, la temperatura de la descomposición térmica $CaSO_4$ es ligeramente mayor en función del tiempo de tratamiento. Con el aumento dela temperatura de tratamiento y el tiempo, la superficie de las partículas de yeso se hace térmicamente más tensionadas y reactiva y, por tanto, la descomposición térmica se produce a una temperatura más baja.

## 4.1. IMPORTANCIA DE LA PERMEABILIDAD EN EL REVESTIMIENTO

La permeabilidad es la medida de la habilidad de un material para permitir el flujo de gas a través de él. Sin embargo es una propiedad poco investigada dado que es difícil entender y de medir.

**Figura 2. . Esquema de la estructura de sílice y sulfato de calcio en revestimiento.**




Fuente: Referencia [2]

Si la permeabilidad del revestimiento no es lo suficientemente alta, entonces el metal no puede llenar la cavidad del molde completamente[2]. Todos los

[2]Carter, Ralph. Does investment permeability impact jewelry castings?. Santa Fe Symposium, May 2004. Pag. 105

materiales poseen una constante de permeabilidad K, definida por la ley de D'arcy:

**Ecuación 1. Ley de D'arcy**

$$Q = \frac{KA}{\eta}\left(\frac{P_i - P_o}{L}\right)$$

Dónde:

F= Flujo volumétrico de gas por unidad de tiempo en presión promedio.

K= Constante de permeabilidad del material.

A= Área de sección transversal en la entrada del material.

Pi= Presión de entrada del gas

Po= Presión de salida del gas

$\eta$= Viscosidad del gas.

t= Espesor del material

Al observarse la ecuación, se puede apreciar que si el flujo volumétrico es pequeño, entonces requiere de mayor tiempo para expulsar los gases y para la solidificación del metal. De acuerdo con McCloskey[3], al disminuir la distancia t, el gas tiene que fluir a través del material para escapar, aumenta la rata de flujo F; ahora, si se aumenta la presión diferencial, aumentará la rata de flujo, cambiando todas las variables excepto la constante de permeabilidad K, entonces, si la constante se puede modificar los parámetros del procesos se pueden mantener.

Un factor que influencia directamente la permeabilidad es la relación agua/polvo, dado que el agua usada en el proceso de elaboración de la

[3] McCloskey, John C.," An evaluation of the permeability of a jewelry casting investment", Santa Fe Sympsium on Jewelry Manufactring Technology, 1999, p. 433.

suspensión de yeso se evapora y deja espacios internos en el molde que permite el flujo de gas durante la colada.

## 4.2. PROCESO DE PRE-ENGASTE DE GEMAS

Este proceso se ha llevado a cabo principalmente en Europa y Estados Unidos con el objetivo de reducir costos y tiempo en la fabricación y elaboración de joyas de oro y plata. Se utilizó inicialmente a gran escala industrial con piedras sintéticas, sin embargo su uso se ha extendido a piedras naturales como rubí, zafiro, etc.[4]

**Figura 3. Pre-engaste en oro de 18K**

Fuente: Referencia [3]

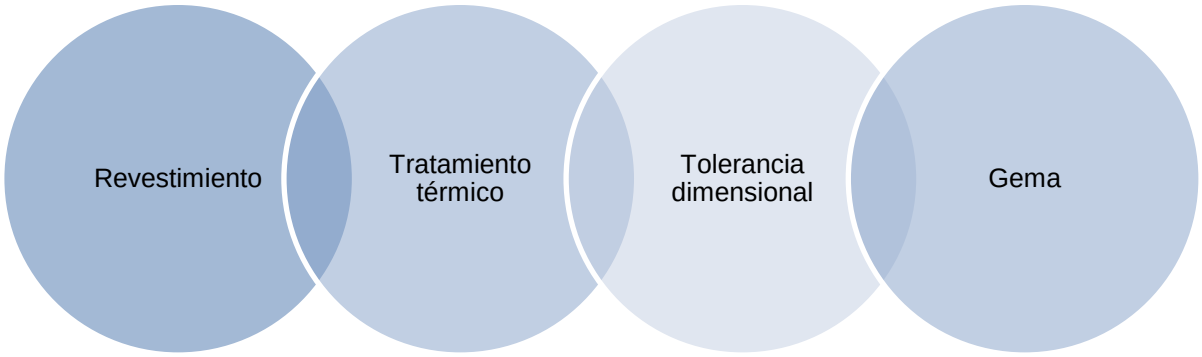
Existen dos métodos para la fabricación de joyas pre-engastadas. El primero consiste en colocar las gemas en el molde de goma y la cera posteriormente es inyectada alrededor de ellos, una vez la cera es extraída del molde las piedras se encuentran establecidas, aunque solo puede ser utilizado con

[4]HANDBOOK ON INVESTMENT CASTING.Pag 51.

piedras cuyo corte sea redondo. En el segundo método las gemas se encuentran en la cera y permite ajustar cualquier tipo de corte.

Se debe tener en cuenta principalmente cuatro factores para tener un proceso exitoso.

**Diagrama 1. Factores para un proceso exitoso.**




Fuente: Autores

Es preciso mencionar que no a todas las piedras preciosas se les puede someter a dicho proceso, como ejemplo la amatista, el topacio azul y el citrino, pues se ven afectadas por el choque térmico durante el calentamiento o enfriamiento, al presentar cambios físicos, como fisuración superficial y variación de color, éste puede ser el caso de la esmeralda colombiana por las inclusiones en diferentes estados físicos presentes en su estructura, ya que estas inclusiones tienden a salir cuando la temperatura es elevada y de este modo provocan fisuraciones en la superficie, es por esto que se debe

seleccionar adecuadamente el proceso de fundición y las características del revestimiento para evitar la fragmentación de dicha gema.

Respecto a la tolerancia dimensional los modelos deben ser hechos con el corte y dimensiones correctas para dar cabida a la gema, es decir, si la gema es demasiado grande es susceptible al choque térmico y ser puesta bajo excesivo esfuerzo. En la figura 4 y 5, se muestra el modelo en cera con piedras de diamante y esmeralda y su equivalente en oro blanco.

**Figura 4. Gema pre-engastada en modelo de cera.**

**Figura 5. La misma esmeralda y diamantes ajustados después de la fundición en oro blanco**

Fuente: Referencia [4]

El revestimiento usado para el pre-engaste de piedras preciosas depende de la naturaleza de las piedras ya que si se desea pre-engastar piedras preciosas o semipreciosas el riesgo de daño por choque térmico u oxidación es más alto que con el uso de piedras sintéticas, sin embargo se recomienda el uso de aditivos que permitan controlar el tiempo de fraguado, viscosidad y que protejan la gema durante el calentamiento como es el caso del ácido bórico[5].

[5]Menon, Ajit. Casting Gemstones in Place.Santa Fe Symposium, 1995.

La diferencia entre el ciclo de calentamiento convencional y el de pre-engaste radica principalmente en la temperatura máxima de calentamiento ya que debe ser disminuida para minimizar los daños que podría sufrir la piedra, aunque el tiempo de estadía sea mayor para eliminar los residuos carbonosos que deja la cera.

## 4.3. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES DEL PRE-ENGASTE DE GEMAS[6]

El Dr. Hubert Schuster ha planteado diversas soluciones a los problemas más comunes generados durante el proceso de pre-engaste de las diferentes gemas que mantienen sus características a altas temperaturas (diamante, rubí, aguamarina, etc.).Algunos de los problemas se mencionan a continuación.

**Tabla 1. Problemas, causa y solución del pre-engaste**

| Problema | Causas | Solución |
|---|---|---|
| **Perdida de brillo en los diamantes** | Temperatura incorrecta | Disminuir la temperatura del tratamiento térmico |
| | Temperatura de fusión alta | |
| | Falta de aditivos | Añadir aditivos específicos, para emisión de diamantes |
| **Borde negro después de la fundición** | Aleación inadecuada | Utilizar aleaciones no oxidantes durante la colada |

[6] Schuster, Hubert., "Problems, causes and their solutions on stone in place casting process". The 14th Santa Fe Symposium on Jewellery Manufacturing Technology, 2000

| Problema | Causas | Solución |
|---|---|---|
| | | |
| **Fragmentación de la piedra** | Contacto entre piedras | Dejar espacio |
| | Aleación incorrecta | Seleccionar una aleación no oxidante |
| **Cambio de color en las piedras** | Piedra no apta para preengaste | |
| | Piedras tratadas | |

