

**DISEÑO DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO PARA ELABORACIÓN DE
PIEZAS MEDIANTE FUNDICIÓN EN CERA PERDIDA EN EL PROGRAMA DE
INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES**

**ANGIE XIOMARA DUARTE TARAZONA
YONATHAN ANDRES SANCHEZ RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2019

**DISEÑO DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO PARA ELABORACIÓN DE
PIEZAS MEDIANTE FUNDICIÓN EN CERA PERDIDA EN EL PROGRAMA DE
INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES**

**ANGIE XIOMARA DUARTE TARAZONA
YONATHAN ANDRES SANCHEZ RODRIGUEZ**

**Modalidad: Práctica en Docencia
Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Metalúrgico**

**Director
ANDRÉS GIOVANNI GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
PhD EN INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño, dedico esta tesis a mis padres Ulises Duarte y Anny Tarazona quienes con mucho sacrificio, esfuerzo y empeño me ayudaron en mi formación profesional. A ellos por ser el centro y motor de mi vida, por acompañarme cada momento.

A mis hermanas Annie Carolina, Tatiana Sofía y María Angélica quienes son ese pedazo de vida que me llena de motivos para seguir luchando día a día por su bienestar.

A mi abuela Rosa María, mi segunda madre, por ser ese tesoro que me ha acompañado toda mi vida con luz propia y amor incondicional.

A mi tío Eric Tarazona, quien me inspiro a tomar esta decisión de ser Ingeniera Metalúrgica. A él toda mi admiración, amor y respeto.

Angie Xiomara Duarte Tarazona.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Floro Sánchez y Luz Herminda Rodríguez, en agradecimiento por toda una vida de apoyo incondicional, por el esfuerzo que han hecho por mí a lo largo de todo el tiempo transcurrido y el amor que siempre me han demostrado.

A mis hermanos Brayan David y María Fernanda, quienes son el motor de mi vida y me han incentivado de muchas formas a triunfar en mi camino.

A mis abuelos, por el amor y cuidado que han tenido desde mi crianza, siendo pilar de mi formación e inculcándome valores que hoy en día agradezco demasiado.

A mi novia Julieth Andrea por el amor brindado en tiempos difíciles e impulsarme a lograr cosas que me han hecho sentir orgullo personal.

Los amos de sobremanera, gracias por todo.

Yonathan A. Sánchez R.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Andrés González Hernández, por su tiempo, confianza y dedicación durante el transcurso del desarrollo de nuestro proyecto de grado.

A los técnicos de laboratorio de pirometalurgia y procesos de fundición, Ambrosio Carrillo y Mario Navarrete, por su colaboración y orientación al permitirnos el uso de las diferentes instalaciones y equipos.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos el conocimiento y los espacios necesarios para el progreso de nuestra vida profesional.

A nuestros familiares y amigos, quienes de una u otra manera aportaron al proceso de nuestra formación.

Xiomara Duarte y Yonathan Sánchez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....	17
2.1 GENERALIDADES DEL PROCESO POR FUNDICIÓN DE PRECISIÓN O CERA PERDIDA.....	18
3. METODOLOGÍA	21
3.1 SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS MODELOS DE PIEZAS PARA EL PROCESO DE FUNDICIÓN POR CERA PERDIDA.....	22
3.2 FABRICACIÓN DE MODELOS EN ACRÍLICO MEDIANTE CORTE LASER ..	23
3.3 FABRICACIÓN LOS MOLDES DE SILICONA, LOS MODELOS EN CERA Y LOS MOLDES CERÁMICOS (YESO).....	24
3.4. PROCESO DE FUNDICIÓN	30
4. RESULTADOS.....	35
5. CONCLUSIONES	45
6. RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Condiciones estipuladas por ensayo.	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas de la elaboración de una pieza mediante fundición a la cera perdida.....	20
Figura 2. Planos esquemáticos de las piezas seleccionadas	22
Figura 3. Modelos patrón elaborados en acrílico.	23
Figura 4. Pasos del proceso de fabricación del molde estándar.	25
Figura 5. Cera para moldear Agua Green de Freeman Flakes Wax.....	26
Figura 6. Proceso de obtención de modelos en cera y creación del árbol.....	27
Figura 7. Proceso de fabricación del molde cerámico en yeso.....	30
Figura 8. Aleación 985- Bronce, cinc bajo.	31
Figura 9. Horno de micro fundición Neutec J-2R.	32
Figura 10. Proceso de fundición y colada de micro fundición Neutec J-2R.	34
Figura 11. Evidencia de los defectos obtenidos en dos de las cuatro piezas finales.	36
Figura 12. Evidencia de los defectos obtenidos en las piezas finales.....	37
Figura 13. Piezas finales obtenidas en el tercer ensayo.....	38
Figura 14. Práctica de laboratorio de fundición por precisión o cera perdida con estudiantes del grupo de procesos de fundición.	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Ficha técnica del yeso Advantage Bandust de Ramson & Randolph. .49	
ANEXO B. Ficha técnica de la cera Freeman agua Green Flake Wax utilizada en el proceso.51	51
ANEXO C. Ficha técnica de la aleación 935- bronce-cinc bajo, utilizada en el proceso.52	52
ANEXO D. Ficha técnica de la silicona SMOOTH-ON/MOLD STAR™ 30.....53	53

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO PARA ELABORACIÓN DE PIEZAS MEDIANTE FUNDICIÓN EN CERA PERDIDA EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA METALÚRGICA*

AUTORES: Duarte Tarazona, Angie Xiomara**
Sánchez Rodríguez, Yonathan Andres

PALABRAS CLAVES: Cera perdida, fundición, laboratorio.

DESCRIPCIÓN: La fundición de precisión o cera perdida es uno de los procesos que aporta a diferentes métodos de producción piezas metálicas de alta calidad, siendo así una tecnología innovadora y causante de la disminución de técnicas de mecanizado en el acabo final de las piezas a fabricar. Su alta capacidad de adaptación a formas complejas y exactitud en detalles mínimos hace posible resultados fiables, repetibles y eficientes. En el siguiente trabajo se ve reflejado el desarrollo y la creación de una guía de laboratorio basada en la implementación de esta técnica, buscando la generación de aprendizaje práctico a estudiantes de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander que cursen la materia de “procesos de fundición”, de tal forma que sea un complemento al componente teórico. Fueron elaborados modelos en acrílico de las piezas requeridas y reproducidos en moldes de silicona buscando la optimización y fácil reproducción de modelos en cera necesarios para el desarrollo de la práctica. Fue preciso efectuar ensayos preliminares que permitieron conocer y estipular los tiempos, costos y materiales requeridos para evaluar la factibilidad de ejecución de la experiencia de laboratorio con los estudiantes que cursan la asignatura. El proceso de fundición fue realizado en un horno Neutec J-2R, el cual posee una cámara que, con ayuda de una bomba de vacío y la inyección de nitrógeno, permite la disminución significativa de defectos presentes en las piezas finales obtenidas. La instalación fácil y operación simple del proceso permitió la obtención de las piezas metálicas propuestas con resultados concluyentes satisfactorios para la elaboración de la práctica de laboratorio.

* Proyecto de grado (modalidad, práctica en docencia)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencia de Materiales. Director: PhD. Andrés Giovanni González.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A LABORATORY PRACTICE FOR THE PRODUCTION OF METALLIC PIECES BY LOST WAX IN THE PROGRAM OF METALLURGICAL ENGINEERING*

AUTHORS: Duarte Tarazona, Angie Xiomara **
Sánchez Rodríguez, Yonathan Andres

KEYWORDS: Lost wax, Melting, laboratory.

DESCRIPTION: The investment casting or wax lost process is one of the techniques that contributes to manufacturing of high-quality metal pieces' production, being so an innovative technology and causing the decrease of machining techniques in the final finish of the pieces. His high capacity of adaptation to complex shapes and accuracy in minimum details makes possible reliable results, repeatable and efficient. In the next work, it is reflected the developing and creation of a laboratory guide based on the implementation of the investment casting process, looking for the generation of practical learning to the students of metallurgical engineering of the Universidad industrial de Santander who study the subject of "processes of casting", in such a way that it is a complement to the theoretical component. Acrylic patterns of the required pieces were made and reproduced in silicon molds looking for the optimization and easy reproduction of wax patterns necessities for the development of the practice. It was precise to effect preliminary trials that allowed to know and stipulate the times, cost and materials required to evaluate the ease of execution of the laboratory experience with the students who study the subject. The investment casting process was carried out in a furnace Neutec J-2R, which has a camera that, with the help of a vacuum pump and nitrogen injection, allows the significant decrease of defects present in the final pieces. The easy installation and operation of the process allowed the obtention of the proposed metal pieces with satisfactory results for the laboratory practice.

* Degree project (modality in teaching practice).

** Faculty of Physico-chemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Adviser: Ph.D. Andrés Giovanni González

INTRODUCCIÓN

La fundición de precisión o por cera perdida es calificada como un procedimiento de fácil realización y repetición rápida para la fabricación de piezas metálicas y ésta ha sido considerada por muchos años como una de las técnicas más adecuadas para implementar en altas producciones de objetos y piezas metálicas complejas. Este método hace posible la transcripción de finos detalles en piezas de diversos tamaños (máximo aprox. 45 kg), disminuyendo el uso de técnicas de mecanizado y proporcionando acabados superficiales apropiados. El proceso consiste en cubrir un modelo de cera con un material refractario y un aglomerante de tal manera que se logre crear un molde cerámico con el negativo del modelo usado. Dicho modelo en cera será posteriormente evacuado con ayuda de temperatura mientras el material cerámico luego es sometido a diferentes tratamientos térmicos para lograr una buena resistencia en el momento de la colada del metal. Gracias a la obtención de modelos en cera con la forma exacta de las piezas requeridas mediante moldes elaborados en diversos materiales, es posible tener un control y una precisión dimensional de las piezas metálicas que se desean obtener.¹

La carencia de una práctica de laboratorio en la asignatura de procesos de fundición en el área de fundición por precisión o cera perdida es el motivo principal de la elaboración de este proyecto en la modalidad de “práctica en docencia”, de tal manera que se permita el desarrollo práctico de conocimientos visto en la parte teórica de la materia “procesos de fundición” en el programa de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander.

¹ MOSQUERA M., Héctor. Fundición de precisión. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902502.pdf>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una práctica de laboratorio para elaboración de piezas mediante fundición en cera perdida en el programa de Ingeniería Metalúrgica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el tiempo y la factibilidad de la realización de una práctica de laboratorio en la materia de “procesos de fundición” mediante ensayos preliminares con el fin de generar aprendizaje en la elaboración de piezas por medio de fundición a la cera perdida.
- Elaborar una guía para el posterior desarrollo de la práctica de laboratorio.

