

**DISEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS GUÍAS DEL LABORATORIO DE LA
ASIGNATURA PROCESOS DE FUNDICIÓN DEL PROGRAMA INGENIERÍA
METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**MÓNICA IRENE PRADA MANTILLA
ELVIA PAOLA VARGAS PABÓN**

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

2017

**DISEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS GUÍAS DEL LABORATORIO DE LA
ASIGNATURA PROCESOS DE FUNDICIÓN DEL PROGRAMA INGENIERÍA
METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**MÓNICA IRENE PRADA MANTILLA
ELVIA PAOLA VARGAS PABÓN**

Trabajo de grado optar al título de Ingeniero Metalúrgico

Directores:

ANDRÉS GIOVANNI GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

PhD. En Ingeniería

HUBER ALEXANDER ANAYA PALENCIA

Ingeniero Metalúrgico

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

2017

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos que han sido un apoyo incondicional en esta etapa de formación.

A las personas con quienes he compartido durante mí paso por la universidad, que de una manera u otra me han apoyado, enseñado y guiado.

Mónica Irene Prada Mantilla

A Dios, por estar siempre conmigo dándome la fuerza necesaria y la vitalidad para la realización de mis metas.

A mi familia por el apoyo. A mis padres Rubén Vargas y Yamile Pabón por haberme dado el apoyo necesario y su amor incondicional, ellos fueron el motor principal de este logro. A mis hermanos Edward Vargas y Rubén Vargas por sus enseñanzas y compañía.

A mi novio Diego, por su compañía y amor incondicional. Gracias por estar conmigo en todo el transcurso de mi carrera y querer siempre que sea mejor persona.

A todas las personas de la comunidad UIS que hicieron parte de mi proceso de formación.

Gracias.

Elvia Paola Vargas Pabón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Director Andrés Giovanni González Hernández, por su ayuda y compromiso en el desarrollo de este proyecto.

Agradecemos al docente Jaime Alberto González González por la colaboración y acompañamiento en el análisis del proyecto

Agradecemos a Oscar Martínez Ramírez y Mario Navarrete, Técnicos del laboratorio de Procesos de Fundición de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales, por su colaboración y acompañamiento en todas las prácticas realizadas.

Agradecemos al Dr. Fabio Raúl Pérez Villamil encargado del laboratorio procesos de fundición de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por el préstamo del horno de inducción, la amabilidad, acompañamiento y supervisión prestada durante la estadía en esta Universidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES	16
1.1 LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN	17
1.1.1 Horno de inducción	17
1.1.2 Horno de crisol	17
1.1.3 Horno cubilote	18
1.1.4 Espectrómetro de emisión de chispa (composición química)	18
1.1.5 Toma de durezas	19
1.1.6 Ensayo de tracción	19
1.1.7 Ensayo de flexión	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 PRÁCTICA N° 1. NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO.	23
4.2 PRÁCTICA N° 2. IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE MANERA RÁPIDA.	24

4.3. PRÁCTICA 3. ESTUDIO DEL CUBILOTE Y CONSTRUCCIÓN DE LA PIQUERA Y SOLERA	27
4.3.1 Parte 1 y parte 2	27
4.4. PRÁCTICA 4. FUNDICIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS EN EL HORNO CRISOL (MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)	29
4.5. PRACTICA 5º. FUNDICIÓN DE ACERO EN EL HORNO DE INDUCCIÓN (MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)	30
5. CONCLUSIONES	31
6. RECOMENDACIONES	32
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	33
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología experimental.....	21
Figura 2. Prueba de chispa a un acero	25
Figura 3. Materiales a los cuales se les realiza la prueba de viruta en el laboratorio de procesos de fundición	26
Figura 4. Horno cubilote ubicado en planta de aceros.....	28

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. GUÍAS DEL LABORATORIO DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE FUNDICIÓN DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	37

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS GUÍAS DEL LABORATORIO DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE FUNDICIÓN DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES: Prada Mantilla, Mónica Irene y Vargas Pabón, Elvia Paola**

PALABRAS CLAVES: Procesos de fundición, horno de inducción, guías del laboratorio, modernización.