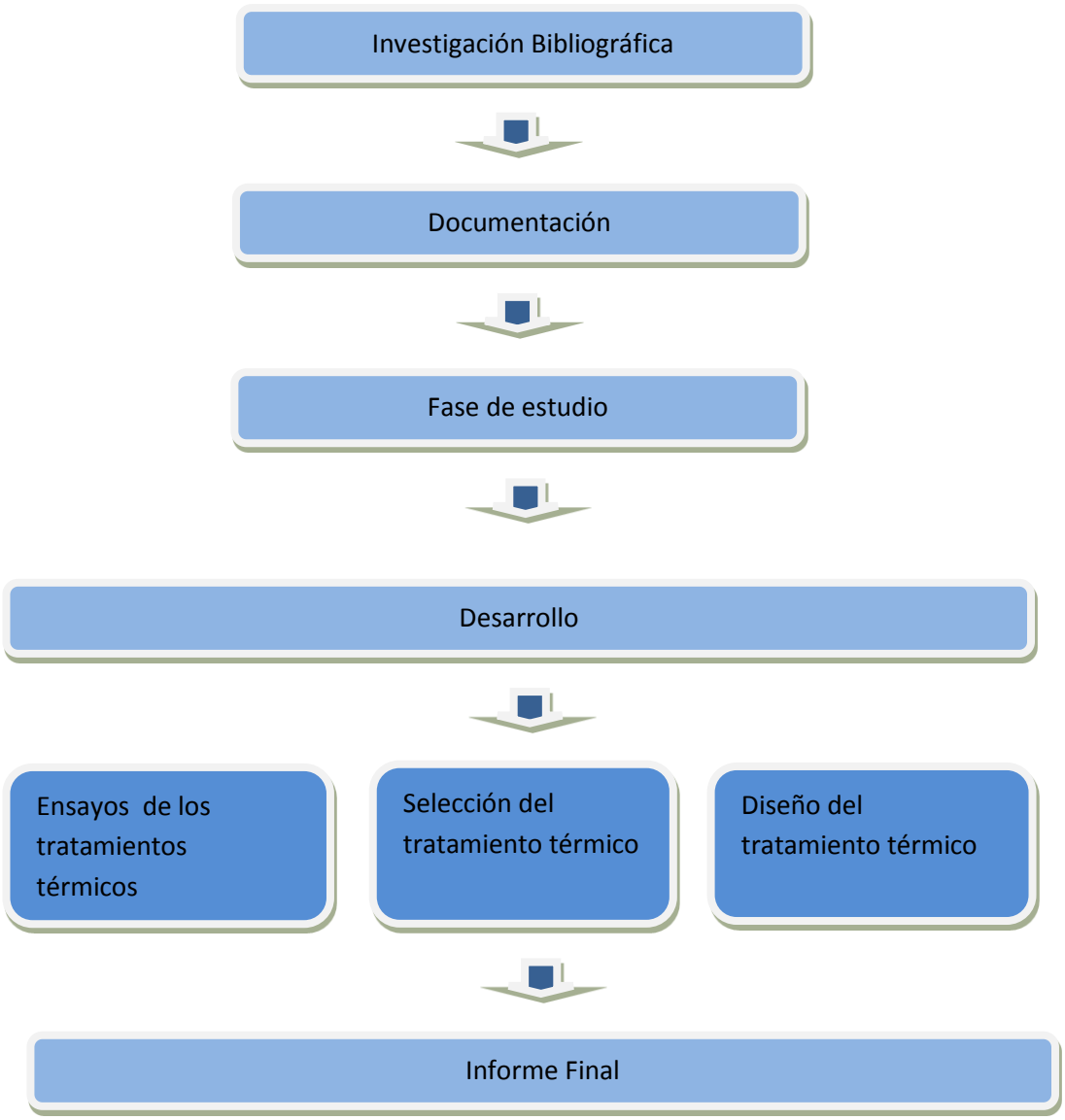
Fuente: Referencia [5]

Aunque se tiene bastante información sobre los problemas de pre-engaste, en los diamantes como se observó, en la tabla mostrada anteriormente, no se tiene conocimiento de estudios e investigaciones sobre el pre-engaste en esmeraldas.

## 5. METODOLOGÍA

Metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo de grado.

**Diagrama 2. Metodología**




Fuente: Autores

## 5.1. Investigación bibliográfica

Se procedió a buscar documentos base, referentes a los tratamientos térmicos del yeso, las características y propiedades que se obtienen a partir de la realización de dicho proceso. Para el desarrollo de este ítem, se dispuso y se utilizó diferentes textos, principalmente artículos de revistas asociados a la fundición en joyería, y tesis correspondientes al tema en cuestión.

## 5.2. Documentación

Esta actividad está basada en la documentación bibliográfica desde libros especializados, textos científicos, páginas de internet, lo cual permitió obtener información necesaria para la realización del diseño de un tratamiento térmico, que cumpliera con las expectativas establecidas.

## 5.3. Fase de estudio

En esta fase se analizó la literatura recopilada y de allí se seleccionaron los tratamientos térmicos que no contenían aditivos y que tenían las temperaturas más bajas.

## 5.4. Desarrollo

En el desarrollo del trabajo de grado se realizaron pruebas de permeabilidad según la norma AFS para arenas y según el procedimiento de densidad aparente en algunos casos, variando la relación de agua.

Se observaron las probetas en el microscopio HIROX y en el SEM.

Con el fin de justificar la disminución en la temperatura máxima del ciclo de calentamiento se realizaron pruebas, a la cera, diluyéndola en glicerina.

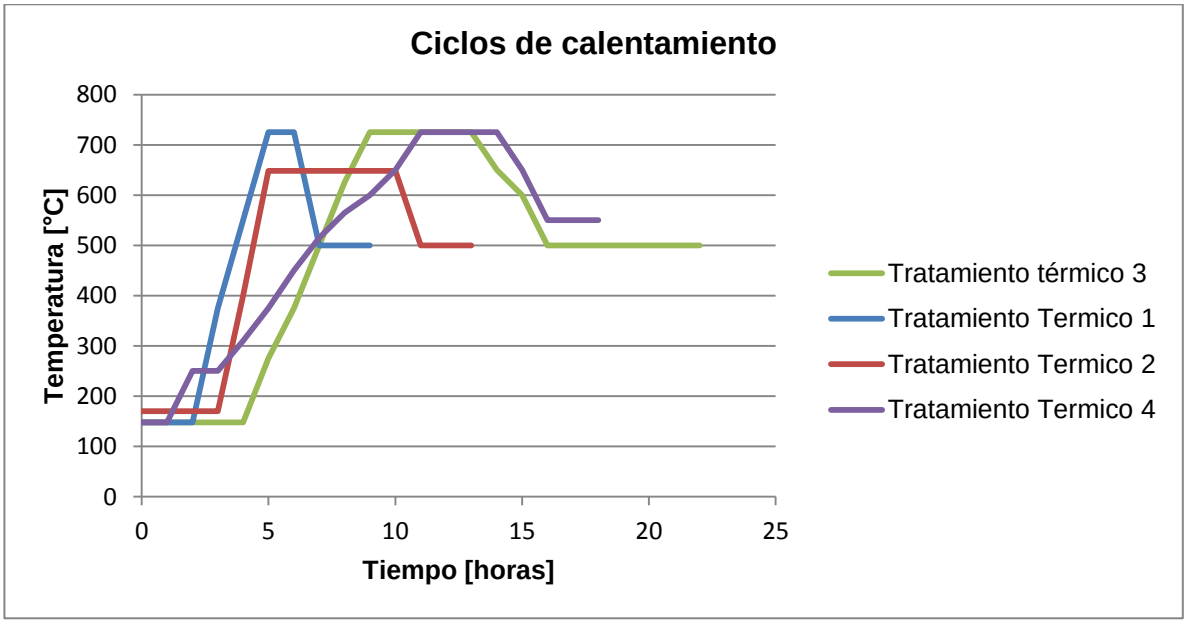
### 5.5. Informe final

El informe final es éste libro de trabajo de grado, donde exponemos los resultados obtenidos durante el desarrollo experimental aplicando los fundamentos teóricos recopilados durante la fase de documentación bibliográfica.

## 6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

De acuerdo a la investigación realizada se encontró que los tratamientos térmicos utilizados en joyería son los siguientes:

**Figura 6. Tratamientos térmicos usados en joyería.**

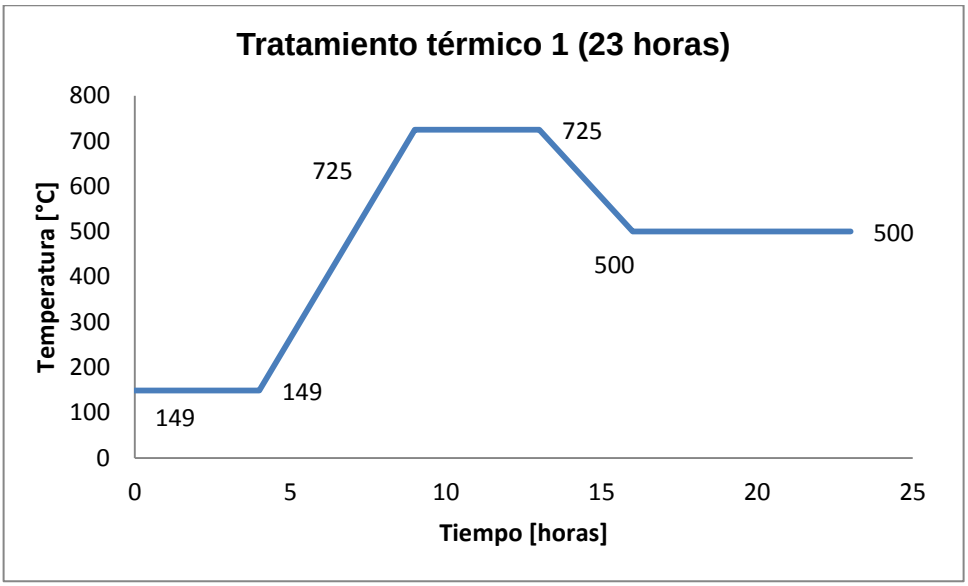



Fuente: Referencia [1]

Se seleccionaron los tratamientos térmicos 1, 2 y 3 por no contener aditivos ni espumantes.