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES

La fundición por precisión o también conocida como fundición por cera perdida es un proceso de producción de piezas con buen acabado superficial y excelente precisión dimensional. Con este método de fundición se copia significativamente cada uno de los detalles y se minimiza el uso de diferentes técnicas de mecanizado. Tiene como ventaja que este puede ser ajustable a diversas geometrías y puede llegar a minimizar de una manera significativa el desperdicio del material metálico que será usado.²

Este tipo de proceso es uno de los más antiguos usados por la humanidad en piezas de distintos tamaños enfocándose en objetos pequeños como las de la industria de la joyería o la escultura. Ha sido utilizado por diferentes países como Egipto, China y Asia Menor en donde se fabricaron piezas fundidas en bronce para suplir artículos de uso cotidiano. Con el paso del tiempo y la evolución en la edad media las piezas provenientes del proceso de cera perdida han generado un impacto notable en objetos que expresan el arte combinado con técnicas modernas.³

Una proyección clara de lo que ha sido la evolución del proceso puede verse expresadas por diferentes artistas. En 1981, Kontzin relato que el proceso fue utilizado por varios siglos para la creación de piezas de joyería y arte encontradas en tumbas Incas de América Central/América del sur, en Europa y en los antiguos tesoros de los Faraones Egipcios. En el año 1983 el señor Taylor empleo el método de fundición por precisión para producir herramientas rudimentarias como lo son cabezas de armas. Finalmente, en 1988 Barnett hablo de que la fundición por cera perdida tuvo gran acogida en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial

² Ficha técnica de la cera Freeman Aqua Green Flake Wax. Disponible en: <http://www.freemanwax.com/pdfs/FreemanAqua.pdf>

³ Ficha técnica de la aleación 935- Bronce - cinc bajo. Disponible en: http://www.tecnoinsumos.com/FICHA_ALLOY_935_PARA_CASTING.pdf

porque con ella se pueden producir piezas con geometrías complejas como las turbinas y palas para los motores de los aviones. No obstante, cabe resaltar que se pueden fabricar piezas como turbocompresores, cabezales, implantes de reemplazo de cadera, entre otros.

Actualmente, en la industria de la fundición por precisión se presenta el uso de fibras orgánicas o poliméricas como un refuerzo a las capas cerámicas que se realizan durante el desarrollo del proceso. La presencia de estas capas simboliza una mayor cohesión y permeabilidad del producto cerámico. Sin embargo, a pesar de la efectividad que estas generan, no son muy usadas por su alto costo y por el representativo incremento monetario que adicionan al proceso. Por otro lado, existen investigaciones que demuestran que las propiedades de la cera se ven menos afectadas en el descerado cuando el procedimiento se realiza en un microondas en comparación al efecto que genera en las propiedades de la cera un descerado en un autoclave.⁴

2.1 GENERALIDADES DEL PROCESO POR FUNDICIÓN DE PRECISIÓN O CERA PERDIDA.

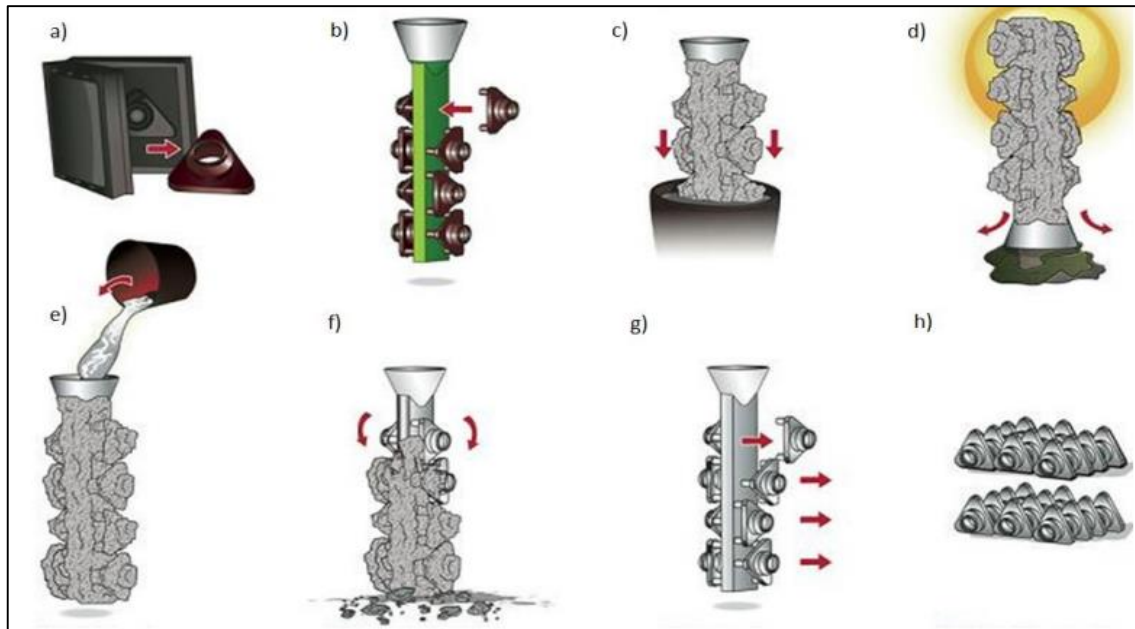
La realización de este proceso comienza creando un modelo en cera, el cual va a ser el reflejo exacto de la pieza metálica que se desea obtener. Dicho modelo es formado por la introducción de cera líquida a un molde generalmente de silicona, caucho vulcanizado o metal, el cual es poseedor de la forma exacta de la pieza a construir (Ver figura 1a). El proceso más común para obtener el modelo en cera es mediante una inyección de cera líquida a presión. Este modelo en cera debe poseer diferentes canales de alimentación, los cuales contribuirán al llenado del metal

⁴ Ficha técnica de Yeso advantage BANDUST de Ramson & Randolph. Disponible en: https://docs.wixstatic.com/ugd/cc5f22_c1df6fbb0f749d9b1cf3b775a97bcee.pdf

líquido en el molde durante el proceso de fundición. Para esto, se debe unir un eje de cera que será el centro de estabilidad y creación del “árbol” (Ver figura 1b). Posterior a esto, dicho árbol será sumergido en una mezcla compuesta por un polvo cerámico y un ligante (Ver figura 1c). Esta mezcla solidificará de una manera homogénea para continuar con el proceso y así poder introducir el molde cerámico en una estufa o autoclave, que, con ayuda térmica, permitirá la evacuación de la cera contenida en este (Ver figura 1d) y de tal forma se construirá el molde o cascará cerámica en verde. Posteriormente, esta cascará o molde cerámico será sinterizado para que adquiera buena resistencia mecánica en el momento de la colada. Según las características del metal, éste es fundido a una determinada temperatura y seguidamente es vertido dentro molde cerámico (figura 1e). Luego del proceso de solidificación, enfriamiento y retirada del molde o cascará cerámica, proporcionará como resultado un árbol metálico, del cual se extraerán las piezas finales deseadas una vez sea destruido el molde cerámico.⁵ (Ver figura 1f-g-h).

⁵ Escuela, “Fundición Protocolo,” Fac. Ing. Ind., vol. 2, pp. 1–31, 2008

Figura 1. Etapas de la elaboración de una pieza mediante fundición a la cera perdida.



(a) Molde para hacer el modelo en cera (b) Elaboración del árbol de modelos (c) Inmersión del árbol en pasta cerámica refractaria (d) Fusión del molde y evacuación de cera (e) Proceso de colada (f) Destrucción del molde cerámico (g) Desensamble de piezas metálica (h) Piezas individuales obtenidas.⁶

⁶ CFS. What is the investment casting?. July 4 of 2017, 2018. [Online]. Available: <http://www.investmentcastchina.com/what-is-investment-casting/>

3. METODOLOGÍA

La metodología del trabajo de grado en la modalidad de práctica en docencia, se basó principalmente en dos etapas. La primera fue la elaboración, consecución y puesta en marcha de todos los materiales y equipos para desarrollar la práctica de laboratorio y la segunda etapa se basó en la elaboración de la guía para dicha actividad. El objetivo fundamental de la primera etapa de la metodología fue evaluar los tiempos necesarios para determinar si se realizaba la práctica en una o varias sesiones de dos horas, lo cual está estipulado en el pensum del programa de Ingeniería Metalúrgica en lo que corresponde a la asignatura de “procesos de fundición”.

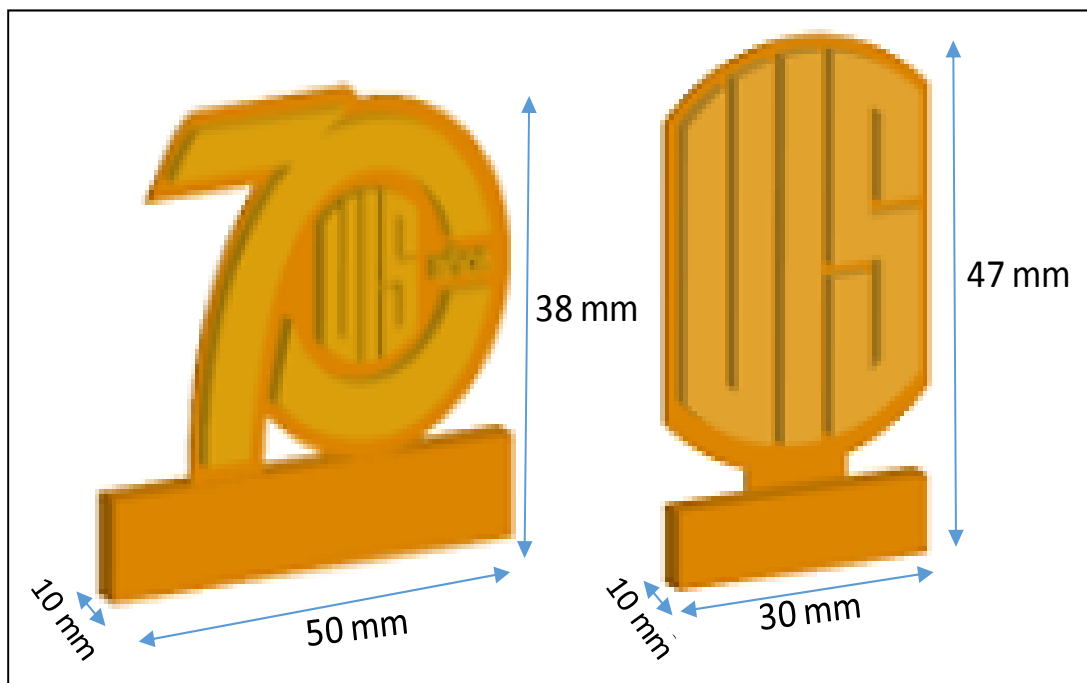
Inicialmente se deseaba realizar los moldes en cascaras cerámicas con materias primas de fácil adquisición a nivel nacional, sin embargo, no fue fácil la obtención de la sílice coloidal (uno de los elementos principales para este proceso). Se realizaron algunos ensayos usando SIKKA1 y SIKKA stabilizer, (elaborados por la empresa nacional SIKKA), los cuales son líquidos fabricados a base de sílice coloidal comúnmente utilizados en la industria de la construcción. Estos líquidos se probaron en varias concentraciones junto con arena fina (Sikafume) aplicando varias capas de la suspensión realizada a probetas de cera previamente obtenidas. El ensayo no demostró resultados satisfactorios debido a que en el secado del recubrimiento se presentaron agrietamientos que afectaban el desempeño funcional de la cascarilla. De esta manera, se decidió que para las prácticas de laboratorio se utilizaría yeso como elemento para la fabricación del molde cerámico, siendo este de fácil adquisición a nivel local, gracias a la fuerte industria joyera presente en la región.