DESCRIPCIÓN:

Los procesos de fundición en Colombia han continuado teniendo un gran avance tecnológico en la última década y esto se puede evidenciar en los procesos y equipos que se utilizan actualmente en las empresas y en las universidades dedicadas a la fundición de diferentes metales. Este proyecto de grado parte de un análisis de los equipos existentes como los hornos cubilote y el horno crisol, los cuales se encuentran en el laboratorio procesos de fundición de la Universidad Industrial de Santander evidenciando que se deben realizar modernizaciones en la infraestructura del laboratorio de tal forma que se adquieran nuevos equipos y se modernicen las prácticas existentes. Esto conllevará al mejoramiento y la fomentación del avance tecnológico del laboratorio, especialmente en el programa de ingeniería metalúrgica de la UIS. Es importante que en la formación de los ingenieros metalúrgicos tengan una experiencia académica tangible en los laboratorios de la universidad y con este motivo se estudió en esta tesis de grado el diseño de nuevas guías y la modernización de las prácticas existentes en el laboratorio. De la misma forma, se diseñó una guía enfocada a la fundición de aceros en el horno de inducción, con el objetivo que el estudiante adquiera habilidad en este campo y pueda aprender el funcionamiento de estos procesos a escala de laboratorio, creando una visión más real de su vida laboral y de los procesos que se emplean hoy en día en las industrias.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directores: PhD. Andrés Giovanni González Hernández, Ing. Huber Alexander Anaya Palencia

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND MODERNIZATION OF THE LABORATORY GUIDES FOR THE FOUNDRY PROCESSES SUBJECT FROM THE METALURGICAL ENGINEERING AND MATERIAL'S SCIENCE PROGRAM IN THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*

AUTHORS: Prada Mantilla, Mónica Irene and Vargas Pabón, Elvia Paola**

KEYWORDS: Foundry processes, induction furnace, laboratory guides, modernization

DESCRIPTION:

Foundry processes in Colombia have continued to have a great technological development in the last decade, this can be evidenced in the actual processes and equipment that companies and universities dedicated to the foundry of different metals used nowadays. This work starts with the analysis of the already existing equipment such as the crucible and cupola furnaces, which are in the foundry processes laboratory of the Universidad Industrial de Santander (UIS) showing that there is a need for an infrastructural modernization of the laboratory that includes the modernization of the existing practices and purchase of new equipment. It will lead to the improvement and fomentation of the technological development in the laboratory, especially for the metallurgical engineering program in the UIS. It is important for the metallurgical engineering students to have a tangible academic experience in the university's laboratories, due to this fact, it was possible to study in this work the design of new laboratory guides and the modernization of the existing ones. In the same way, a guide was designed focused on the casting of steels in the induction furnace, with the aim that the student acquire ability in this field and can learn the operation of these processes at laboratory scale., thus creating a more realistic vision of their future work life and the actual processes that are employed nowadays in the industry.

* Degree Project

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Adviser: Ph.D. Andrés Giovanni González Hernández, Ing. Huber Alexander Anaya Palencia

INTRODUCCIÓN

Los procesos de fundición actualmente son muy utilizados a nivel académico e industrial debido a la facilidad en la elaboración de piezas metálicas complejas y variedad dimensional. Por la necesidad de producir y avanzar tecnológicamente en dichas industrias Colombia ha implementado los hornos de inducción para optimizar los procesos de fundición, que en algunos casos nacen para reemplazar al cubilote y en otros porque su operación es más sencilla a pesar de su gran costo de instalación.

Desde el punto de vista académico, es importante que el estudiante de ingeniería metalúrgica tenga conocimiento y esté actualizado del correcto funcionamiento y normatividad de los diferentes procesos de manufactura utilizados en la industria actualmente. Por esta razón algunas universidades como la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad del Valle, han modernizado los laboratorios de procesos de fundición y manufactura ofreciendo nuevas herramientas e implementaron nuevas prácticas en el laboratorio, brindando al estudiante una visión ingenieril que ayude a su formación profesional y vida laboral. De esta forma, en estos laboratorios unas de las prácticas que han implementado es la fundición de aleaciones en el horno de inducción, especialmente el acero de baja aleación y los hierros grises.