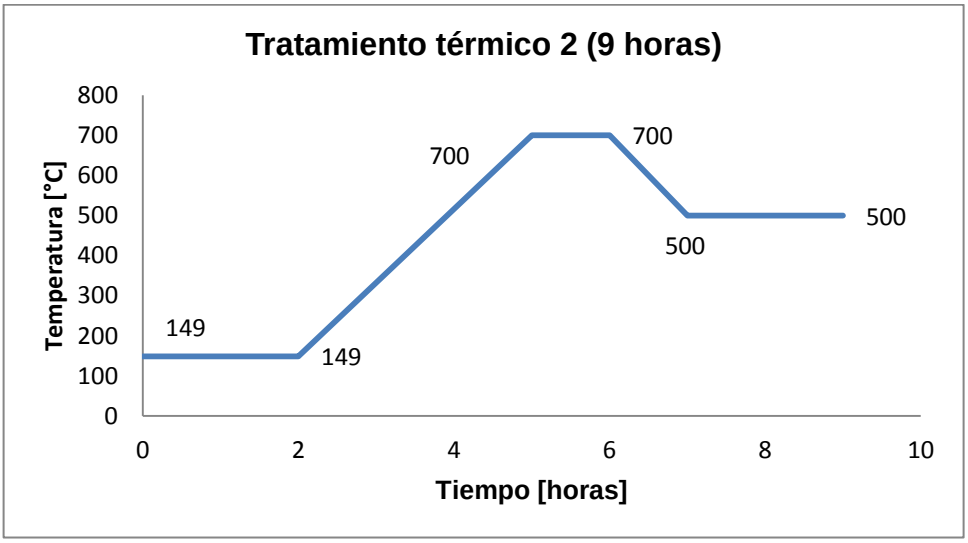
Los tratamientos térmicos realizados durante la fase experimental son los siguientes:

**Figura 7. Tratamiento térmico 1 de 23 horas.**



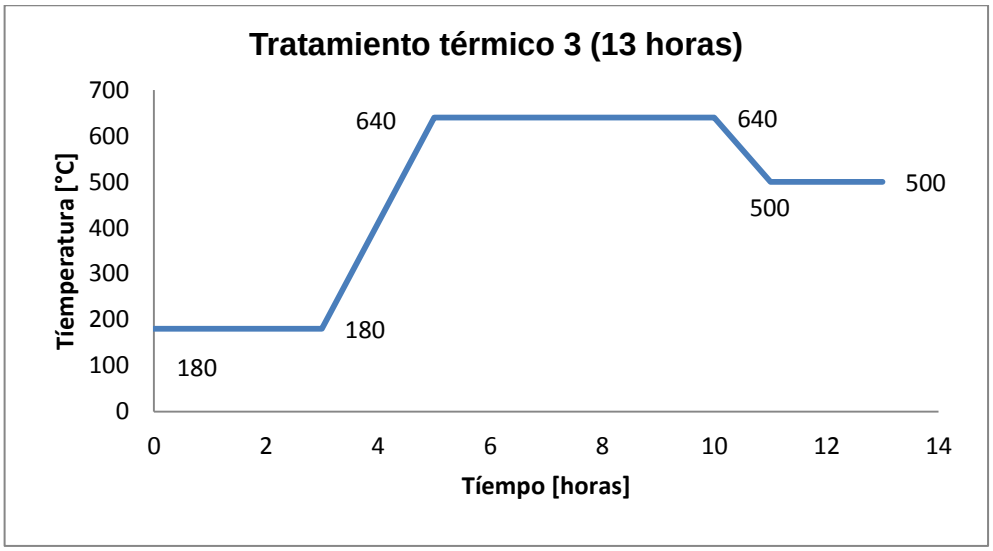

Fuente: Referencia [1]

**Figura8.Tratamiento térmico 2 de 9 horas.**



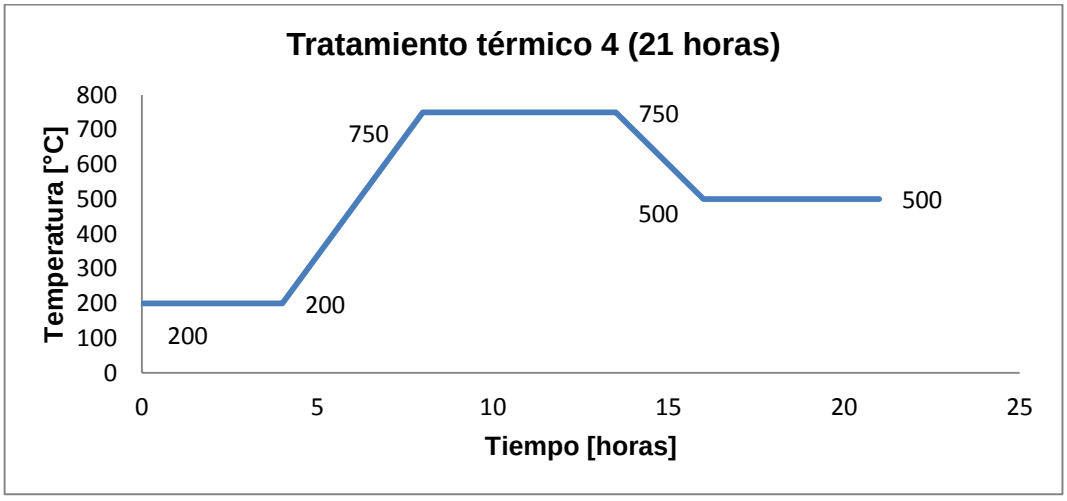

Fuente: Referencia [1]

**Figura 9. Tratamiento térmico 3 de 13 horas.**



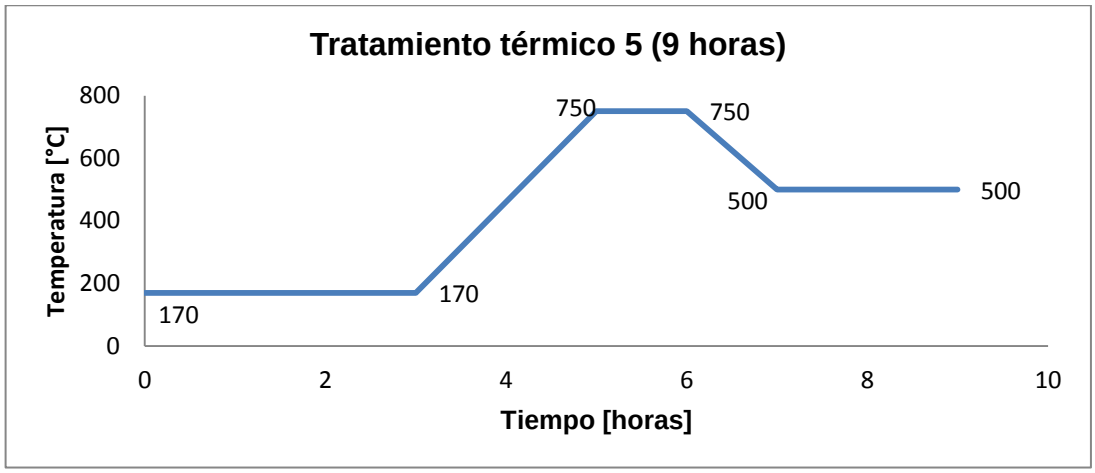

Fuente: Referencia [1]