A continuación, se describen las etapas del proyecto que corresponde a los procesos de la fabricación del modelo en cera, moldes en yeso y el proceso de fundición.

3.1 SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS MODELOS DE PIEZAS PARA EL PROCESO DE FUNDICIÓN POR CERA PERDIDA.

Para esta etapa fueron seleccionados dos logotipos (Figura 2) alusivos a la Universidad Industrial de Santander como muestras patrón para la realización de la práctica, teniendo presente que las dimensiones del modelo no superan los 50 mm x 30 mm x 10 mm (largo, ancho y profundidad respectivamente).

Figura 2. Planos esquemáticos de las piezas seleccionadas



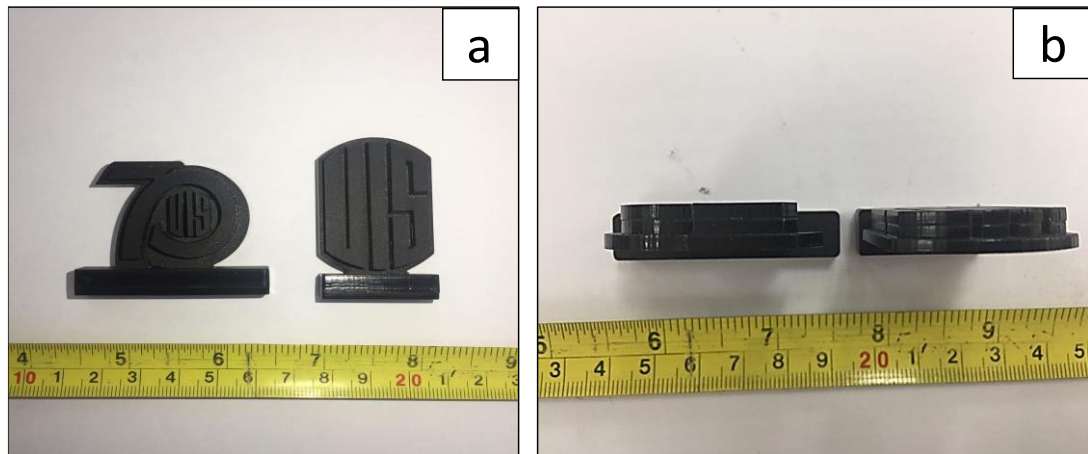
Se diseñaron las piezas de tal manera que su tamaño permitiera reproducir y ver con claridad los detalles mínimos que conlleva su geometría. Es preciso mencionar que se tuvo en cuenta el tamaño y capacidad del horno Neutec J-2R para micro

fundición, así como el enfoque de la práctica a piezas pequeñas con formas tanto simples como complejas.

3.2 FABRICACIÓN DE MODELOS EN ACRÍLICO MEDIANTE CORTE LASER

El modelo patrón (figura 3a) fue elaborado en acrílico mediante corte laser unificando láminas de 2.2 milímetros hasta obtener el grosor deseado (figura 3b). La fabricación de este modelo fue realizada por la escuela de diseño industrial de la Universidad Industrial de Santander, quienes se basaron en el plano general proporcionado.

Figura 3. Modelos patrón elaborados en acrílico. (



a) Modelos patrón elaborados en acrílico. (b) Vista superior de los modelos patrón en donde se muestra la unificación de las láminas de acrílico.

3.3 FABRICACIÓN LOS MOLDES DE SILICONA, LOS MODELOS EN CERA Y LOS MOLDES CERÁMICOS (YESO).

Cuando se busca fabricar moldes para el proceso de fundición de precisión se debe hacer uso de un material que sea resistente al calor debido a que en él se hará la colada de la cera fundida que proyectará una transcripción exacta de la pieza metálica que se desea obtener cuando esta solidifique. La silicona Mold Star™ 30 fabricada por la empresa Smooth-on brinda facilidad de uso gracias a su baja viscosidad, baja capacidad de contracción y a que no necesita ser sometida a técnicas de desgasificación para rendir con mayor eficiencia. Este tipo de silicona se prepara haciendo una mezcla homogénea de iguales cantidades de las partes que la componen (1A:1B por volumen) por un tiempo aproximado de dos minutos.

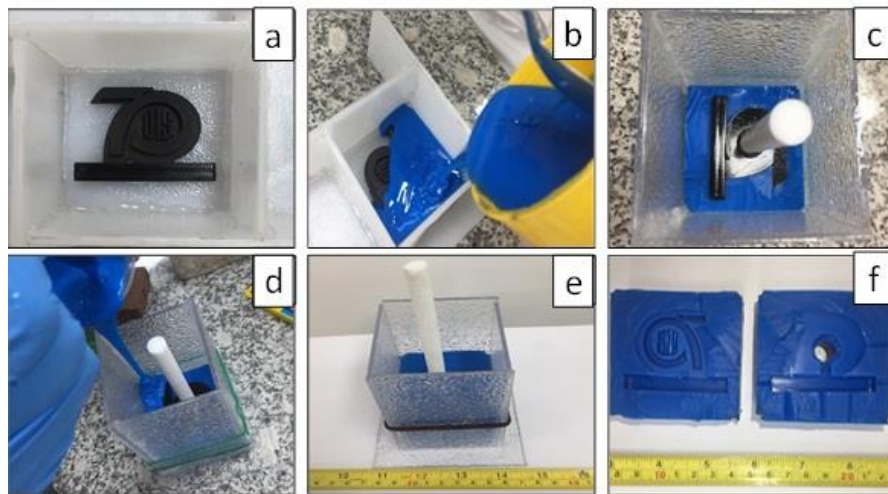
Los moldes fabricados en este tipo de silicona alcanzan a soportar una temperatura de hasta 232°C y sirven para hacer colada de yesos, resinas, ceras, entre otros. El vertido de la mezcla de silicona debe ser con un flujo uniforme debido a que este ayuda a minimizar la concentración de aire presente. Es recomendable dejar secar la silicona después de vertida por un tiempo mínimo de 6 horas para que solidifique de manera constante y sea más resistente a posibles desgarres (ficha técnica de la silicona en el anexo E).⁷

Como se mencionó, los moldes para elaborar los modelos en cera fueron hechos con silicona marca Smooth-on/Mold star™ 30. Para la fabricación de la tapa inferior del molde, se realizó el proceso mencionado anteriormente antes de verter en la caja contenedora del modelo patrón de acrílico (Figura 4a y 4b).

⁷ Smooth-On. Mold Star® 15, 16 y 30. [Online]. Available: https://www.smooth-on.com/tb/files/espanol/MOLD_STAR_SERIES_TB_Spanish.pdf

Posterior a esto, se fabricó la tapa superior del molde invirtiendo la posición del modelo en acrílico de tal manera que la silicona llenara la parte faltante e introduciendo una barra que actuaría como canal de alimentación al momento del vertimiento y elaboración del modelo de cera (Figura 4c y 4d). Este proceso fue necesario, ya que el laboratorio no contaba con una inyectora de cera. Al obtener un bloque de silicona (Figura 4e), fue necesario realizar un corte transversal que permitió un fácil desmonte de las piezas de cera a obtener (Figura 4f), así como fue necesario realizar algunos cortes que actuaron como canales para evacuación de gases y se garantizaran un llenado homogéneo y completo de la cera líquida dentro del molde de silicona.

Figura 4. Pasos del proceso de fabricación del molde estándar. (



a) Modelo patrón de acrílico. (b) Vertimiento para fabricación de tapa inferior. (c) Preparación para el vertimiento y fabricación de tapa superior con su respectivo bebedero. (d) Vertimiento para fabricación de tapa superior. (e) Curado de la silicona. (f) Molde estándar resultante cortado transversalmente.

Para la elaboración correcta de los moldes de cera usados en la realización del proceso se decidió usar un tipo de cera popular, comercial, y que proporcione estabilidad a las características que se requieran por cada pieza metálica que se vaya a elaborar. La cera Agua Green de Freeman Flakes (Figura 5) usada generalmente por diseñadores y fundidores cumple con los estándares necesarios. Es una cera con alta fluidez, vida útil y legibilidad, posee una contracción baja y tiene propiedades de flexibilidad, memoria y tiempo de solidificación medias (ficha técnica de la cera en el anexo C).⁸

Figura 5. Cera para moldear Agua Green de Freeman Flakes Wax.



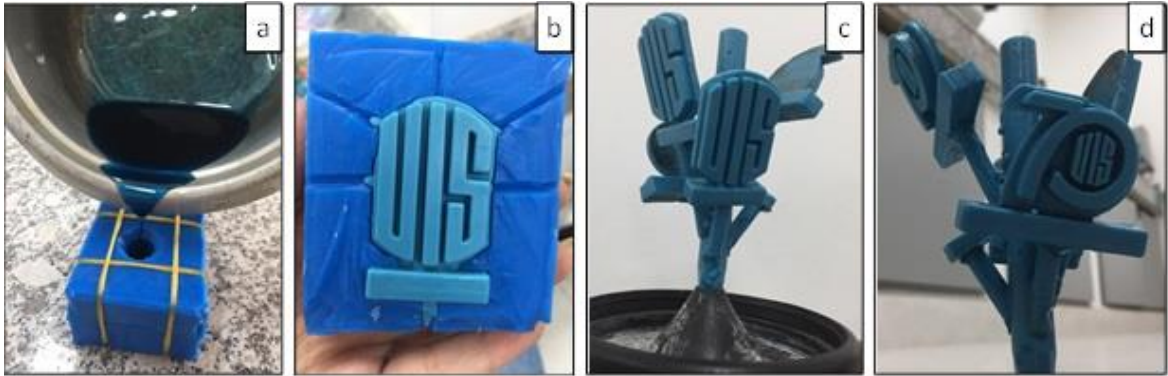
Para fabricar dichos los modelos en cera se pesaron 40 gramos de cera Aqua Green de “Freeman Flake Wax” que corresponden a la cantidad que se prevista en la manufacturación del eje central del árbol y los 2 modelos con sus respectivos canales de alimentación, los cuales son suficientes para la práctica. La cera fue fundida a 90°C por una hora y se vertió en los modelos estándar de silicona previamente unidos (figura 6a) y sellados con el fin de prevenir filtraciones que perjudiquen el resultado final del modelo en cera (Figura 6b).

En la formación del árbol de cera fue necesario hacer uso del equipo de pirograbado Piro-Wax. Se unieron los modelos en cera con los canales de alimentación preparados con anterioridad). Seguidamente fueron acoplados al eje central

⁸ F. M. & S. COMPANY. Freeman Aqua Green Flake Wax. 2018. [Online]. Available: <http://www.freemanwax.com/pdfs/FreemanAqua.pdf>

teniendo en cuenta que la posición de los modelos debe tener una inclinación aproximada de 30° con respecto al eje (Figura 6c y 6d).

Figura 6. Proceso de obtención de modelos en cera y creación del árbol.