En la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales de la Universidad Industrial de Santander con el fin de cumplir los estándares de calidad y procesos de acreditación ha venido evaluando diferentes planes de mejoramiento en los laboratorios y por tal motivo la realización de este trabajo de grado se enfocó al diseño y a la modernización de las guías del laboratorio de procesos de fundición para complementar y afianzar los conceptos vistos en la parte teórica de la

asignatura. El estudiante ahora tendrá una guía escrita del procedimiento experimental y los temas a consultar antes de realizar las prácticas del laboratorio y así se desean actualizar los procesos que se realizan actualmente en el laboratorio e implementar nuevas prácticas (fundiciones en el horno de inducción).

1. ANTECEDENTES

Algunos minerales que se encuentran en la naturaleza son sometidos a procesos químicos para realizar una transformación de su estado natural y darles una utilidad actualmente con los procesos de fundición y manufactura se realiza la forma y el diseño de los metales. Con el fin de avanzar tecnológicamente en el mundo se han implementado diferentes hornos. Un ejemplo de esto es en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en Perú, donde realizan diferentes aportes a la investigación con el horno de inducción. En Colombia se ha implementado la realización de prácticas modernas en el área de los procesos de fundición a nivel académico e industrial; la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), la Universidad del Valle y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia han reformado la infraestructura y han adquirido nuevos hornos y equipos para los laboratorios de procesos de manufactura y de fundición respectivamente, ampliando su portafolio de servicios y mejorando así la calidad de las prácticas realizadas en estos laboratorios y en los programas académicos.

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales de la Universidad Industrial de Santander cuenta con diferentes laboratorios para proporcionar un aprendizaje de calidad a los estudiantes en diferentes áreas. Con el paso de los años han surgido nuevos estándares de calidad, y con el fin mejorar se han diseñado diferentes propuestas en las asignaturas de corrosión, soldadura, materiales cerámicos y procesos de fundición. Hace 10 años se realizó un proyecto de grado como plan de mejoramiento para los laboratorios de las asignaturas teórico-prácticas de procesos de moldeo y procesos de fundición, estas guías no fueron implementadas en procesos de fundición porque su enfoque fue hacia el área de procesos de moldeo. En nuestro trabajo se realizó el diseño y modernización de

las guías de procesos de fundición con el fin de realizar la actualización y una mejora al plan ofrecido en la asignatura procesos de fundición. [1]

1.1 LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN

Los procesos de fundición consisten en el vertimiento de un metal en un molde que puede ser permanente o desechable; las dimensiones de este molde son fundamentales ya que de estas depende la cantidad de aleación que debe colarse. Los metales sufren ciertos porcentajes de contracción al momento de solidificarse lo cual se debe tener en cuenta para la selección adecuada de los materiales y la realización correcta del diseño del molde.

Como se dijo anteriormente, en algunos laboratorios de procesos de fundición de diferentes universidades o instituciones normalmente cuentan con los siguientes hornos y equipos para la realización de sus respectivas prácticas:

1.1.1 Horno de inducción. El principio de funcionamiento de este horno consiste en la generación de la energía necesaria para fundir un metal conductor que se introduce al horno de inducción en un crisol, el cual está rodeado por unas las bobinas magnéticas. Este horno funciona con el principio de calentamiento por inducción de un medio conductor (metal). Por otra parte, este tipo de hornos se utilizan con frecuencia debido a que puede fundir hierro, cobre, aluminio, acero y fundiciones con rapidez, los procesos en este tipo de horno son económicamente viables para operar. Los hornos de inducción son implementamos en industrias a gran escala, fábricas pequeñas y en procesos de laboratorio. [2]

1.1.2 Horno de crisol. El principio de funcionamiento del horno de crisol se basa en fundir aleaciones no ferrosas como: bronce, latón, aluminio y zinc. La aleación se encuentra depositada en el del crisol de grafito-arcilla el cual se apoya sobre la

peana (base de apoyo del crisol que está hecha también en material refractario). Existen diferentes tipos de hornos de crisol dependiendo del área a utilizar y el volumen de aleación a fundir. Para la escala de laboratorio se implementa el horno de crisol móvil con una capacidad de 16 kg, el cual funciona con los siguientes tipos de combustibles: aceite, gas natural o ACPM, el gas natural es el más utilizado ya que este minimiza los gases que se producen en la combustión. [2]