**Figura10.Tratamiento térmico 4 de 21 horas.**



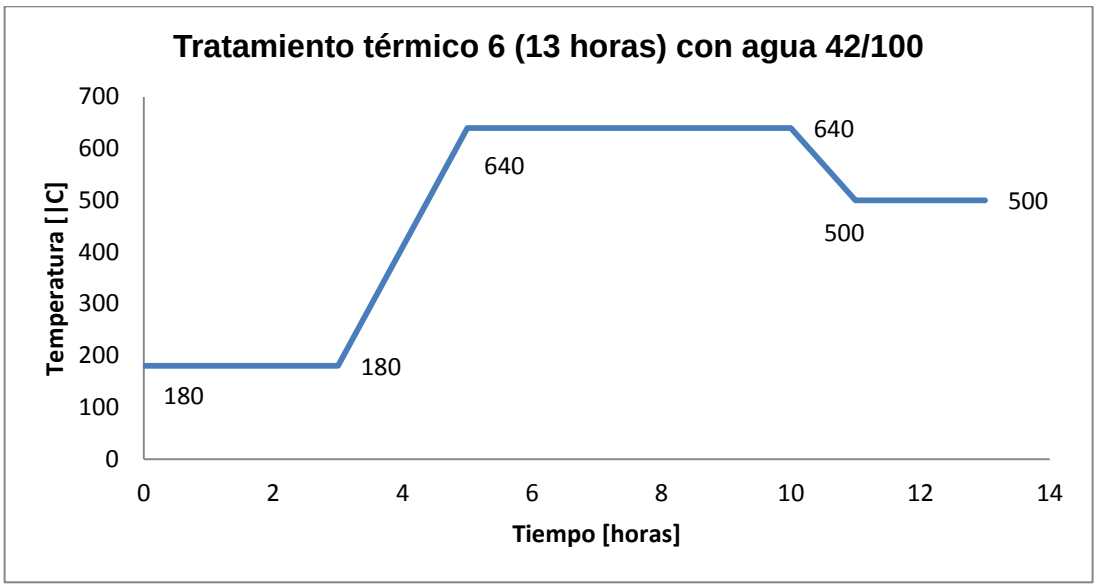

Fuente: Autores

**Figura 11. Tratamiento térmico 5 de 9 horas**



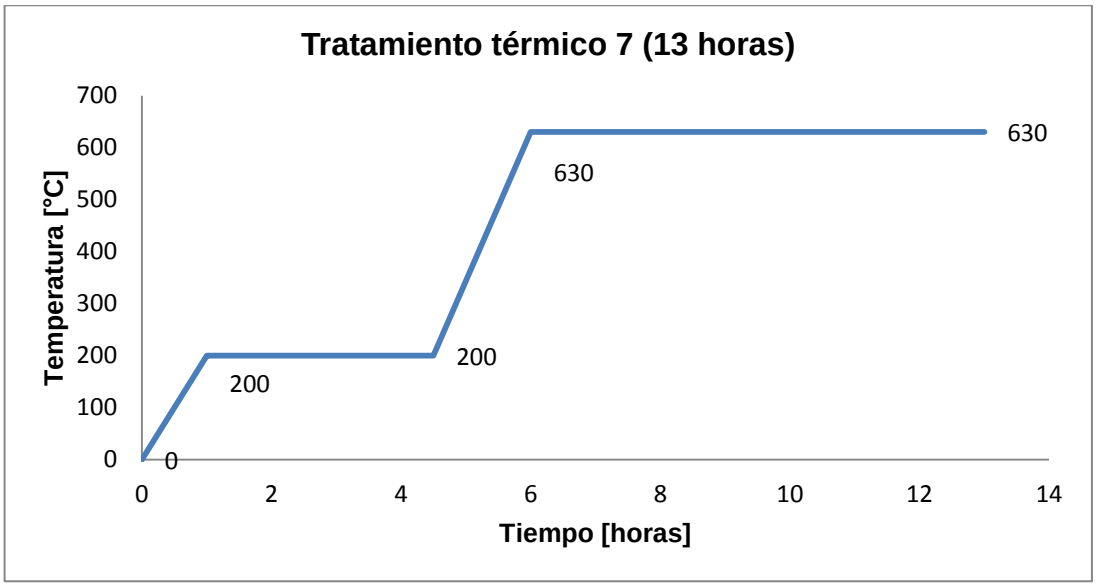

Fuente: Autores

**Figura 12. Tratamiento térmico 6 de 13 horas, con relación de agua 42/100.**



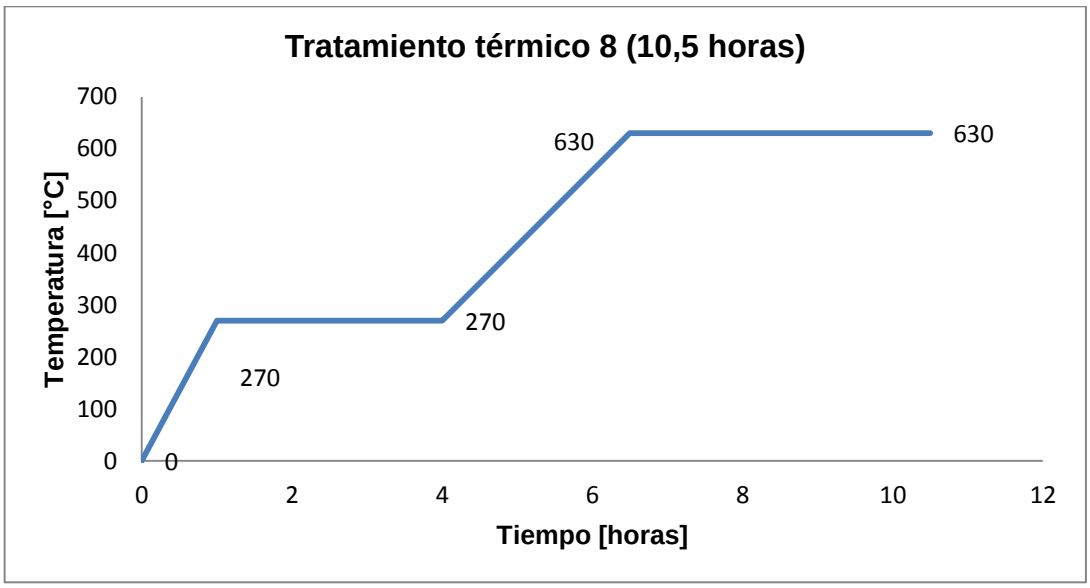

Fuente: Autores

**Figura 13. Tratamiento térmico 7 de 13 horas.**



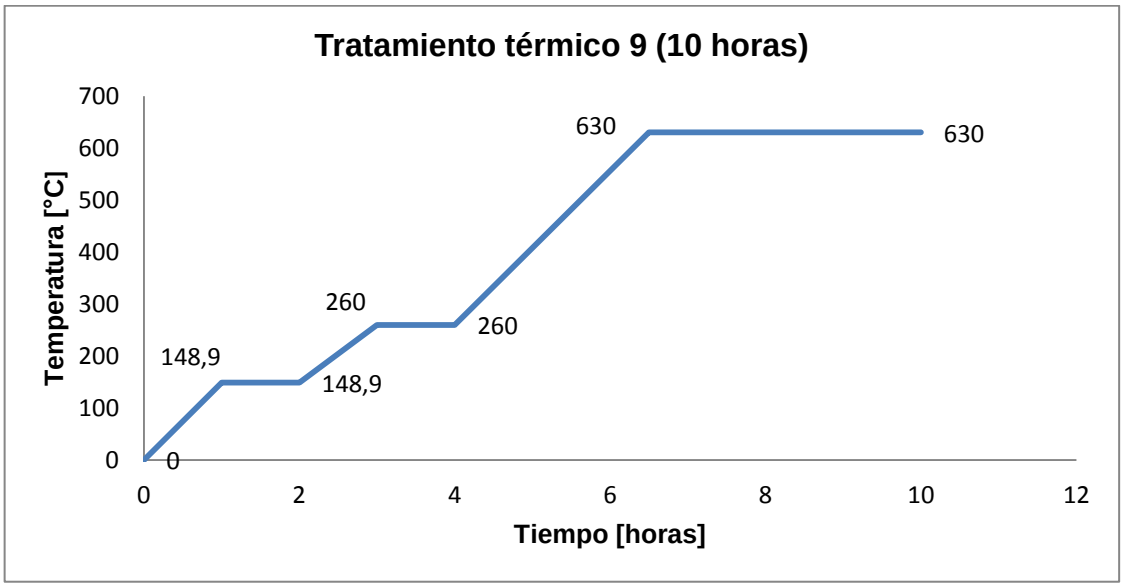

Fuente: Referencia [6]

**Figura 14. Tratamiento térmico 8 de 10,5 horas.**




Fuente: Autores

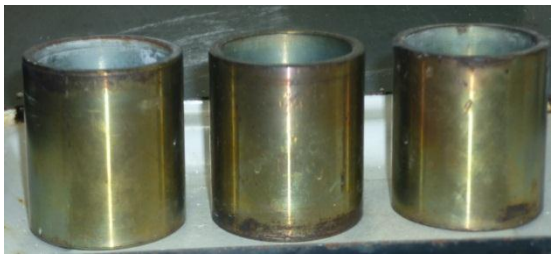
**Figura 15. Tratamiento térmico 9 de 10 horas.**




Fuente: Autores

Para el desarrollo experimental, se utilizaron 3 bases metálicas (Fig16) de acero inoxidable cuyas dimensiones interiores corresponden a las probetas utilizadas por la norma AFS de permeabilidad en arenas ($2in \times 2in$). Los pasos para elaborar las probetas se encuentran relacionados en el anexo A.

**Figura 16. Probetas acero inoxidable.**



Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

Posterior al proceso de preparación de las probetas, donde se realizaron 3 probetas de revestimiento por cada tratamiento térmico, se midió la permeabilidad según la norma AFS en el permeámetro.

**Figura 17. Permeámetro según la norma AFS.**

Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

A los tratamientos térmicos progresivamente se les fueron realizando cambios en las temperaturas, ratas de calentamiento y tiempos de duración con el fin de proponer las mejores opciones que cumplan con los objetivos.

El método recomendado para medir la constante de permeabilidad, el cual resulta más efectivo, de acuerdo a la literatura es el de la ley de Darcy[7], dicho método no fue posible ponerlo en práctica ya que no se contaba con el equipo Porous Materials, Inc. (PMI) adecuado para realizar las pruebas.

Se propuso medir la permeabilidad del revestimiento con el método de densidad aparente, el cual consiste en pesar las probetas antes y después del tratamiento

[7]Carter, Ralph., "Does Investment Permeability Impact Jewelry Castings?". The 14th Santa Fe Symposium on Jewellery Manufacturing Technology, May 2004. Pág 107.

térmico, ya que, como tienen el mismo volumen, por pérdida de peso, se puede analizar cual contiene mayor cantidad de poros y por lo tanto mayor permeabilidad.

El incremento en la relación de agua – polvo de 39/100 a 42/100 se realizó, con el fin de aumentar la constante de permeabilidad del molde en un 37%, según afirma Ralph Carter en su artículo.

Otra variable incluida en la preparación de las probetas fue la de la agitación. La agitación no fue posible medirla con exactitud en revoluciones por minuto ya que el aparato utilizado para dicho proceso fue construido artesanalmente y fue al único agitador mecánico que se tuvo acceso. Según la escala de medición del aparato, las probetas se realizaron con una agitación de 5 como se observa en la figura.

**Figura 18. Agitador mecánico.**

Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

Se seleccionó una probeta por cada tratamiento térmico realizado a lo largo de la realización del presente trabajo, las cuales se prepararon, cortándolas y lijándolas, tanto transversal como longitudinalmente, produciendo formas regulares, con el fin

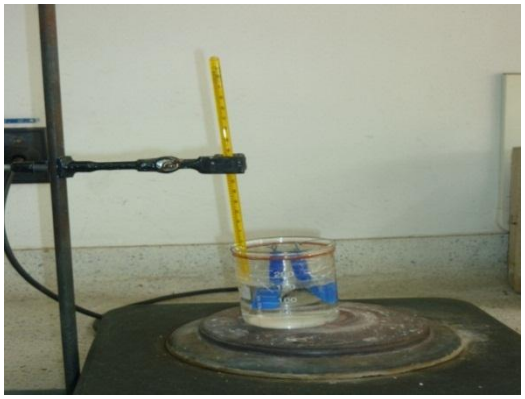
de observar en el microscopio HIROX, a grandes aumentos, la porosidad de las mismas.

Para observar en el microscopio electrónico de barrido se seleccionaron los siguientes tratamientos térmicos: el *1* sin agitación, relación de agua – yeso 39/100, el *8* con agitación, relación de agua – yeso 42/100 y el *9* con agitación, relación de agua – yeso 42/100. Estos tratamientos fueron seleccionados para comparar el *1* con el *8* y el *9,* y así poder observar el avance progresivo en el aumento de la permeabilidad y disminución de la temperatura máxima. Lamentable dicha técnica no pudo aplicarse a todas las probetas ya que no se contó con presupuesto suficiente, para poder haber tenido la referencia, de cada tratamiento térmico.

La temperatura máxima del tratamiento térmico del ciclo de calentamiento del revestimiento oscila entre, 700°C y 750°C, a esta temperatura ocurre la remoción de cenizas, de la cera, por volatilización, con el fin de disminuir esta temperatura a 630°C, para proteger la esmeralda de elevadas temperaturas y evitar el daño de la misma, se llevó a cabo la disolución de la cera en glicerina.