(a) Vertido de cera líquida en el molde estándar de silicona. (b) Modelo de cera solidificada obtenido del molde estándar. (c) y (d) Árbol de cera fabricado.

Debido a que se consideró la posibilidad de utilizar dos métodos para la creación del recubrimiento refractario, se realizaron ensayos preliminares en donde se optó en primer lugar por la creación de una cascarilla cerámica y, en segundo lugar, el uso de yeso para joyería.

Para la formación de la cascarilla cerámica se ejecutaron inmersiones repetitivas en una mezcla creada entre polvo cerámico y ligante, buscando la formación de capas sucesivas y fusionadas entre sí. Se consideraron diferentes productos provenientes de la empresa nacional SIKA a base de sílice coloidal (Sika Stabilizer y Sika 1) y sílice fina (Sika fume), los cuales fueron sometidos a pruebas con distintas proporciones de dichas materias primas arrojando resultados no acordes con los

requerimientos necesarios para el desarrollo de la práctica, tal como se mencionó anteriormente.

Por otro lado, fue seleccionado el yeso advantage BANDUST de Ramson & Randolph como material para la fabricación del molde cerámico a utilizar, debido a que se obtuvieron resultados eficientes y satisfactorios en los ensayos realizados y en trabajos anteriores⁹. Este material es utilizado para la fundición de latón, plata y bronce siendo así confiable para usar con aleaciones que requieren un nivel de temperatura bajo para alcanzar su punto de fusión. Para hacer uso de este yeso de una manera apropiada y determinar la cantidad adecuada requerida es recomendado recurrir a una calculadora matraz dada por la empresa creadora del producto donde se debe registrar el diámetro y volumen del cilindro que contendrá la suspensión, de tal manera que esta arroje la cantidad tanto de yeso como de agua necesarios según sea la relación definida.

Para elaborar el molde se pesó 1 kilogramo de yeso advantage y se mezcló con 421.5 ml de agua (figura 7a y 7b). Esta proporción fue obtenida mediante la calculadora suministrada por la empresa Ramson & Randolph productora del material. La mezcla se realizó adicionando de manera lenta y con agitación mecánica constante en una mezcladora durante 2 minutos de tal forma que esta quede completamente homogénea y se evite la creación de grumos de yeso que posteriormente puedan llegar a generar inconvenientes en el desarrollo normal del proceso (figura 7c). Posteriormente, la suspensión obtenida fue llevada a una cámara de vacío para ser desgasificada y prevenir la formación de imperfecciones indeseadas que puedan intervenir durante el llenado del metal líquido en el yeso una vez endurecido. La desgasificación es visualmente notoria al observar un burbujeo en la superficie de la suspensión. Una disminución de dicho burbujeo indica una desgasificación satisfactoria. Luego, se vertió la suspensión en un cilindro

⁹ BOHÓRQUEZ RODRÍGUEZ, Diana Lizeth. Elaboración de piezas metálicas a partir del proceso de cera perdida e impresión 3D. 2018

metálico previamente sellado (figura 7d) y se repitió la desgasificación para garantizar una homogeneidad interior de la suspensión (figura 7e). Se dejó solidificar el yeso en el cilindro durante 30 minutos.

Finalmente, se realizó un tratamiento térmico al molde cerámico de yeso para asegurar su correcto funcionamiento al momento de realizar la colada del metal líquido.

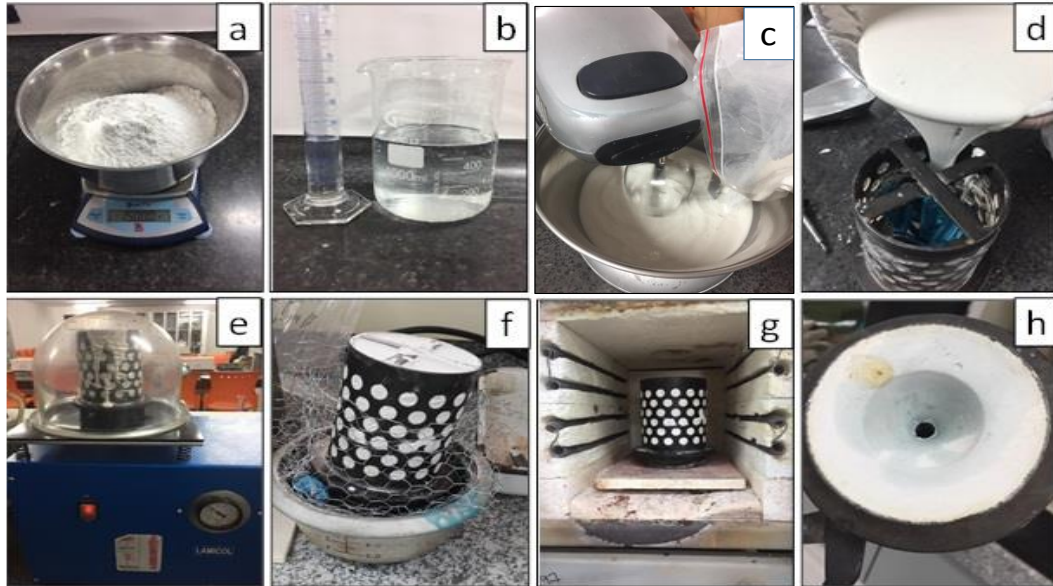
El tratamiento térmico estaba compuesto de¹⁰:

- Descerado: 3 horas a 150° C en la estufa.
- Transición térmica: 2 horas a 370° C en el horno tipo mufla.
- Sinterizado: 3 horas a 750° C en el horno tipo mufla.
- Reducción y estabilización: 2 horas a 550°C en el horno tipo mufla.

Se realizaron las rampas de temperatura aumentando de 100°C máximo y manteniendo por al menos 15 minutos antes de seguir con la siguiente rampa. El molde se mantuvo en el horno hasta el momento de la colada. En el anexo B se observa la ficha técnica del yeso Advantage BANDUST.

¹⁰ RANSOM & RANDOLPH. Application Instructions ADVANTAGE™ BANDUST™ Investment. 02-20-18, 2018. [Online]. Available: https://docs.wixstatic.com/ugd/cc5f22_c1df6fbbe0f749d9b1cf3b775a97bcee.pdf

Figura 7. Proceso de fabricación del molde cerámico en yeso



(a) y (b) Proporción de yeso y agua utilizados en el proceso. (c) Mezclado de la suspensión de yeso. (d) Vertido de la suspensión de yeso en el cilindro casting con árbol de cera en su interior. (e) Desgasificación de la suspensión en la cámara de vacío. (f) Montaje del cilindro casting para desecado en estufa. (g) Cilindro casting en horno tipo mufla para proceso de tratamiento térmico del molde en yeso. (h) Molde de yeso después de tratamiento térmico.

3.4. PROCESO DE FUNDICIÓN

Para este proceso fue utilizada la aleación 935-Bronce cinc bajo (Figura 8) granulada, también conocida como CDA 876 de color amarillo posee una densidad de 7.96 g/cm^3 . Para su fundición, requiere una temperatura de 1010°C cuando se trata de piezas pesadas y una temperatura de 1090°C para piezas livianas (ficha técnica en el anexo D). Cabe resaltar que este tipo de aleación tiene una

reciclabilidad de 70% y copia de una manera precisa los detalles de las piezas a obtener.¹¹

Figura 8. Aleación 985- Bronce, cinc bajo.

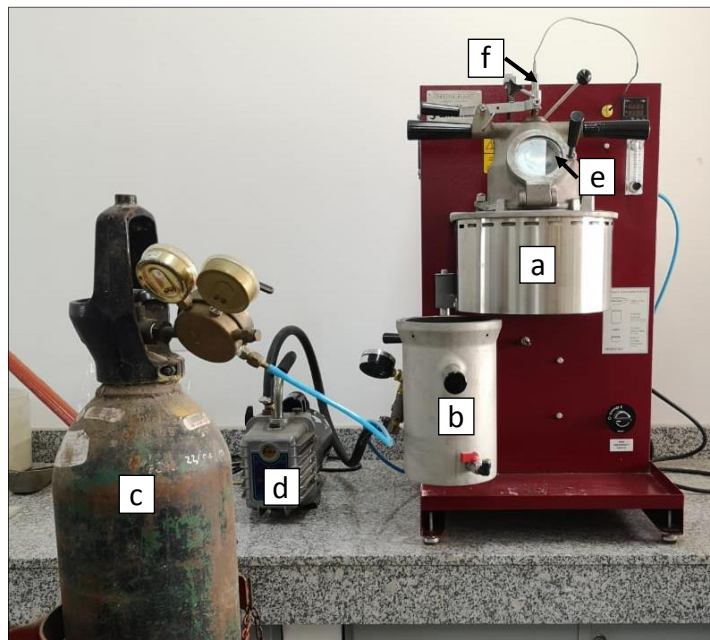


Existe una gran variedad de equipos utilizados en el proceso de fundición por cera perdida, los cuales difieren en tamaño, capacidad, montaje, y demás factores que se deben tener en cuenta al momento del diseño de las piezas requeridas. El horno Neutec J-2R (Figura 9) utilizado en la práctica, es altamente utilizado en la industria joyera gracias a su fácil montaje, tiempos de precalentamiento y fundición cortos, así como resultados finales de alta calidad en la fabricación piezas de tamaños reducidos. La presencia de un crisol de grafito en el horno, junto con la capacidad de proporcionar al proceso una atmosfera de vacío, disminuye la cantidad de defectos al impulsar una eliminación de gases adecuada y evitar generaciones de óxidos en las piezas metálicas. El horno además posee un diseño en forma de bobina de larga duración con una resistencia que rodea el crisol alcanzando una temperatura máxima de 1204°C en lapsos cortos. Esto estimula una rápida

¹¹ Herramientas e Insumos. Liga 935 de casting. 2018. [Online]. Available: http://www.tecnoinsumos.com/FICHA_ALLOY_935_PARA_CASTING.pdf

transferencia de calor proporcionando tiempos de fusión estipulados entre 6 y 8 minutos según sea la cantidad y tipo de material a fundir. Adicionalmente, el horno arroja resultados que pueden ser repetibles con facilidad gracias a su operación simple.¹²

Figura 9. Horno de micro fundición Neutec J-2R.