1.1.3 Horno cubilote. El horno cubilote consiste en una estructura cilíndrica de acero con un revestimiento de materiales cerámicos; en este se realiza el proceso de fusión de chatarra más antiguo de la industria el cual se ha empezado a sustituir debido a la gran contaminación de los gases que se producen en la combustión. En este proceso la carga metálica está en contacto con el coque (combustible), lo que permite un intercambio térmico directo. [1][3]

El horno cubilote está constituido principalmente por: puerta de carga, caja de viento, refractario, toberas, solera (arena de moldeo apisonada e inclinada a 10° hacia la piquera de la fundición), piquera (su función es permitir la salida del metal fundido, esta revestida con un material refractario).

- Los hornos cubilotes se caracterizan por:
- Una salida de metal continua.
- Una alta producción.
- Un relativo bajo costo de operación.
- Una operación sencilla.

1.1.4 Espectrómetro de emisión de chispa (composición química). Esta técnica nos proporciona la composición química elemental de fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos, por medio del análisis de un conjunto de longitudes onda que son características de cada elemento debido a su estructura electrónica. Estas longitudes de onda son emitidas por los átomos y moléculas, que se presentan al pasar de un estado excitado a un estado de inferior energía. Este tipo de análisis

composicional se realiza a una muestra obtenida después de un proceso de fundición con el fin de poder controlar y modificar la composición química de la pieza. [4]

1.1.5 Toma de durezas. Es una medida de la resistencia del material a la deformación plástica localizada, los ensayos de dureza se realizan con frecuencia debido a su sencillez y economía. [5]

Los ensayos de dureza que se utilizan para metales y aleaciones son:

- Ensayo de dureza Rockwell.
- Ensayo de dureza Vickers.
- Ensayo de dureza Brinell.

1.1.6 Ensayo de tracción. El ensayo de tracción convencional se emplea para obtener información básica sobre la resistencia mecánica de los materiales y como ensayo de recepción para la especificación de los mismos. En el ensayo de tracción se somete la probeta a una fuerza de tracción mono axial, que va aumentando de forma progresiva, y se van midiendo simultáneamente los correspondientes alargamientos, la probeta debe tener unas dimensiones específicas según la norma ASTM E8 [6].

1.1.7 Ensayo de flexión. El ensayo de flexión consiste en realizar a una deformación plástica a una probeta recta de sección plana o circular, aplicando sobre el material pares de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal según la norma E290-14 [7].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y modernizar las guías del laboratorio de la asignatura procesos de fundición, con el fin de mejorar y desarrollar la calidad de aprendizaje del estudiante en el laboratorio de procesos de fundición.

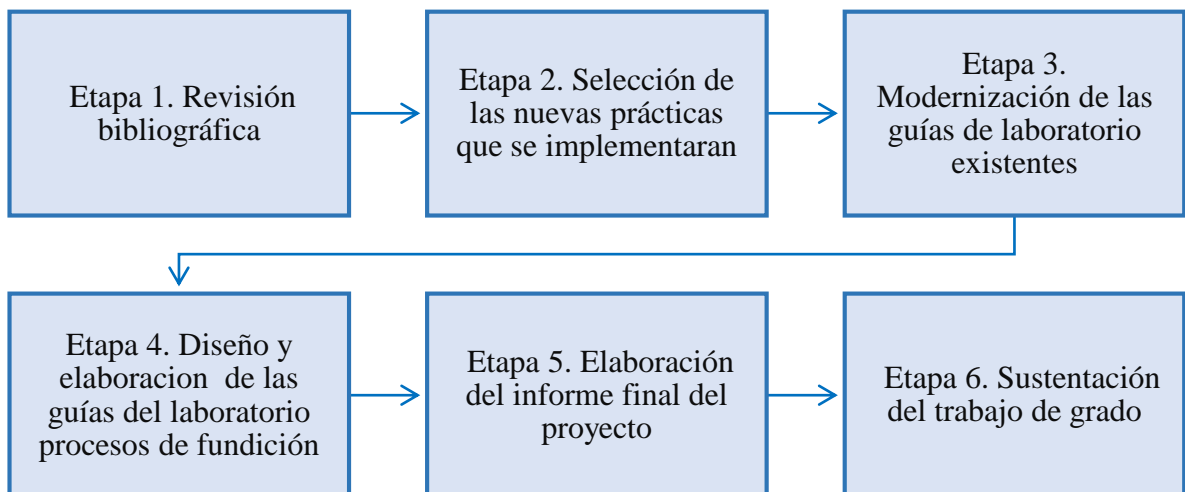
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modernizar las prácticas del laboratorio de procesos de fundición mediante la adecuación de nuevos equipos y materiales, permitiendo así complementar el conocimiento teórico adquirido en esta asignatura.
- Diseñar y elaborar nuevas guías del laboratorio procesos de fundición, con el fin de proponer una actualización y modernización de los equipos.
- Establecer las normas de seguridad de cada uno de los equipos presentes en el laboratorio al finalizar la modernización planteada en este proyecto.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la figura 1 se presenta la organización que se llevó a cabo en el diseño y la modernización de las prácticas del Laboratorio de Procesos de Fundición, el cual encuentra ubicado en la Planta de Aceros de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 1. Metodología experimental