Para llevar a cabo dicha disolución, se efectuó, el diseño del montaje que se observa en la figura 18.Se prepararon 2 láminas de cera donde cada una tenía las siguientes medidas $7{,}2 \times 1 \times 0{,}5\ cm$ y pesaba 4,54 g.

**Figura 19. Montaje diseñado.**

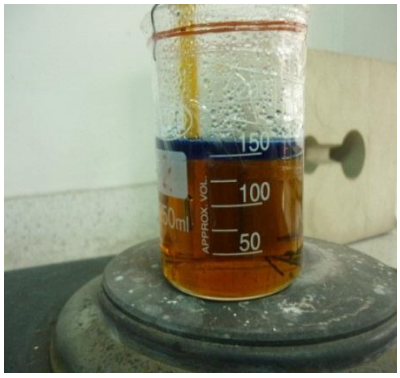


Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

Las láminas fueron sumergidas en 150 mL de glicerina, posteriormente se procedió a calentar la glicerina y a observar, que sucedía, a medida que el tiempo transcurría y la temperatura iba aumentando. Al llegar la temperatura a los 134°C se mantuvo por 5 horas, con un intervalo de error de 2°C.

Durante el proceso la glicerina se tornó café como se observa en la figura 20

**Figura 20. Montaje a 134 °C**




. Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

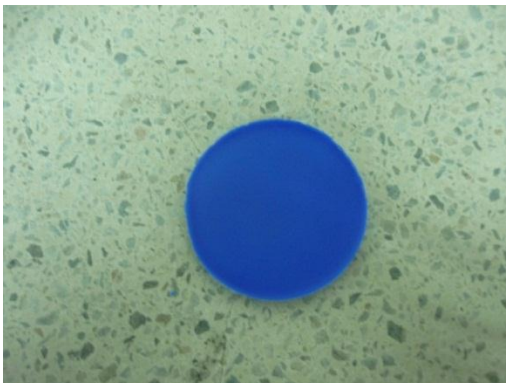
Finalmente se dejó enfriar lentamente hasta temperatura ambiente, para poder separar la cera de la glicerina y así poderla reciclar.

**Figura 21. Glicerina y cera, a temperatura ambiente. Separadas.**

Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

Para analizar cuanta cera se había perdido en el proceso, se pesó la cera recuperada.

**Figura 22. Cera recuperada.**



Fuente: Laboratorio de fundición – Universidad Industrial de Santander

El peso de la cera recuperada fue de 8,39g lo que indica que se recuperó el 92,5%.

# 7. RESULTADOS OBTENIDOS

**Tabla 2. Resultados promediados de las 3 probetas utilizada para cada tratamiento térmico.**

| Tratamientos térmicos | Permeabilidad AFS | Densidad Aparente (perdida en gramos) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Agua – Yeso 39 – 100** | **Agua – Yeso 42 – 100** | **42 – 100 + Agitación** |
| **1** | 5,4 | | | |
| **2** | 5,1 | | | |
| **3** | 5,3 | | | |
| **4** | 5,2 | | | |
| **5** | | | 44,56 g | |
| **6** | | | 45 g | |
| **7** | | 45,51 g | 52,48 g | |
| **8** | 6 | 45,6 g | 55 g | 55,44 g |
| **9** | | | | 51,14 g |

Fuente: Autores

- Micrografías obtenidas en el microscopio electrónico de barrido

El microscopio electrónico de barrido se trabajó en modo ambiental ESEM (enviromental system electronic micoscope).

Las micrografías se trabajaron bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Presión de la cámara: 100 Pa
- ✓ Corriente de emisión = 168 µA
- ✓ Las micrografías se tomaron en 2 modos:
  - SE: Electrones secundarios

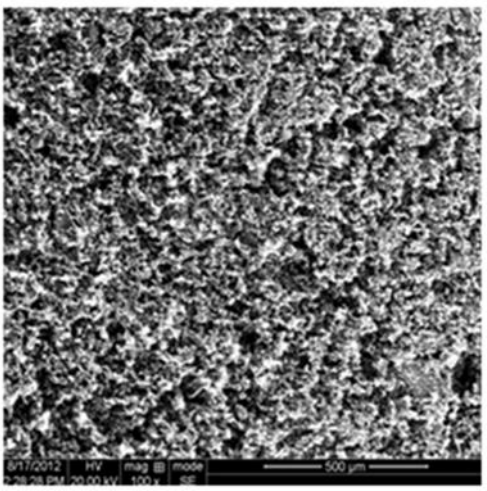
- Zcont: Electrones retrodispersados ( contraste según el número atómico)

Para algunos aumentos, las micrografías, se tomaron en los 2 modos, pero para otros, se seleccionó en el que se observaba mejor contraste.

En este procedimiento se incluyeron solo 3 tratamientos térmicos, debido a que el proyecto no conto con presupuesto suficiente, para aplicarle dicha técnica a todos los tratamientos térmicos realizados durante el presente trabajo de grado.

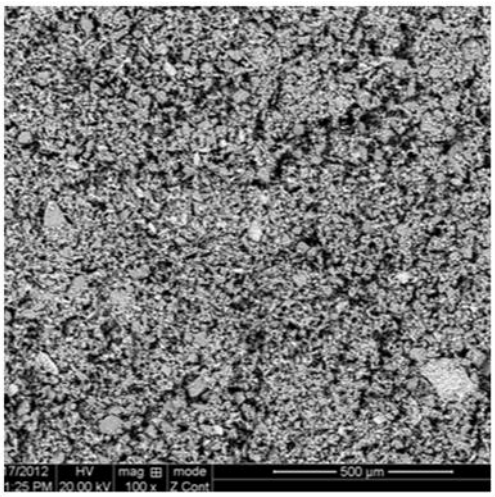
Las siguientes micrografías son del tratamiento térmico número *1*:

**Figura 23. Micrografía Modo SE - 100X. Tratamiento térmico 1.**



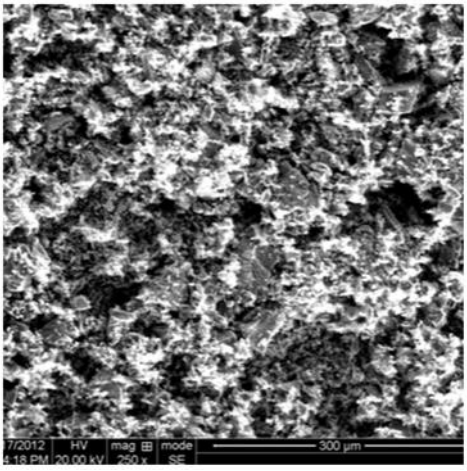
Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 24. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 1.**



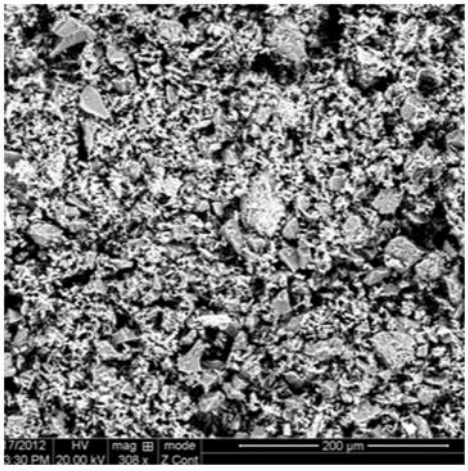
Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 25. Micrografía Modo SE - 250X. Tratamiento térmico 1.**



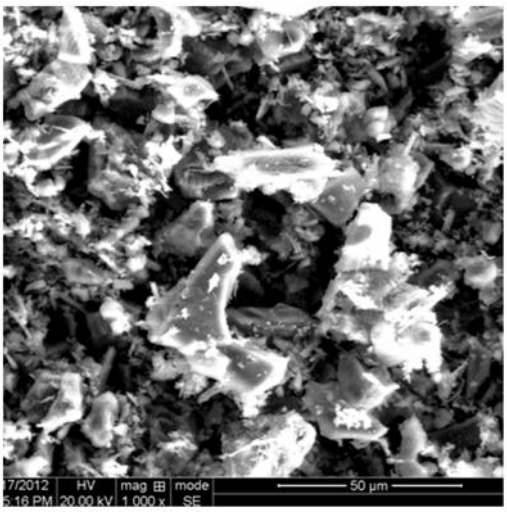
Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 26. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 1.**



Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

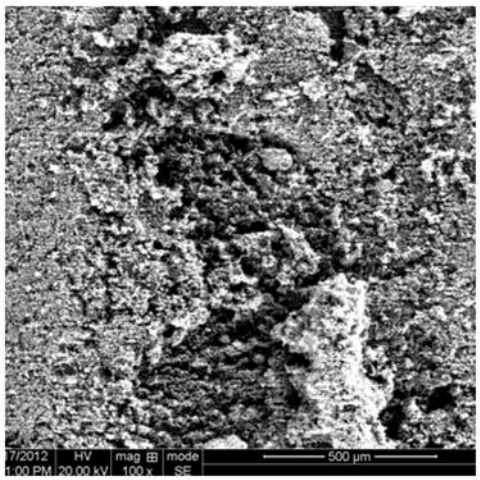
**Figura 27. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 1.**




Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

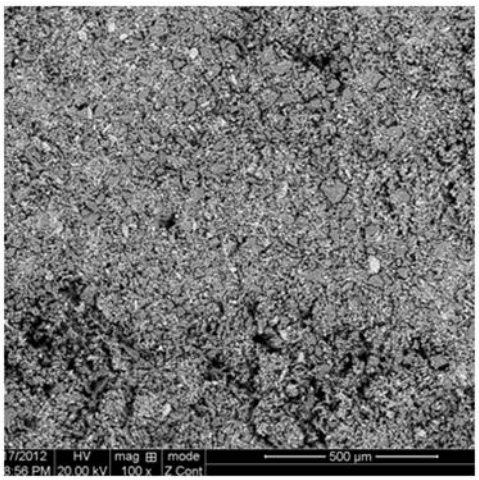
Las siguientes micrografías son las correspondientes al tratamiento térmico, número *8*. El cual presenta mayor permeabilidad según la norma AFS y según el método de densidad aparente.