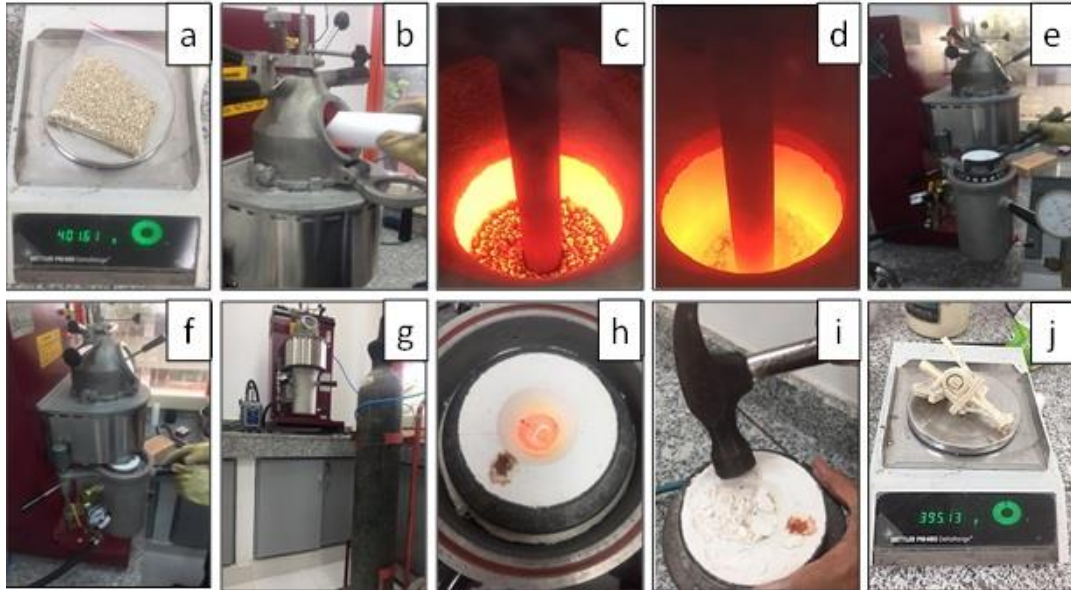
(a) resistencias térmicas y crisol de grafito en el interior, (b) cámara de vacío, (c) cilindro de nitrógeno, (d) bomba de vacío, (e) ventanilla de visión al crisol, (f) termocupla.

Antes de culminar el tratamiento térmico del molde del yeso, fue necesario precalentar este horno 60 minutos a 200°C para luego el horno Neutec J-2R llegara a una temperatura 1130°C (Temperatura próxima a la recomendada para piezas

¹² GRANDE- NEUTEC, R. J-2R Serie IV. 2014, 2018. [Online]. Available: <https://www.riogrande.com/product/neutec-j-2r-casting-machine-ce-certified/710040ce>

livianas según la ficha técnica del material a fundir. Ver anexo E) y mantener por lo menos 15 minutos. Se calculó el peso de aleación necesario para el proceso de fundición (Figura 10a) buscando evitar el derrame de metal líquido fuera del molde de yeso. El cálculo de la carga a adicionar, se hizo considerando la densidad de la aleación y el volumen del árbol de cera, siendo el mismo del espacio comprendido en el molde de yeso una vez evacuada la cera. Esta cantidad de aleación se introdujo en el crisol de grafito del horno Neutec J-2R con ayuda de un dispensador de metal hecho en teflón (figura 10b). El tiempo de fusión total de la aleación metálica fue de aproximadamente 8 minutos. Durante este lapso de fusión, fue preciso abrir la válvula del cilindro de nitrógeno previamente acoplado al horno Neutec J-2R para evitar la oxidación del metal en estado sólido y líquido. Una vez terminado el tratamiento térmico del molde de yeso, este fue inmediatamente trasladado hacia la cámara de vacío del horno, se cerró dicha cámara herméticamente y se procedió al encendido de la bomba de vacío (figura 10e-f-g). Seguidamente se realizó el proceso de colada del metal líquido en el molde de yeso accionando la barra selladora de grafito que actúa como tapón del crisol, de tal manera que pasara el metal líquido a la cámara de vacío. Posteriormente se extrajo del horno el cilindro con el metal colado en su interior (figura 10h) y se dejó enfriar por 30 minutos antes de proceder con la destrucción del molde de yeso para extraer el árbol metálico obtenido. El proceso de extracción del árbol metálico fue manual y con ayuda de agua. Finalmente, se realizó el pesaje del árbol metálico buscando conocer la cantidad de material perdido durante el proceso (figura 10j).

Figura 10. Proceso de fundición y colada de micro fundición Neutec J-2R.



(a) Pesaje en gramos de la aleación a fundir. (b) introducción de la aleación en la cámara de fusión con dispensador de metal hecho en teflón. (c) Aleación sin fundir en la cámara de fusión. (d) Aleación fundida en la cámara de fusión. (e) Introducción del cilindro casting con el molde de yeso tratado térmicamente. (f) Cierre hermético de la cámara de vacío del horno Neutec J-2R con cilindro casting en su interior. (g) Montaje general de los equipos utilizados: bomba de vacío; horno Neutec J-2R; cilindro con nitrógeno. (h) Aleación colada en molde de yeso. (i) Destrucción del molde en yeso. (j) Pesaje del árbol metálico obtenido.

4. RESULTADOS

Se desarrollaron tres ensayos para la obtención de piezas metálicas variando condiciones que determinaron el acabado final de las piezas obtenidas. Las características de los ensayos son mostradas en la Tabla 1. De esta manera, se observó que el vacío externo en el momento de elaborar el molde de yeso es de importancia para la fabricación de piezas con mejores acabos superficiales, pues pueden quedar aire atrapado entre el modelo de cera y el yeso.

Tabla 1. Condiciones estipuladas por ensayo.

# DE ENSAYO	CANTIDAD MODELOS	CONTIDAD YESO (g)	CANTIDAD AGUA (ml)	VACIO EXTERNO	VACIO EN HORNO
1	4	1500	632,23	NO	SI
2	2	1100	463,63	SI	NO
3	4	1500	632,23	SI	SI

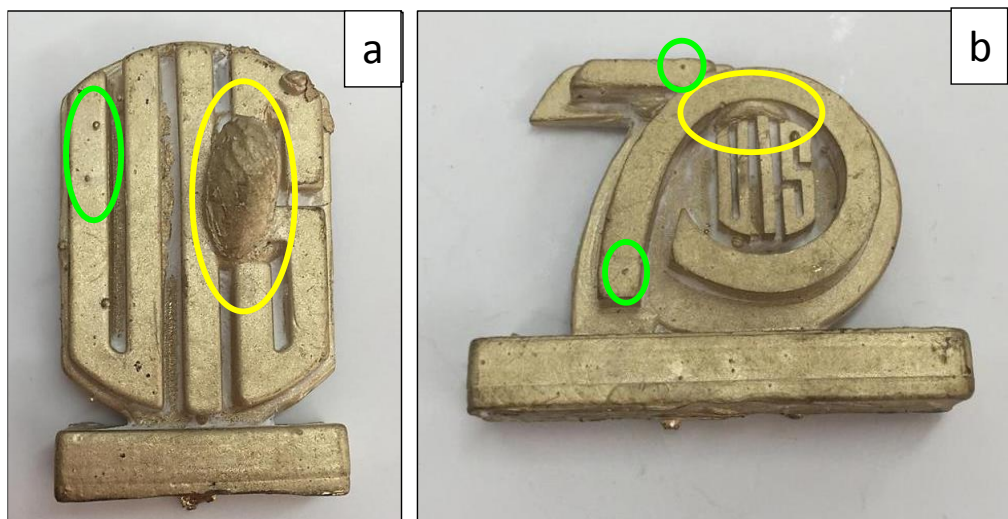
A continuación, se especifican los ensayos y sus resultados.

- **Ensayo 1:**

Se fabricó un árbol de cera con 4 modelos (2 logos UIS y 2 logos 70 UIS) el cual tuvo un peso total de 42,06 gramos de cera incluyendo el eje central y los canales de alimentación. La suspensión de yeso no fue sometida a un vacío en la cámara especial buscando observar el resultado de las piezas finales haciendo uso único y exclusivo del vacío generado por la bomba adaptada a la cámara del horno Neutec J-2R. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 11a y 11b. En esta, se evidencian defectos notorios en las piezas metálicas que comprenden aparentes filtraciones del metal líquido en el molde de yeso señalados en color amarillo, así

como abultamientos locales en la superficie de la pieza destacados en color verde. Estos últimos pueden ser efecto de las pequeñas burbujas de aire que quedaron comprimidas en el momento de verter el yeso líquido al cilindro metálico, sin aplicar el vacío en mención a la suspensión de yeso.

Figura 11. Evidencia de los defectos obtenidos en dos de las cuatro piezas finales.



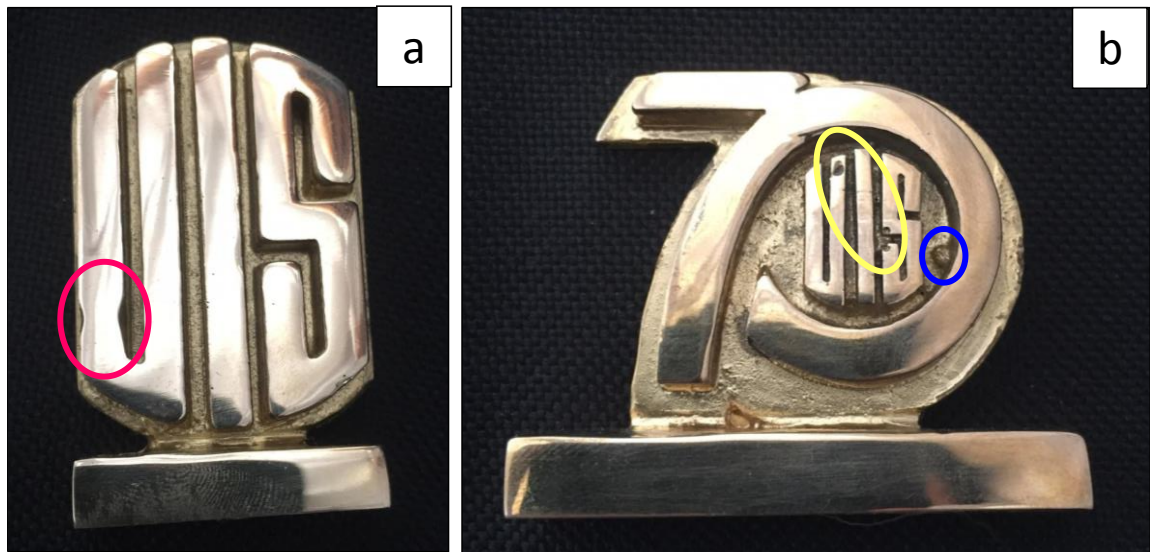
(a) Y (b) Logo UIS y Logo 70 UIS en el primer ensayo.

- *Ensayo 2:*

Para el desarrollo de este ensayo se elaboró un árbol de cera con dos modelos (1 logo UIS y 1 logo 70 UIS) con un peso total de 29,06 gramos de cera contando los canales de alimentación y el eje central. En este caso, se realizó vacío externo a la suspensión de yeso depositada en el cilindro metálico en una cámara de vacío. En esta, se observó el burbujeo de la suspensión, el cual refleja la salida de aire atrapado dentro del cilindro metálico. Como experiencia aprendida, el tamaño del cilindro metálico utilizado en este ensayo no tenía las medidas estándares acordes

con la cámara de vacío que dispone el horno Neutec J-2R (diámetro externo más pequeño), de esta manera en el momento de la colada, no fue posible realizar un vacío total al molde de yeso. Las piezas finales presentaron mejores resultados que las obtenidas anteriormente mostrando un acabado superficial homogéneo. Sin embargo, se observaron irregularidades geométricas (resaltado en color fucsia, figura 12a) y abultamientos puntuales en zonas profundas (resaltado en color azul, figura 12b). Se evidenció una porosidad (resaltado en color amarillo, figura 12b) leve en uno de los logos, la cual se hizo notoria después de la implementación de técnicas mecánicas que aportaron al embellecimiento superficial.