En la etapa 1 se hizo una búsqueda de información acerca de las prácticas que se realizan actualmente en Colombia y en el mundo, seleccionando y recopilando los fundamentos teóricos que se desean desarrollar en el diseño y modernización de las guías del laboratorio procesos de fundición.

En la etapa 2 se propuso la modernización y la elaboración de las siguientes prácticas:

- Práctica 2: Identificación de materiales: Se realizaron diferentes pruebas (magnética, chispa, viruta, fractura y resonancia) para clasificar los materiales con herramientas de laboratorio con el fin de diseñar la guía.

- Práctica 3: Estudio del cubilote: Esta práctica consistió en un reconocimiento de las partes y funcionamiento del horno cubilote; debido a las horas destinadas para la parte práctica del laboratorio se dividió esta guía en dos partes en la parte 1 se realizó la construcción de la piquera y en la parte 2 la construcción de la solera del horno cubilote.
- “Práctica 4. Fundición de aleaciones no ferrosas en el horno crisol: Para esta práctica se realizó la fundición y el análisis de aleaciones comerciales. Posteriormente se diseñó la guía con el fin de estandarizar el procedimiento experimental para la realización de aleaciones no ferrosas (latón, bronce, zamak, y aleaciones de aluminio).

Debido a que el estudiante actualmente no tiene una guía de las instrucciones y de las operaciones que debe realizar en cada una de las prácticas desarrolladas en el laboratorio, se estandarizó el procedimiento experimental en guías, basándonos en las prácticas y normas que utilizan otras universidades e instituciones educativas relacionadas con el área de fundición y en la experiencia de los técnicos del laboratorio.

En la etapa 3, teniendo en cuenta los principios y fundamentos teóricos que se desean implementar en el laboratorio, se propuso una práctica utilizando el horno de inducción cumpliendo con las horas estipuladas para la asignatura procesos de fundición. Para llevar a cabo el diseño se realizó una prueba piloto de esta práctica en los laboratorios de fundición de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con el acompañamiento y supervisión de los operarios encargados del laboratorio de procesos de fundición.

Posteriormente en la etapa 4 se diseñó y elaboro la “Practica 1: Normas de seguridad industrial en el laboratorio” y la “Practica 5: Fundición de acero en el horno de inducción”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las guías desarrolladas en este proyecto se encuentran en los anexos. En esta sección se realiza una descripción de las mismas y los resultados del desarrollo de la práctica de “horno de inducción” y “horno de crisol”. Las guías se diseñaron y modernización teniendo en cuenta las horas destinadas para la parte práctica de la asignatura Procesos de Fundición, proponiendo la fundición de diferentes tipos de aceros en el horno de inducción con el fin de mejorar el aprendizaje del estudiante y complementar los conceptos adquiridos en la parte teórica.

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos en la realización de la modernización de las prácticas.

4.1 PRÁCTICA N° 1. NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO.

Los procesos de fundición de metales son considerados como operaciones de alto riesgo por el manejo de alta temperatura y vapores contaminantes, así que se diseñó la práctica del laboratorio (Anexo 1, práctica 1) con el fin de minimizar los riesgos de incidentes que se pueden presentar en la realización de la fundición y el vertimiento de metales. Estas normas de seguridad fueron diseñadas con base en las normas de seguridad que utilizan en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en la cual se realizan Procesos de Fundición en diferentes hornos, cumpliendo con los estándares de seguridad y cuidando el bienestar de las personas que manipulen el horno.