**Figura 28. Micrografía Modo SE - 100X. Tratamiento térmico 8.**



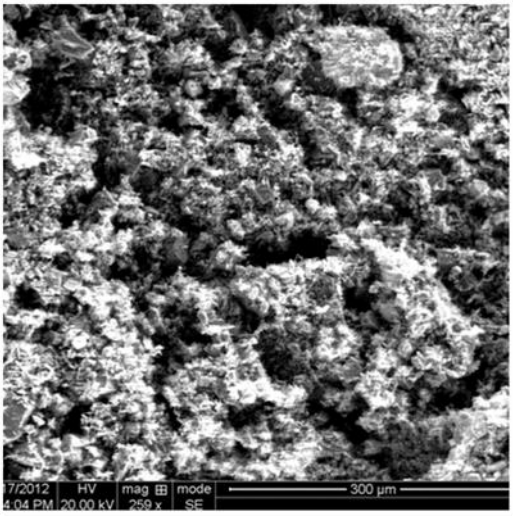

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 29. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 8.**



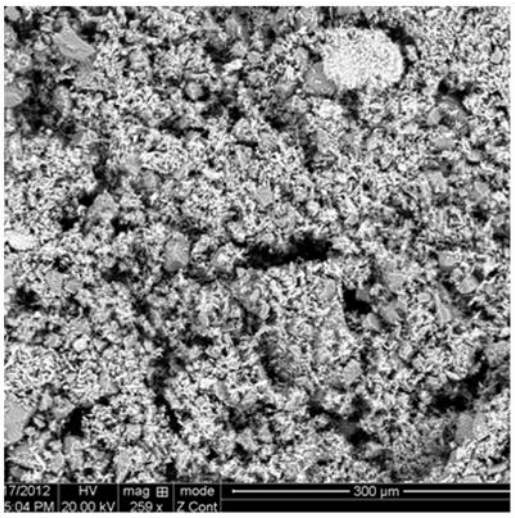

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 30. Micrografía Modo SE - 259X. Tratamiento térmico 8.**



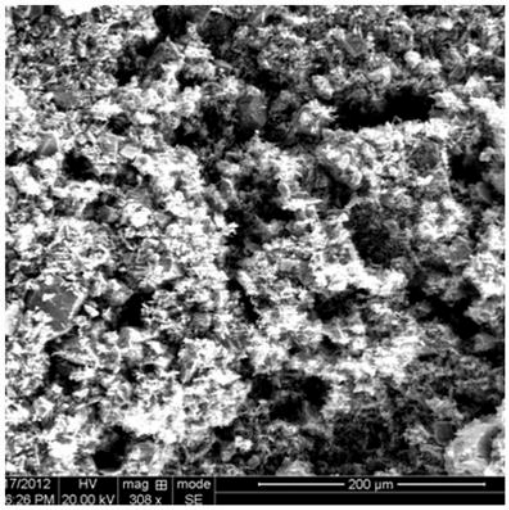

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 31. Micrografía Modo Z Cont 259X. Tratamiento térmico 8.**



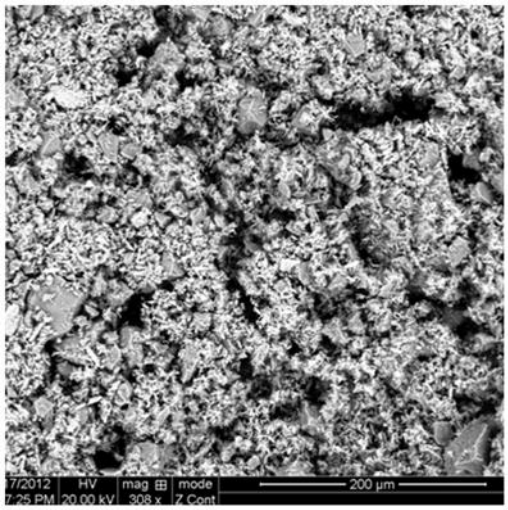

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 32. Micrografía Modo SE - 308X. Tratamiento térmico 8.**



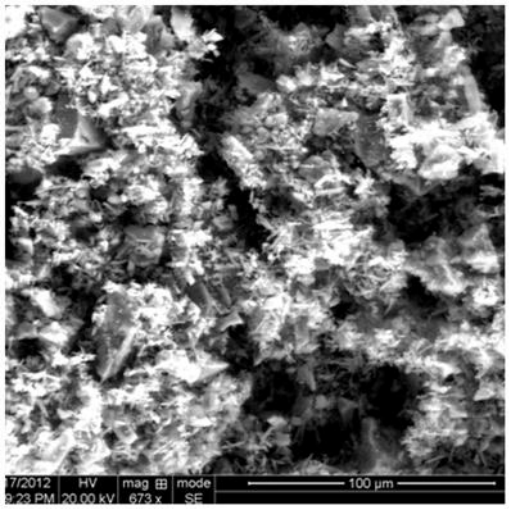

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 33. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 8.**



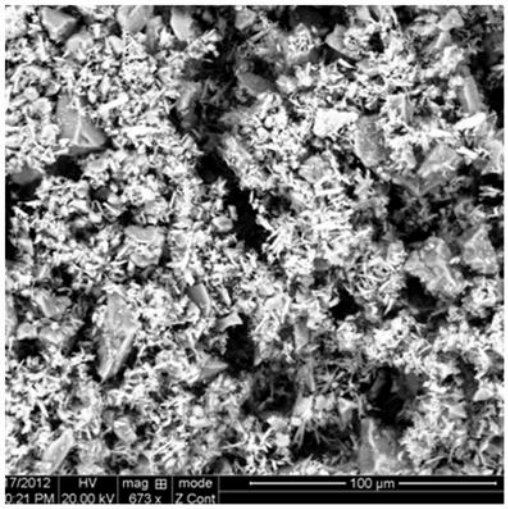

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 34. Micrografía Modo SE - 673X. Tratamiento térmico 8**



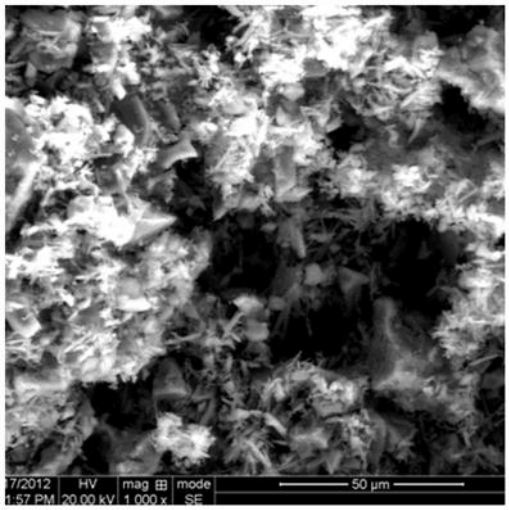

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 35. Micrografía Modo Z Cont - 673X. Tratamiento térmico 8.**



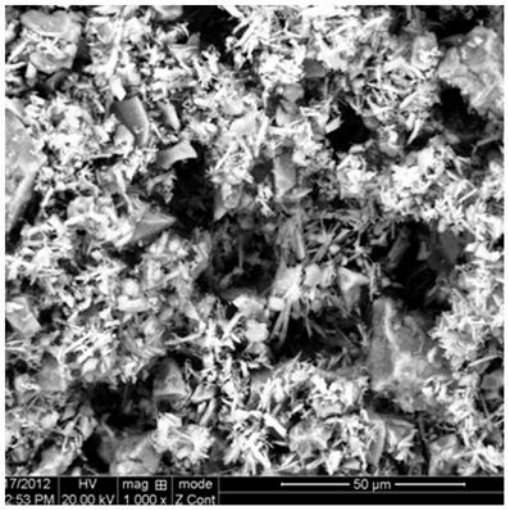

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 36. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 8.**



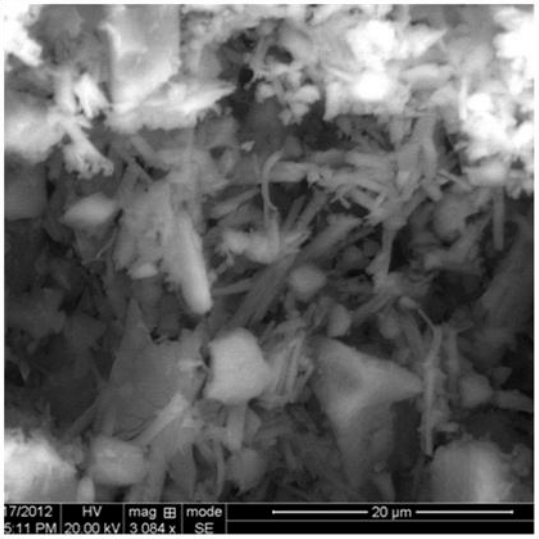

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 37. Micrografía Modo Z Cont - 1000X. Tratamiento térmico 8.**



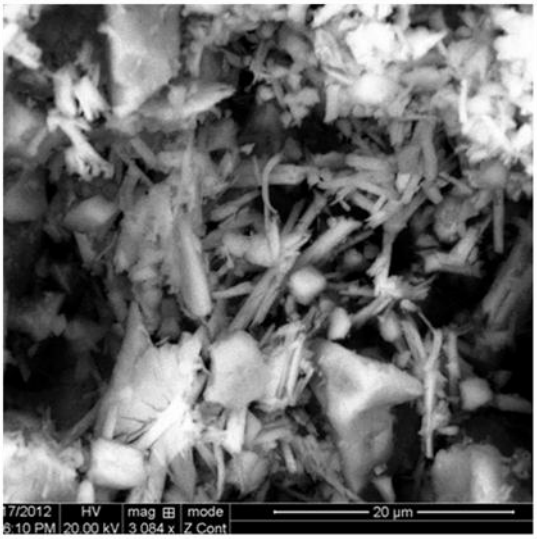

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 38. Micrografía Modo SE - 3084X. Tratamiento térmico 8.**




Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

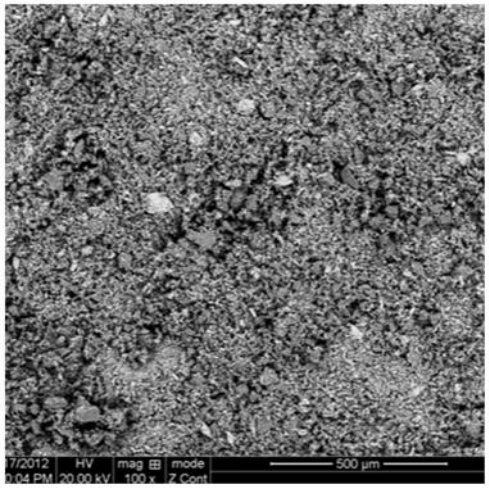
**Figura 39. Micrografía Modo Z Cont - 3084X. Tratamiento térmico 8.**




Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

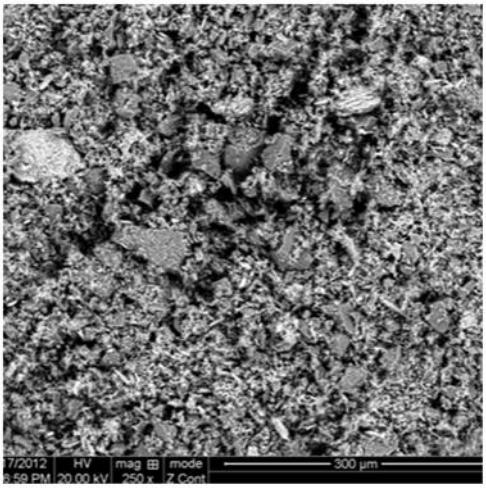
Las siguientes micrografías son del tratamiento térmico 9

**Figura 40. Micrografía Modo Z Cont - 100X. Tratamiento térmico 9.**



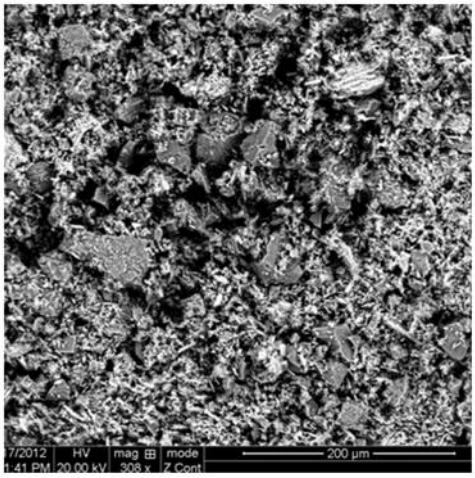

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 41. Micrografía Modo Z Cont - 250X. Tratamiento térmico 9.**



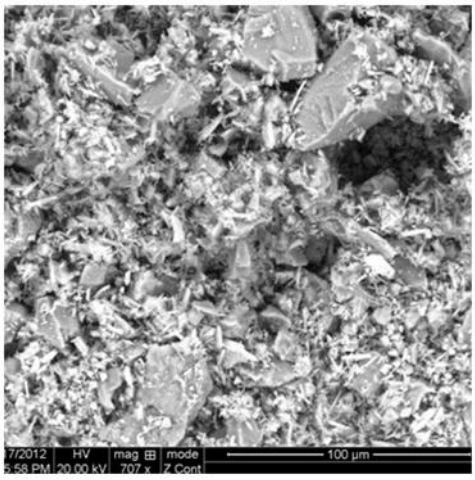

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 42. Micrografía Modo Z Cont - 308X. Tratamiento térmico 9.**



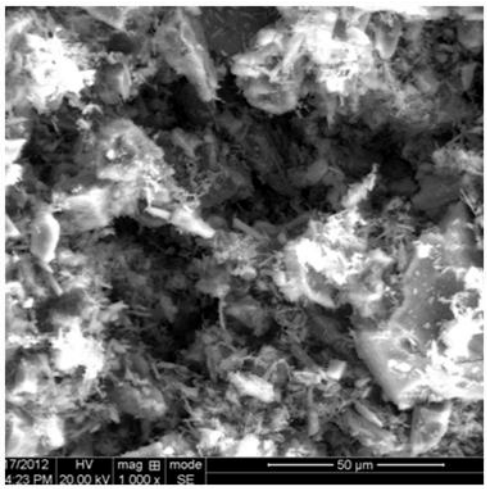

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 43. Micrografía Modo Z Cont - 707X. Tratamiento térmico 9.**



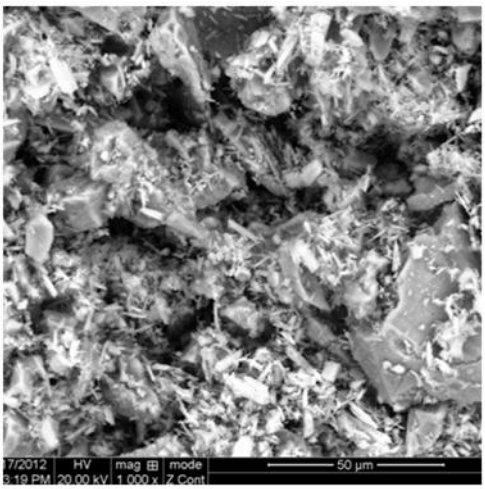

Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 44. Micrografía Modo SE - 1000X. Tratamiento térmico 9.**




Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

**Figura 45. Micrografía Modo Z Cont - 1000X. Tratamiento térmico 9.**




Fuente: Laboratorio de microscopia – Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguara

# 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las mayores contracciones en las probetas se presentan cuando el tratamiento térmico es igual o superior a 700°C, es decir, los tratamientos 1 y 2 mostraron más facilidad al momento de desmoldear que los tratamientos restantes aunque no representa mayores variaciones en cuanto a pérdida de peso y permeabilidad, sin embargo cabe mencionar nuevamente que el objetivo es encontrar el valor de permeabilidad más alta a bajas temperaturas, por lo que es importante la valoración de permeabilidad de los tratamientos de más baja temperatura.

Experimentalmente se observó que el tratamiento térmico debe ser a una temperatura mayor de 500°C ya que a una temperatura inferior se hace casi imposible el desmoldeo de las probetas de yeso. Esto sucede, debido a que a esta temperatura, se da la transformación del cuarzo α a cuarzo β y toma lugar el conocido fenómeno de expansión.

Las variaciones principales que se tuvieron en cuenta, se enfocaron básicamente en los cambios físicos y químicos, sufridos por el revestimiento durante el tratamiento térmico. Como primera medida la remoción de agua que está comprendida entre 104 y 246°C (Ver figura 1), a 104°C ocurre la primera deshidratación sin problemas siempre y cuando el revestimiento sea calentado lentamente a esa temperatura, la segunda ocurre a 240°C, sin embargo en este caso la superficie del revestimiento puede ser modificada violentamente por el punto de ebullición del agua generando posteriormente defectos en la superficie de la pieza.[8]

De los resultados de permeabilidad registrados en la tabla 2 de los tratamientos térmicos 1, 2, 3 y 4 se puede decir que no ocurren cambios relevantes a pesar de

[8] G.M. Ingo, C, Riccucci. Thermochemical and microstructural study of $CaSO_4$ bonded investment as a function of the burnout process parameters. Santa Fe Symposium, may 2000, pag. 152

las diferentes temperaturas y tiempos de calentamiento, por lo que interpretamos que el método empleado para realizar las mediciones de permeabilidad, no era el adecuado a causa de la poca sensibilidad que presenta el permeámetro AFS cuando las medidas son menores a 10.

Algo importante que se obtuvo en las mediciones, fue la mayor pérdida en las probetas agitadas y sometidas al tratamiento térmico 8, siendo el mayor porcentaje de pérdida de peso 11,29%, lo que hace imperativo incluir agitación y variación de la relación de agua/yeso.

Con base a la relación de agua – yeso, el aumento de la permeabilidad en las probetas fue del 22% tal vez no se llegó al 37%, el cual era esperado, debido a errores humanos, como no emplear la adecuada técnica o no tomar el tiempo exacto de agitación. También puede ser que hubo errores en la toma del peso.

Los tratamientos térmicos 6, 7, 8 y 9 tuvieron modificaciones respecto a la materia prima seleccionada para la preparación de las probetas, ya que el yeso Diamante Kerr ha sido usado recientemente en el proceso de pre-engaste de gemas, por contar con las mismas características que el yeso SatinCast, y además permitir obtener una mayor permeabilidad, gracias a sus características que se observan en el anexo B.

El proceso disolución de la cera tiene como ventajas, el reciclaje de la cera con un alto porcentaje de recuperación (92,5%), además se tiene la disminución de la temperatura máxima del ciclo de calentamiento del revestimiento, con la cual se protege la gema de las elevadas temperaturas y así, se evita su daño, además tenemos como una última ventaja, la no contaminación por humos o vapores.

Durante el proceso de disolución de la cera se observó que las 2 láminas de cera, empezaron a diluirse al llegar a los 70°C en un tiempo de 10 min, a los 28 minutos desde que se inició el proceso se diluyeron completamente a 125°C y finalmente a las 5 horas disminuyo la ebullición de la cera quedando casi invisible.

**Figura 46. Etapas cronológicas del proceso de disolución de cera en glicerina.**

70°C - 10min

125°C - 28 min

128 °C - 5 horas

.

Fuente: Autores

En este proceso se observó un cambio en la tonalidad de la glicerina, esto se debe a que no es una cera natural, si no sintética la cuál debe tener pigmentación que desprende dicha coloración, cuando es sometida a una elevación en la temperatura.