Figura 12. Evidencia de los defectos obtenidos en las piezas finales



(a) Y (b) Logo UIS y Logo 70 UIS en el segundo ensayo.

- *Ensayo 3:*

En el tercer ensayo realizado se consideró un árbol de cera con cuatro logos (2 logos UIS y 2 logos 70 UIS) este tenía un peso total de 42,02 gramos incluyendo los canales de alimentación y su eje central. En este caso, la suspensión de yeso fue

sometida a vacío externo en la cámara de vacío y se utilizó un cilindro metálico de un tamaño adecuado para la cámara del horno Neutec J-2R, lo que conllevó a la realización de un vacío óptimo durante la colada. Las piezas finales obtenidas demostraron los mejores resultados en comparación con los dos ensayos anteriormente realizados debido a que no presentan irregularidades significativas (figura 13a-b-c-d).

Figura 13. Piezas finales obtenidas en el tercer ensayo.



(a) Y (b) Logo UIS, (c) y (d) Logo 70 UIS.

De acuerdo a los tiempos evaluados, se elaboró la guía del laboratorio de “procesos de fundición”. Para evaluar la efectividad de dicha guía, se realizó un ensayo con el laboratorio de procesos de fundición el día martes 29 de enero de 2019 y viernes 1

de febrero de 2019 a las 4:00 de la tarde. En esta actividad, se le entregó a cada estudiante la guía mencionada buscando que inicialmente se trabajaran los objetivos propuestos. El primer paso a seguir fue explicar las generalidades del proceso de cera perdida, luego se explicó la fabricación del modelo en acrílico, el molde de silicona, los modelos de cera y el molde de yeso. Antes del precalentamiento del horno Neutec J-2R se mostraron sus partes y su uso en el proceso. Finalmente se realizó el proceso de fundición tal y como se describió anteriormente en la metodología. Es importante mencionar, que para esta única práctica se elaboraron con un día de anterioridad, el árbol con los modelos en cera, el molde de yeso y el tratamiento térmico de dicho del molde yeso para que estuviera listo para el momento de la colada y la práctica. El resultado final del proyecto de grado, se ve reflejado en la guía de laboratorio mostrada a continuación:

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN
ELABORACIÓN DE PIEZAS METÁLICAS MEDIANTE FUNDICIÓN DE
PRECISIÓN O CERA PÉRDIDA

PRACTICA No. 8

INTRODUCCIÓN

El proceso de fundición de precisión o cera perdida tiene como objetivo obtener piezas fundidas con excelente precisión dimensional y alta calidad superficial de tal manera que la implementación de técnicas de mecanizado se disminuya. En esta práctica de laboratorio, se usa un horno de micro fundición (Neutec J-2R), el cual tiene una fácil instalación y operación simple, dando paso a la obtención de piezas metálicas con resultados fiables y de control preciso. Estas piezas son obtenidas libres de óxidos y de defectos gracias a un sistema compuesto por un crisol de grafito protegido por una atmosfera carente de oxígeno (N₂ o Ar) que ayuda a evitar la oxidación del metal líquido que pueden llegar a generar inclusiones no deseadas.

OBJETIVO GENERAL

Obtener una pieza metálica por medio del proceso de fundición de precisión por cera perdida haciendo uso de herramientas, equipos y materiales necesarios para su elaboración.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar la fabricación de los modelos en cera por medio de los moldes en silicona proporcionados, así como la construcción del respectivo árbol de cera.
- Explicar la fabricación del molde de yeso especialmente su proceso de preparación, fraguado, descerado y sintonización siguiendo los tratamientos térmicos establecidos.

- Reconocer las diferentes partes del horno Neutec J-2R y la función que cumple en el proceso.
- Elaborar las piezas metálicas deseadas mediante el horno J-2R utilizado en el proceso de fundición y colada del metal en el molde de yeso obtenido.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Moldes elaborados en silicona (Smooth-on/Mold star™ 30)
- Cera para elaboración de modelos (Freeman Aqua Green Flake Wax)
- Equipo de pirograbado Piro-Wax
- Yeso (Advantage BANDUST de Ramson & Randolph)
- Mezcladora
- Cámara de vacío LAMICOL
- Estufa
- Horno tipo mufla
- Aleación 935- Bronce, cinc bajo
- Horno J-2R para fundición de precisión
- Silicona en spray Simoniz

PROCEDIMIENTO

Todos los procedimientos mencionados a continuación deben ser acompañados por el Profesor del laboratorio y el técnico encargado.

A) Preparación de los modelos en cera y construcción del árbol en cera

1. Pesar 40 gramos de cera Freeman Aqua Green Flake Wax dentro de un recipiente metálico e introducirlo en la estufa a 90°C durante una hora.
2. Preparar el molde en silicona proporcionado en el laboratorio para el posterior vertimiento de la cera líquida. Colar dicha cera dentro del molde en silicona con velocidad constante y dejar enfriar por 15 minutos. Realizar este paso las veces necesarias según la cantidad de modelos requeridos.

3. Elaborar el árbol de cera con sus respectivos canales de alimentación haciendo uso del equipo de pirograbado. Considerar el tamaño del cilindro a utilizar teniendo en cuenta que los modelos deben ubicarse con una inclinación de 30° con respecto al eje central o bebedero.

B) Elaboración del molde en yeso

1. Pesar 1,5 kilogramo de yeso Advantage BANDUST de Ramson & Randolph. Adicionar el yeso de manera lenta a 632,25 ml de agua evitando la formación de grumos mientras se mezcla la suspensión en la batidora durante 2 minutos. Esta cantidad está relacionada con el volumen del cilindro metálico donde se va a elaborar el molde
2. Ubicar la suspensión obtenida en la cámara de vacío con el fin de desgasificar la mezcla hasta observar un burbujeo causado por acción del vacío.
3. Verter la suspensión en el cilindro previamente sellado y repetir el paso 2.
4. Dejar fraguar la suspensión de yeso por 30 minutos al aire libre.
5. Preparar el cilindro con el molde de yeso en verde para el tratamiento térmico.
 - Descerado: 3 horas a 150° C en la estufa
 - Transición térmica: 2 horas a 370° C en el horno tipo mufla
 - Sinterizado: 3 horas a 750° C en el horno tipo mufla
 - Reducción y estabilización: 2 horas a 550°C en el horno tipo mufla.

NOTA: Realizar las rampas de temperatura suavemente. Aumentar de a 100° C y mantener por 15 minutos antes de realizar la siguiente rampa. Estas rampas fueron tomadas de la ficha técnica del yeso.

C) Proceso de fundición

1. Pesar 260 gramos de aleación 935- Bronce, cinc bajo. Antes de comenzar el proceso de fundición, precalentar el horno J-2R a 200°C durante 20 min y luego elevar la temperatura de manera progresiva hasta una temperatura de 100

grados sobre el punto de fusión de la aleación, es decir, 1130°C según la ficha técnica del fabricante.

2. Una vez alcanzada la temperatura, abrir la válvula de paso del cilindro de nitrógeno para generar una atmosfera inerte e introducir los 260 gramos de aleación 935-Bronce-cinc bajo, pesada anteriormente de manera controlada. Se debe esperar a que la aleación este totalmente fundida para realizar la colada. Este proceso tiene una duración de aproximadamente 15 minutos.
3. Una vez terminado el tratamiento térmico del yeso, el técnico toma el molde de yeso junto con el cilindro y lo ubicará en la cámara de vacío del horno. Sellar adecuadamente el sistema y accionar la bomba de vacío. Para realizar el proceso de colada de la aleación fundida abrir el paso de la barra de grafito que actúa como tapón.
4. Retirar el cilindro de la cámara de vacío del horno J-2R y dejar enfriar por 30 minutos.
5. Extraer el árbol metálico del molde de yeso con ayuda de agua.
6. Realizar los procedimientos de corte necesarios para la obtención de la pieza metálica fabricada.

TEMAS DE CONSULTA

- Fundición de precisión o cera perdida.
- Horno de micro fundición J-2R
- Video ilustrativo sobre la preparación de los moldes en silicona Smooth-on/Mold star™ 30. Disponible en: <https://www.smooth-on.com/products/mold-star-30/>
- Video del proceso de fundición de precisión o cera perdida a escala industrial. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ifwcOsciBHw>
- Video anillo mariposa, tallado de cera y revestimiento, Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=v6eH5ado-8w>
- Video anillo mariposa 2, metamorfosis. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=FhWHhjWb7wk>

- Video anillos de oro. Disponible en:
<https://www.youtube.com/watch?v=CrUL7Rhe7oE&feature=youtu.be>

CUESTIONARIO

1. ¿Qué influencia tiene el tipo de cera utilizada para la creación de modelos?
2. ¿Qué influencia tiene la temperatura de fusión de la cera en la fabricación de los modelos?
3. ¿En que favorece la acción de vacío durante el proceso de obtención de las piezas metálicas?
4. ¿Por qué es necesario el tratamiento térmico realizado al molde en yeso?

En la figura 14, se muestra una evidencia de la actividad realizada con los estudiantes.

Figura 14. Práctica de laboratorio de fundición por precisión o cera perdida con estudiantes del grupo de procesos de fundición.



5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la metodología desarrollada, se concluyó que:

- Se realizó con éxito una guía práctica para el laboratorio de la asignatura procesos de fundición que permite la adquisición y la profundización de conocimientos prácticos proporcionando un acercamiento significativo al proceso de fundición de precisión o cera perdida como complemento a las bases teóricas recibidas.
- Es indispensable el uso de una cámara de vacío, puntualmente en la preparación del molde cerámico de yeso para garantizar un acabado superficial de calidad, evitando la presencia de burbujas entre la suspensión de yeso y el árbol de cera que perjudica el resultado final del proceso, como se pudo observar en el ensayo 3.
- Con los productos de la empresa nacional SIKA, utilizados inicialmente para la fabricación de una cascara cerámica empleada en el proceso de cera perdida, no arrojaron buenos resultados a pesar del contenido de sílice coloidal en su composición. Para realizar una práctica con este tipo de material, se debe importar la sílice coloidal para dicho proceso.

6. RECOMENDACIONES

Se proponen algunas recomendaciones mediante las cuales tanto el proceso como la práctica mejorarían de manera significativa.