Para la realización de las prácticas se establecieron elementos de protección personal que son de uso obligatorio tanto para el técnico como para los estudiantes. Es importante recalcar que el estudiante no tiene contacto directo en la fusión y colada del metal ya que estos procedimientos se encuentran a cargo del técnico o los operarios del horno.

El laboratorio de procesos de fundición se encuentra en un plan de modernización y adecuación de nuevos equipos como el horno de inducción, por lo tanto no se realizaron las fichas técnicas de las rutas de evacuación ni la ubicación de extintores, botiquín de primeros auxilios y duchas de emergencia; en estos momentos no se tiene conocimiento del espacio físico que será destinado para estos nuevos equipos, por lo que en el momento de realizar su instalación se deben tener en cuenta estos aspectos.

4.2 PRÁCTICA N° 2. IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE MANERA RÁPIDA.

La práctica de identificación de materiales (Anexo 1, practica 2) consiste en utilizar las herramientas que se encuentra disponibles normalmente en el lugar de trabajo (Martillo, esmeril, imán, taladro, etc.) que sirven para caracterizar e identificar rápidamente un material por medio de sus propiedades físicas como la resonancia, el color, la chispa, la viruta y las propiedades magnéticas. Para la realización de esta práctica el técnico suministrará al estudiante diferentes tipos de materiales (fundición gris, fundición blanca, latón, cobre, zinc, acero, acero inoxidable austenítico y aluminio) a los cuales el estudiante debe realizar la identificación.

El primer criterio que deben implementar es la prueba magnética, la cual consiste en colocar en contacto un imán con el material y separar los metales ferrosos de los no ferrosos, teniendo en cuenta que existen algunas excepciones como es el caso del acero inoxidable austenítico. El segundo criterio es la prueba de resonancia que

consiste en golpear con un martillo los materiales ferrosos para clasificarlos en fundiciones (sonido no resonante) y aceros (resonante, acampanado).

Como un complemento a la clasificación de materiales el estudiante debe realizar la prueba de color antes y después de la fractura, la cual consiste en observar el color del material antes y después de realizar la fractura con un martillo, con el fin de que el estudiante identifique los materiales asignados.

Otro criterio que se utilizó en esta práctica fue la prueba de chispa la cual se observa en la Fig. 2. En este ensayo se colocó en contacto el material contra una piedra de esmeril en movimiento. Con esta prueba se pudo analizar la longitud, la cantidad, la forma y el color de la chispa característica de cada material e identificarla según clasificación conocidas en la práctica 2: Identificación de materiales de manera rápida, tabla 3 (ver anexo I).