En el microscopio HIROX no se pudieron obtener micrografías que revelaran la microestructura de las probetas, a pesar de que tiene aumentos, de 7000X. Esto se debe a que las probetas no son aptas para ser observadas en dicho microscopio

De acuerdo a las micrografías mostradas por la microscopia de barrido se puede observar partículas de sílice en una matriz porosa de agujas de sulfato de calcio. Ahora, en las micrografías que corresponden a las probetas sometidas a tratamiento térmico de 725°C la red de cristales aciculares se destruyen progresivamente debido a que tiene una temperatura más elevadas que las

micrografías de las probetas restantes que presentan una variación de tamaño, la forma de anhidrita parece más pequeña y menos aciculares.

Con respecto a la permeabilidad, se puede inferir de acuerdo al tamaño de poros observados en las micrografías que se obtiene un poro más grande al utilizar la agitación, con temperaturas bajas y tiempos de estadía largos.

## 9. CONCLUSIONES

- Al registrar y analizar los resultados obtenidos de las tomas de permeabilidad y densidad aparente se observa que las mejores mediciones de porcentaje de perdida haciendo referencia a la diferencia de peso, se presentaron en las probetas con agitación y cuya variación de agua/yeso corresponde a 42/100 de acuerdo con la literatura consultada.

- Experimentalmente se observó que el tratamiento térmico debe hacerse a una temperatura mayor de 500°C, ya que a una temperatura inferior no es posible el desmoldeo de las probetas de yeso y el vaciado de la cera no se completa ya que a esta temperatura sucede la transformación del cuarzo α a cuarzo β y toma lugar el conocido fenómeno de expansión.

- Los 2 tratamientos térmicos diseñados, tienen una temperatura máxima de 630°C.Pero el tratamiento que cumple con los objetivos propuestos, es el tratamiento número *8*, ya que posee una mayor permeabilidad.

- De acuerdo a los resultados obtenidos de las micrografías SEM correspondientes a los tratamientos térmicos 1, 8 y 9, se puede inferir que la microestructura varía al aumentar la temperatura ya que la red de cristales aciculares se destruyen. Con respecto a la permeabilidad, el tamaño de poro más grande que se observó pertenece a la micrografía de la probeta del tratamiento con agitación, relación de agua 42/100, investimento Diamante Kerr y temperatura máxima de calentamiento de 640°C.

## 10. RECOMENDACIONES

- Las permeabilidades tomadas mediante el permeámetro AFS no son sensibles para mediciones cuyos rangos son menores a 10, por lo tanto se hace necesaria la determinación de la densidad aparente registrando los pesos iníciales y finales de los tratamientos térmicos, sin embargo sería de ayuda valiosa la adquisición de un permeámetro exclusivo en joyería para la toma de los datos en los proyectos posteriores y así poder determinar la constante de permeabilidad con la ley de Darcy.

- Los resultados de permeabilidad pueden ser mejorados mediante el uso de aditivos y espumantes que permitan disminuir las temperaturas de colada en el proceso de microfundición, moldeo a la cera perdida.

- Se recomienda la selección de aleaciones con bajo punto de fusión que eviten la fisuración debido al choque térmico que puede sufrir la Esmeralda y la protección de la misma mediante untos.

- Se recomienda el uso de autoclave para mejorar la permeabilidad, bajo condiciones de presión y temperatura de 2at y 120°C respectivamente.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Carter. Ralph. “Does investment permeability impact jewelry castings?”., Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2004, p. 105-107.

[2] Carter. Ralph, “Effects of water quality and temperature on investment casting powders”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2004, p. 1

[3] Dessai. K., “Innovative lost wax investment casting technique”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2000, p. 193-195.

[4] Faccenda. V, Handbook of investment casting. Ed. Gold

[5] Ingo. G.M., C. Riccucci, “Thermochemical and microstructural study of caso4 bonded investment as a function of the burnout process parameters”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2000, p. 147-158.

[6] Ingo, G.M., “Thermal stability and chemical physical features of gypsum-bonded investment whit regard to burnout cycle”., Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2005, p. 255-271.

[7] McCloskey, John C.,” An evaluation of the permeability of a jewelry casting investment”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1999, p. 431-458

[8] McKeer. Ian, “Stone in place casting: the investment perspective”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 2004, p. 293-309.

[9] Menon. Ajit, “Casting gemstones in place”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1999, p. 69-81.

[10] Ott, Dieter, “Properties of investment”, Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology, 1988, p. 47-54.

[11] Schuster, Hubert., “Problems, causes and their solutions on stone in place casting process”. The 14th Santa Fe Symposium on Jewellery Manufacturing Technology, 2000.

[12] Wade, Suzzane., “Stone-in-place Casting: Has this casting technique revolutionized coloured stone pave setting?”. Setting the Standard.

[13] www.fundiart.com/novedad.html

[14] www.goldstarpowders.com

# ANEXOS

## Anexo A. Elaboración de probetas de yeso

Los pasos para la elaboración de 3 probetas de yeso con medidas según la norma AFS de 2" × 2" fue el siguiente:

Para las 3 probetas de yeso se pesó 550 g

El volumen durante el proceso fue una variable así que:

| **Volumen de agua [mL]** | |
|---|---|
| **Para una relación de 39mL de agua X100 g de yeso** | 214,5mL |
| **Para una relación de 42mL de agua X100 g de yeso** | 230,9mL |

## Anexo B. Ficha técnica del yeso Diamante Kerr

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

# SATIN CAST DIAMANTE

Investment Powder

## 1 - IDENTIFICATION

**Manufacturer:** KernLab
**Address:** 1717 West Collins Avenue
**City, State, Zip:** Orange, CA 92867
**Telephone:** 1-800-KERR-123
**24-Hour Emergency:** **Chemtrec 1-800-424-9300**
**International 1-703-527-3887**
**Date Prepared:** September 8, 2005

## 2 - COMPOSITION INFORMATION

**Hazardous Ingredients**

| | CAS# | PEL | TLV | % |
|---|---|---|---|---|
| Cristobalite | 14464-46-1 | 0.05mg/m$^3$ | 0.1mg/m$^3$ | 35-45 |
| Calcium Sulfate Hemihydrate | 7778-48-9 | 5mg/m$^3$ | 10mg/m$^3$ | 25-30 |
| Quartz | 14808-60-7 | 0.1mg/m$^3$ | 0.1mg/m$^3$ | 25-35 |

**Other Ingredients**
Sodium Tetraborate

## 3 - PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

**Boiling Point:** N/A
**Specific Gravity ($H_2O$ = 1):** 2.4
**Vapor Pressure (mm Hg):** N/A
**Melting Point:** N/A
**Vapor Density (AIR = 1):** N/A
**Solubility in Water:** Slightly soluble
**Appearance and Odor:** Off-white, odorless powder

## 4 - FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

**Flash Point (Method Used):** N/A
**Flammable Limits:** **LEL:** N/A **UEL:** N/A
**Extinguishing Media:** N/A
**Special Fire Fighting Procedures:** N/A
**Unusual Fire and Explosion Hazards:** N/A

## 5 - REACTIVITY DATA

**Stability:** Stable
**Conditions to Avoid:** None
**Incompatibility (Material to Avoid):** Hydrofluoric acid, in which silica will dissolve and produce the corrosive gas silicon tetrafluoride
**Hazardous Decomposition Products:** N/A
**Hazardous Polymerization:** Will not occur

## 6 - HEALTH HAZARD DATA

**Routes of Entry:**
**Skin:** May cause dry feeling on skin.
**Eyes:** May cause irritation.
**Inhalation:** Prolonged exposure to respirable crystalline silica may cause chronic lung injury (silicosis). Acute developing silicosis may occur in a short time in heavy exposure. Silicosis is a form of disabling pulmonary fibrosis which can be progressive and may lead to death. The International Agency for Research on Cancer (IARC) reports sufficient evidence of the carcinogenicity of crystalline silica to humans IARC Group 1. Kerr Manufacturing Company accepts no responsibility and disclaims all liability for harmful health effects and customers must comply with all applicable health and safety regulations relating to the safe handling of our silica-containing products.
**Ingestion:** Hardens when wetted and, if ingested, may result in an obstruction.
**Carcinogenicity -** **NTP:** No
**IARC Monographs:** Yes **OSHA Regulated Carcinogen:** Yes

## 7 - EMERGENCY FIRST AID PROCEDURES

**Skin:** Wash with soap and water. Use hand lotion.
**Eyes:** Wash eyes immediately with large amounts of water, lifting lower and upper lids occasionally. If irritation persists, get medical attention.
**Inhalation:** Move exposed person to fresh air at once.
**Ingestion:** Consult physician.

## 8 - PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING & USE

**Steps to be taken in case material is released or spilled:** Ventilate area of spill or release. Sweep up. Avoid unnecessary stirring or handling in order to prevent formation of dust.
**Waste Disposal Method:** Landfill
**Precautions to be taken in handling and storing:** Do not breathe dust. Keep container closed. Use according to directions.

## 9 - CONTROL MEASURES

**Respiratory Protection (Specify Type):** Use NIOSH-approved equipment. Also see ANSI Standard Z88.2-1980, "Practices for Respiratory Protection".
**VENTILATION**
**Local Exhaust:** Use sufficient local exhaust to reduce the level of respirable crystalline silica to the PEL.
**Mechanical (General):** May be sufficient
**Protective Gloves:** Gloves optional
**Eye Protection:** Eye goggles
**Other Protective Clothing or equipment:** N/A
**Work/Hygiene Practices:** Handle in accordance with good personal hygiene and safety practices. These practices include avoiding unnecessary exposure.

## 10 - TRANSPORTATION

Not DOT regulated.

## 11 - SPECIAL INFORMATION

**HMIS (Hazardous Material Identification System) Rating:**
H3 F0 R0
**[HMIS Index: 4 - Severe Hazard; 3 -Serious Hazard;**
**2 - Moderate Hazard; 1 - Slight Hazard; 0 - Minimum Hazard]**

**State RTK: California Proposition 65 Warning:** This product contains a chemical, crystalline silica, known to the state of California to cause cancer.