- Es necesario el uso de un equipo inyector de cera automatizado con el fin de agilizar el proceso al evitar el relleno por vertido y garantizar el relleno total de los moldes de silicona, mediante lo cual se aportaría una precisión geométrica más óptima.
- Para el proceso de tratamiento térmico del molde cerámico de yeso, es recomendable hacer uso de un horno programable, mediante el cual sea posible realizar las rampas de temperatura de forma automática.
- La guía práctica de laboratorio se elaboró partiendo del molde en silicona proporcionado, en un lapso de 2 horas tal y como está establecido en el pensum académico. Sin embargo, se recomienda una extensión a 8 horas (4 practicas) con un tiempo adicional de trabajo independiente del estudiante en el cual se realice el proceso totalmente de la siguiente manera:
 1. Selección, diseño e impresión del modelo patrón (2 horas presenciales + 2 horas de trabajo independiente para la impresión en 3d).
 2. Elaboración del molde en silicona (2 horas).
 3. Fabricación de los modelos en cera, su respectivo árbol y molde en yeso (Dos horas presenciales para elaboración de modelos y vertimiento de yeso en el cilindro metálico).
 4. Tratamiento térmico del molde en yeso, fundición y colada del metal, destrucción del molde y acabados finales (2 horas de trabajo independiente antes de la práctica de colada).
- Se recomienda tener en cuenta el uso de implementos de seguridad tales como guantes, tapa bocas, gafas industriales y zapatos cerrados.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR GALEA, J. A. La microfusión de cascarilla cerámica: una técnica adecuada para la reproducción en bronce de piezas arqueológicas TT - Microfusion of ceramic shells: a technique for the reproduction of archaeological pieces in bronze. *Antiq.* (Museo Histórico Munic. Priego Córdoba), vol. 16, no. 16, pp. 151–163, 2004.

BOHÓRQUEZ RODRÍGUEZ, Diana Lizeth. Elaboración de piezas metálicas a partir del proceso de cera perdida e impresión 3D. 2018.

CFS. What is the investment casting?. July 4 of 2017, 2018. [Online]. Available: <http://www.investmentcastchina.com/what-is-investment-casting/>

ESCUELA. Fundición Protocolo. *Fac. Ing. Ind.*, vol. 2. 2008. pp. 1–31,

F. M. & S. COMPANY, “Freeman Aqua Green Flake Wax,” 2018. [Online]. Available: <http://www.freemanwax.com/pdfs/FreemanAqua.pdf>.

Ficha técnica de la aleación 935- Bronce - cinc bajo. Disponible en: http://www.tecnoinsumos.com/FICHA_ALLOY_935_PARA_CASTING.pdf

FREEMANWAX. Ficha técnica de la cera Freeman Aqua Green Flake Wax. Disponible en: <http://www.freemanwax.com/pdfs/FreemanAqua.pdf>

GRANDE-NEUTEC, R. J-2R Serie IV. 2014, 2018. [Online]. Available: <https://www.riogrande.com/product/neutec-j-2r-casting-machine-ce-certified/710040ce>

HERRAMIENTAS E INSUMOS. “Liga 935 de casting,” 2018. [Online]. Available: http://www.tecnoinsumos.com/FICHA_ALLOY_935_PARA_CASTING.pdf.

MOSQUERA, H. Fundición de precisión. Ing. e Investig., vol. 24, pp. 33–38, 1991

PATTNAIK, S.; KARUNAKAR, D. B. and JHA, P. K. “Developments in investment casting process - A review,” J. Mater. Process. Technol., vol. 212, no. 11, pp. 2332–2348, 2012.

QUISAGUANO, C. Estudio de las reacciones de la intercara cera cerámico y su Influencia en los acabados en las piezas en bronce obtenidas por el método a la cera perdida y, obtención de la imagen de la mascota de la ingeniería mecánica en bronce por el mismo método. 2010.

RANSOM & RANDOLPH, “Application Instructions ADVANTAGE™ BANDUST™ Investment,” 02-20-18, 2018. [Online]. Available: https://docs.wixstatic.com/ugd/cc5f22_c1df6fbbef749d9b1cf3b775a97bcee.pdf

SMOOTH-On. Mold Star® 15, 16 y 30. [Online]. Available: https://www.smooth-on.com/tb/files/espanol/MOLD_STAR_SERIES_TB_Spanish.pdf.

ANEXOS

ANEXO A. Ficha técnica del yeso Advantage Bandust de Ramson & Randolph.

APPLICATION INSTRUCTIONS

ADVANTAGE™ BANDUST™ Investment

1. Weigh the required amount of ADVANTAGE BANDUST investment. To determine the proper amount of water and powder to use per flask, use the online flask calculator located at www.ransom-randolph.com or calculate the volume of your flask ($V = \pi r^2 h$) and multiply by the appropriate factor in the chart below.

	W:P 38/100		W:P 39/100		W:P 40/100		W:P 41/100		W:P 42/100	
	Per in ³ volume	Per cm ³ volume	Per in ³ volume	Per cm ³ volume	Per in ³ volume	Per cm ³ volume	Per in ³ volume	Per cm ³ volume	Per in ³ volume	Per cm ³ volume
Investment Needed										
Grams	21.0	1.28	20.7	1.26	20.4	1.25	20.1	1.23	19.8	1.21
Pounds	0.05		0.05		0.04		0.04		0.04	
Ounces (Weight)	0.74		0.73		0.72		0.71		0.70	
Water Needed										
Grams	8.00	0.49	8.10	0.49	8.20	0.50	8.20	0.50	8.30	0.51
Pounds	0.02		0.02		0.02		0.02		0.02	
Fluid Ounces	0.28		0.29		0.29		0.29		0.29	
2. Measure or weigh the required amount of water (1 g = 1 ml, 1 fluid oz = 29.6 ml) and place in mixing bowl.


Note: changes in temperature affect working time, to reduce variations, water and powder temperatures should be held to 72°F-75°F (22°C-24°C). Working time is defined as the time the powder is added to the water to the time the investment becomes thick.

Note: deionized water is recommended to maintain consistency of the working time.
3. Always add the preweighed quantity of investment to water. Adding the water to the powder will make it difficult to mix and will affect the working time.
4. Wet out the powder with a mixing paddle or a wire whip. This should take no more than 30 seconds.

Note: if using a vacuum investment mixing unit, mix with no vacuum on slow speed until the powder is completely wetted (approximately 1 minute).
5. Mix with mechanical mixer for 3 minutes. Good mixing is important to activate essential ingredients that make the investment perform to its fullest potential.

Note: if using a vacuum investment mixing unit, start vacuum, increase mixing speed and mix for an additional 3 minutes.
6. Place the mixed investment in a vacuum chamber and apply enough vacuum to cause a rapid boil. The investment should be vacuumed until it rises and breaks. Do not exceed 2 minutes. If a longer time is required, the vacuum pump may be undersized, there may be an air leak or the vacuum system may be in need of repair.
7. Pour the vacuumed investment into and down the side of the flask. Avoid pouring it directly over the patterns to prevent wax pattern breakage. Fill flask at least 1" (2.54 cm) over pattern.

Note: if using a vacuum investment mixing unit, pour the investment down along the inside of the flask allowing it to flow up, around, through and over the top row of patterns.



RANSOM & RANDOLPH
 Maumee, OH 43537 USA
 Toll Free: 800.800.7496
 Phone: 419.865.9497
 Fax: 419.865.9997
www.ransom-randolph.com
 Issue Date: 022018 / Replaces: 101917

Investing with Innovation™

ADVANTAGE™ BANDUST™ Investment

8. Vacuum the invested flask about 1½ minutes. Vibrating or tapping the flask during this operation will assist in releasing air bubbles from the pattern/investment interface. Release vacuum and fill the flask to the top of the metal edge. Do not overflow.
Note: if using a vacuum investment mixing unit, after flasks are filled, continue to vacuum for 1½ to 2 minutes. Vibration may be applied, if available.
9. Immediately transfer the invested flask to a vibration free storage area. It is extremely important not to disturb the flask during the gloss-off phase as well as during the initial hardening process.
10. To achieve appropriate green strength, allow the investment to sit undisturbed (bench cure) for 2-6 hours.
Note: if bench cure will exceed 6 hours, maintain moisture by rewetting, covering with a wet cloth and sealing in a plastic bag. This will reduce potential cracking of molds due to uneven drying.
11. After bench curing for 2-6 hours, remove the sprue base and investing collar.
12. Ideally, flasks should be loaded into a burnout oven, preheated to 300°F (150°C), button side down. Flasks should be elevated at least 1" (2.54 cm) above oven floor to allow proper air circulation and wax drainage. Do not place flasks too close to the heat source or to each other.
Note: if loading into a cold oven, 300°F (150°C) temperature must be reached as fast as possible.
13. If steam dewax is used, transfer the flasks immediately from dewax into an oven preheated to 300°F (150°C). Do not allow flasks to stand at room temperature for more than 10 minutes.
14. Follow the wax burnout schedule suitable for your application.
Note: wax burnout schedules described are recommendations. Adjustments may be required for various furnace types, flask sizes and oven loading.

Wax Burnout Schedule				
		Flask size: up to 3" x 3" (7.6 cm x 7.6 cm)	Flask size: up to 4" x 6" (10.2 cm x 15.2 cm)	Flask size: up to 4" x 8" (10.2 cm x 20.3 cm)
Water Removal	Ambient to 300°F (150°C) as fast as possible (can be preheated)	Hold 1 hour	Hold 3 hours	Hold 3 hours
Thermal Transition	Raise to 700°F (370°C)	Raise over 1 hour Hold 1 hour	Raise over 2 hours Hold 2 hours	Raise over 2 hours Hold 2 hours
Pattern Removal	Raise to 1350°F (730°C)	Raise over 2 hours Hold 2 hours	Raise over 2 hours Hold 2 hours	Raise over 3 hours Hold 3 hours
	Reduce to casting temperature and allow for stabilization	Hold 1 hour	Hold 2 hours	Hold 2 hours

Note: refer to the mold casting temperatures recommended by your alloy supplier.



RANSOM & RANDOLPH
 Maumee, OH 43537 USA
 Toll Free: 800.800.7496
 Phone: 419.865.9497
 Fax: 419.865.9997
 www.ransom-randolph.com

Issue Date: 022018 / Replaces: 101917

Investing with Innovation™

ANEXO B. Ficha técnica de la cera Freeman agua Green Flake Wax utilizada en el proceso.



Technical Data Sheet

Freeman Aqua Green Flake Wax

Description

This all-purpose injection wax is our most popular formula, as it provides the ideal balance of characteristics demanded by most designers and casters. Freeman Aqua offers excellent flow and flexibility for injecting intricate molds. It features minimal shrinkage for injecting larger molds and is also recommended for stone-in-place casting.

Physical Properties

Color	Aqua
Ring & Ball Softening Point (°F)	158 (+/-6)
Injection Temperature (°F)	160
Congealing Temperature (°F)	141
Flash Point (°F)	465
Hardness (Shore D)	32
Specific Gravity	0.9 (+/-0.05)
Ash Content	0.009%
Viscosity (cps)	
@ 170°F	231
@ 160°F	289
@ 150°F	395

Ordering Information


SKU	Description	Size	Net wt.
118176	Freeman Flakes Wax – Aqua Green	1 LB	1 LB

The user shall determine the suitability of this product for their application and assumes all risks and liabilities associated with the use of this product. The exclusive remedy for all proven claims is replacement of our materials only and in no event shall Freeman Mfg. & Supply Co. be liable for special, incidental, or consequential claims.

READ SAFETY DATA SHEETS AND PRODUCT LABELS BEFORE USING PRODUCT

ANEXO C. Ficha técnica de la aleación 935- bronce-cinc bajo, utilizada en el proceso.