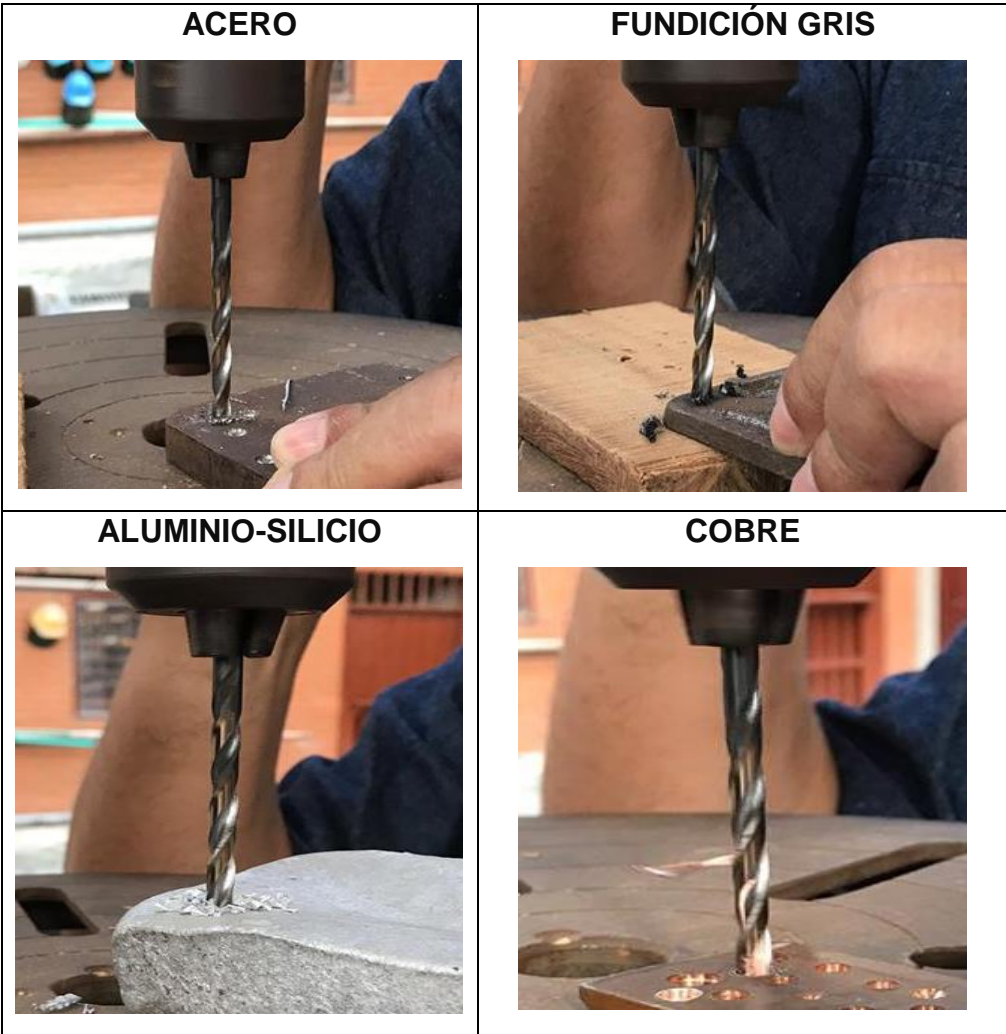
Figura 2. Prueba de chispa a un acero

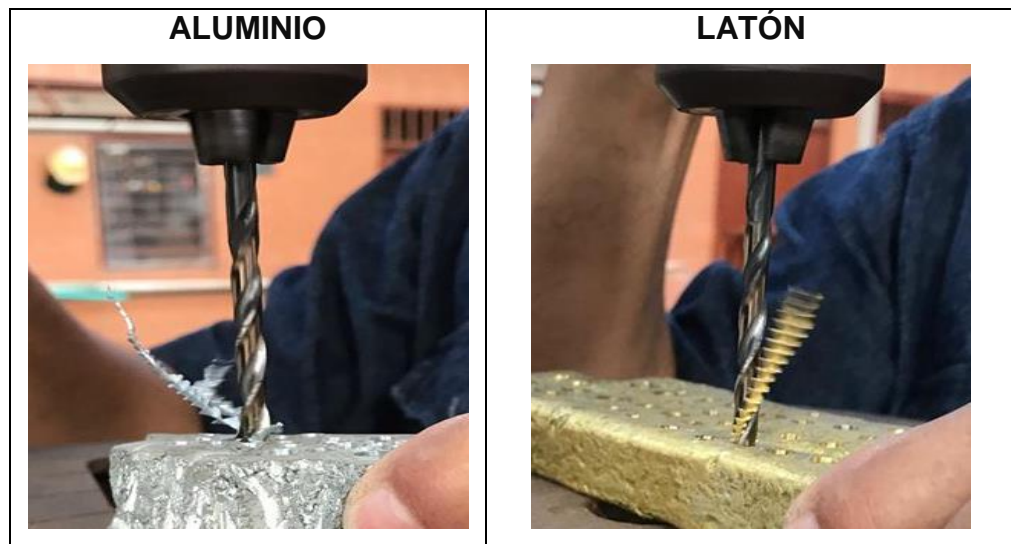


El último criterio que deben utilizar para la identificación de materiales es la prueba de viruta como se observa en la Fig. 3, la cual consiste en sacar la viruta del material con ayuda de un taladro y observar la longitud y forma. Esta variable depende de

las propiedades del material (frágil, dúctil, dureza, entre otras) y del estado de pureza en que se encuentra.