**IMPORTADOR MAYORISTA DE
HERRAMIENTAS Y PRODUCTOS
PARA LA INDUSTRIA DE LA JOYERIA**



LIGA 935 DE CASTING

El Nombre de la liga:	935 – Bronce, Cinc bajo.
Nombres comunes:	CDA 876, Herculoy.
Descripción general:	Muy fluida con detalles buenos.
Color:	Amarillo
Densidad:	7.96 g/cm3 o .302 lb/cu3
Líquides:	1790F 977c
Vaciado:	Fundición puede hacerse en cualquier atmósfera. No use Flux. La temperatura del vaciado para las piezas pesadas debe ser a 1850f (1010C) y para las piezas más livianas a 2000F (1090c). Ésta es una aleación de encogimiento alto que requiere unos árboles generosos. Esta Liga es muy fluida y da unos detalles buenos.
Temperatura del frasco:	Dependiendo de las partes pero como punto de partida 1100f serían para anillos con detalles de 3 dw. 950f para los anillos pesados para hombres.
Tiempo del templado:	25 minutos después de vaciar. No temple demasiado pronto.
Encurtiendo:	Un removedor de revestimiento o un equivalente deben usarse. Calentar no es necesario y apropiada seguridad con guantes y gafas debe llevarse.
Reusabilidad:	Se recomienda un radio de 30% fresco, 70% reciclado. No es necesario volver a granular.

Ofina Norte Calle 119 No. 7-54 Tel: 6120606 Fax 6120506
Oficina Centro Calle 12 No 6-19 Tel: 3423691 / 7423938 / 2813682 www.tecnoinsumos.com
Email: info@tecnoinsumos.com / atencionalcliente@tecnoinsumos.com

ANEXO D. Ficha técnica de la silicona SMOOTH-ON/MOLD STAR™ 30.

Mold Star® 15, 16 y 30

Cauchos de Silicona de Platino



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Los cauchos **Mold Star**® son siliconas de platino fáciles de usar, que se mezclan 1A:1B en volumen (no se necesita balanza). Las siliconas **Mold Star**® presentan viscosidades relativamente bajas y no se necesita desgasificación al vacío para la mayoría de las aplicaciones. El tiempo de empleo útil de **Mold Star**® 15 SLOW (lento) es de 50 minutos y el tiempo de endurecimiento es de 4 horas a temperatura ambiente. **Mold Star**® 16 FAST (rápido) es un material más rápido con un tiempo de empleo útil de 6 minutos y un tiempo de endurecimiento de 30 minutos. **Mold Star**® 30 es un material más duro, de una dureza Shore 30A.

Las siliconas **Mold Star**® se endurecen para formar cauchos blandos y fuertes resistentes al desgarro y con muy baja contracción a largo plazo. Los moldes fabricados con **Mold Star**® durarán más tiempo en su biblioteca de moldes y resultan útiles para vaciar cera, yeso, resinas, concreto y otros materiales. El caucho **Mold Star**® endurecido es resistente al calor hasta los 450 °F (232 °C) y sirve para vaciar aleaciones de metales de baja fusión. **Nota: Los cauchos Mold Star**® no están diseñados para aplicar a brocha.

Nota: Este producto no se endurece en superficies que contienen azufre, aunque estén selladas.

RESUMEN TÉCNICO

	Viscosidad Mixta (ASTM D-2393)	Densidad Relativa (g/cc) (ASTM D-1475)	Volumen Específico (cu. in./lb.) (ASTM D-1475)	Tiempo de Empleo Útil (ASTM D-2471)	Tiempo de Endurecimiento	Dureza Shore A (ASTM D-2240)	Resistencia a la Tracción (ASTM D-412)	Módulo 100% (ASTM D-412)	Alargamiento a la Ruptura % (ASTM D-412)	Resistencia al Desgarro Matriz B (ASTM D-624)	Color
Mold Star® 15 SLOW	12,500 cps	1.18	23.5	50 min.	4 horas	15A	400 psi	55 psi	440%	88 pli	Verde
Mold Star® 16 FAST	12,500 cps	1.18	23.5	6 min.	30 min.	16A	400 psi	55 psi	440%	88 pli	Azul-Verde
Mold Star® 30	12,500 cps	1.12	24.7	45 min.	6 horas	30A	420 psi	96 psi	339%	88 pli	Azul

Proporción de Mezcla: 1A:1B en volumen

Contracción (in./in.) (ASTM D-2566): < .001 in./in.

Rango de Temperatura Útil: -65°F a 450°F (-53°C a 232°C) *Todos los valores se miden a los 7 días a 73 °F/23 °C

RECOMENDACIONES PARA PROCESAMIENTO

PREPARACIÓN... Seguridad - Utilizar en un lugar con buena ventilación (del tamaño del ambiente). Utilizar gafas de seguridad, mangas largas y guantes de goma para minimizar el riesgo de contaminación. Usar únicamente guantes de vinilo. Los guantes de látex impiden que se endurezca el caucho. **Almacenar y utilizar el material a temperatura ambiente (73 °F/23 °C).** Temperaturas mayores disminuyen radicalmente el tiempo de trabajo y de endurecimiento. Almacenarlo a temperaturas superiores también disminuirá el período de conservación del material sin utilizar. Estos productos tienen un período de conservación limitado y deben utilizarse lo antes posible.

Inhibición del endurecimiento: El caucho de silicona de endurecimiento por adición puede verse inhibido por ciertos contaminantes del diseño que se moldea, lo cual puede producir una superficie pegajosa o directamente impedir que se endurezca el molde. El látex, las arcillas a base de azufre, ciertas superficies de madera, el caucho recién vaciado de poliéster, epoxi o uretano pueden provocar inhibición. Si le preocupa la compatibilidad entre el caucho y la superficie, se recomienda realizar una prueba a pequeña escala. Aplique una pequeña cantidad de caucho en un área del diseño que no sea central. La inhibición del caucho se da cuando aparece gomoso o sin endurecer transcurrido el tiempo de endurecimiento recomendado. Un buen método para prevenir la inhibición es aplicar una o más capas de laca acrílica transparente a la superficie del modelo. Deje secar por completo cualquier sellador antes de aplicar el caucho.

Aun con sellador, las siliconas Mold Star® no se endurecen en superficies que contienen azufre. Si no está seguro de si la arcilla contiene azufre, haga una pequeña prueba de compatibilidad antes de la utilización en un proyecto importante.

Aplicación del desmoldante: Aunque por lo general no es necesario, un desmoldante facilitará el desmolde en la mayoría de las superficies. Ease Release® 200 es un desmoldante de eficacia comprobada para despegar silicona de silicona u otras superficies. Puede solicitar los productos Ease Release® de Mann a Smooth-On o a su distribuidor de Smooth-On.

Dado que no hay dos aplicaciones idénticas, en caso de duda se recomienda realizar una pequeña prueba de aplicación para determinar si el rendimiento de este material es el apropiado.

Su Seguridad Primero!

Antes de utilizar este o cualquier producto de Smooth-On, lea la ficha de datos de seguridad (FDS) correspondiente, que puede obtener de Smooth-On a pedido. Todos los productos de Smooth-On resultan seguros si se leen y siguen detenidamente las instrucciones.

Mantener fuera del alcance de los niños

CUIDADO: Evite el contacto con los ojos. Los polímeros de silicona por lo general no irritan los ojos, pero es posible una leve irritación momentánea. Enjuagar los ojos con agua durante 15 minutos y consultar al médico. Quitar de la piel con un desinfectante para manos sin enjuague y luego agua y jabón. Los niños no deben usar este producto sin la supervisión de un adulto.

IMPORTANTE: La información de este boletín se considera exacta. Sin embargo, no hay garantía expresa ni implícita respecto de la exactitud de los datos, los resultados que se obtienen de su uso ni de que dicho uso no viole ninguna patente. El usuario debe determinar el grado en que el producto resulta adecuado para la aplicación prevista y asume todo riesgo y responsabilidad en este sentido

MEDIR Y MEZCLAR...

Medir y Mezclar - Antes de comenzar, premezcle por separado las partes A y B. Tras aplicar las cantidades necesarias de las partes A y B en el recipiente de mezcla (1A:1B en volumen), **mezcle bien raspando los costados y el fondo del recipiente varias veces**. El caucho debería tener un color uniforme sin vetas.

Optativo... Desgasificación al vacío: Aunque no es necesaria, la desgasificación al vacío ayuda a quitar el aire atrapado en el caucho de silicona. Tras mezclar las partes A y B, exponga el material al vacío durante 2-3 minutos con 29 pulgadas de mercurio, cuidando de dejar suficiente espacio en el recipiente para que se expanda el producto.

VERTIDO, ENDURECIMIENTO Y RENDIMIENTO...

Vertido - Para lograr resultados óptimos, vierta la mezcla en un único sitio en la parte inferior del campo de contención. Deje que el caucho busque su propio nivel. **Un flujo uniforme permitirá minimizar el aire atrapado**. Si se utiliza como material de molde, el caucho líquido debería emparejarse como mínimo a 1/2" (1,3 cm) por sobre el punto más alto de la superficie del modelo.

Endurecimiento: Deje que **Mold Star® 15 SLOW** se endurezca durante **4 horas** a temperatura ambiente (73 °F/23 °C) antes de desmoldar. **Mold Star® 16 FAST** puede desmoldarse al cabo de **30 minutos** a temperatura ambiente (73 °F/23 °C). Deje que el caucho de silicona **Mold Star® 30** se endurezca durante **6 horas** a temperatura ambiente (73 °F/23 °C) antes de desmoldar.

Termoendurecimiento: El tiempo de desmolde puede reducirse aplicando calor moderado. **Ejemplo:** Tras verter **Mold Star® 16** a temperatura ambiente, coloque el molde en una caja caliente o en un horno industrial a 140 °F (60 °C). Así, el tiempo para desmoldar una sección de 1/2" (1,3 cm) de espesor se reduce a unos 10 minutos. **Nota:** El tiempo varía según el espesor del molde.

Agregar una cantidad adecuada del acelerador de endurecimiento **Plat-Cat®** también reduce el tiempo de desmolde (véanse detalles en el boletín técnico de **Plat-Cat®**, en www.smooth-on). El tiempo de empleo útil y el de endurecimiento pueden alargarse con el retardador de endurecimiento **Slo-Jo®** (véanse detalles en el boletín técnico de **Slo-Jo®**, en www.smooth-on). No deje endurecer caucho a temperaturas inferiores a los 65 °F/18 °C.

Rendimiento y almacenamiento del molde: La vida útil técnica del molde depende de cómo se utiliza (los materiales vaciados, la frecuencia, etc.). Los materiales abrasivos como el concreto pueden erosionar rápidamente los detalles del molde, mientras que el vaciado de materiales no abrasivos (cera) no afecta los detalles. Antes de almacenar el molde, límpielo con una solución jabonosa y séquelo por completo. Los moldes en dos (o más) partes deben ensamblarse. Los moldes deben conservarse sobre una superficie pareja en un ambiente fresco y seco.



Llámenos a Cualquier Hora Si Tiene Preguntas Sobre Su Aplicación

Número Gratuito: (800) 381-1733 Fax: (610) 252-6200

El nuevo sitio www.smooth-on.com abunda en información sobre la fabricación de moldes, vaciado y más.