Figura 3. Materiales a los cuales se les realiza la prueba de viruta en el laboratorio de procesos de fundición





4.3. PRÁCTICA 3. ESTUDIO DEL CUBILOTE Y CONSTRUCCIÓN DE LA PIQUERA Y SOLERA

Por el tiempo de duración de la práctica y la extensión esta guía fue dividida en dos partes.

4.3.1 Parte 1 y parte 2. El horno cubilote con el que cuenta la planta de aceros de la escuela de Ingeniería Metalúrgica se observa en la Fig. 4. Este horno actualmente no se encuentra en funcionamiento.

Figura 4. Horno cubilote ubicado en planta de aceros.



Esta práctica (Anexo 1, práctica 3) se diseñó con el fin de que el estudiante conozca las partes y el funcionamiento correcto del horno de cubilote, además adquiera el conocimiento para la construcción de la solera y de la piquera respectivamente.

En esta práctica el profesor explicará al estudiante la forma como se construye la solera y la piquera teniendo en cuenta las proporciones de arena en verde y seca, además de la preparación correcta de la pasta refractaria con una composición de arena sílice 30%, chamota 40%, alúmina 10%, caolinita blanca 10%, aglomerante (agua) y la lechada (Caolinita amarilla y agua). Es necesario tener en cuenta las proporciones anteriores ya que la viscosidad de la pasta refractaria y la lechada es un factor importante al realizar la construcción de la piquera y solera.

El docente indicará al estudiante la forma correcta en la que se deben ubicar los ladrillos refractarios en la construcción de la piquera y la solera. Es importante saber que la piquera se debe construir con 3 o 4 días de anticipación a la fusión para que esta adquiera las propiedades necesarias al momento de la solidificación.

4.4. PRÁCTICA 4. FUNDICIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS EN EL HORNO CRISOL (MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)

Con la modernización de esta práctica (Anexo 1, practica 4) se elaboró la guía y se realizó una prueba piloto en los laboratorios de fundición de la UIS con el fin de tener cuenta las posibles variables que influyen en el proceso de función. En esta práctica se espera que el estudiante utilice y comprenda correctamente los diagramas de fases de equilibrio de la aleación no ferrosa asignada. Para llevar a cabo el proceso de fundición el estudiante debe realizar los cálculos de carga para la aleación, teniendo en cuenta las pérdidas de cada elemento.

Después de obtenida la aleación el estudiante realizara análisis metalográfico según la norma ASTM E3-11 [8] además se debe tomar la dureza según la norma ASTM E18-08 o ASTM E10-10 según corresponda [9][10] y realizar los ensayos de tracción, flexión según la norma ASTM E8 y ASTM E290 respectivamente [6][7] . Cabe resaltar, la importancia de realizar el análisis de espectroscopia óptica de chispa a la aleación con el fin de obtener una correcta composición química de la muestra.

Se desea que el estudiante compare los resultados obtenidos experimentalmente con los encontrados en la literatura, con el fin de desarrollar destreza en el análisis de los procesos de manufactura y fundición.

Para el diseño de la guía se realizó una fundición de aleaciones no ferrosas comerciales de cupro-aluminio, para que el estudiante pueda realizar la práctica se propone que se adquieran los materiales para la fundición de latones, bronce y zamak en el horno de crisol.

4.5. PRACTICA 5º. FUNDICIÓN DE ACERO EN EL HORNO DE INDUCCIÓN (MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)

Con el fin de avanzar tecnológicamente se diseñó esta práctica (Anexo 1, practica 5) se realizó una prueba piloto en los laboratorios de procesos de fundición y moldeo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Esta práctica consiste en la fundición de un acero en el horno de inducción este será asignado previamente por el docente. El estudiante debe realizar el análisis de espectroscopia óptica de chispa a los materiales antes de realizar los cálculos de la carga y después de la fundición para la verificación de la composición química del acero obtenido.

Teniendo en cuenta los diagramas de fases de equilibrio el estudiante debe escoger la temperatura de fusión del acero asignado, el técnico llevara a cabo la fundición y colada del acero en diferentes probetas.

El estudiante debe realizar los siguientes ensayos y pruebas (análisis metalográfico del acero, ensayo de tracción, ensayo de flexión, toma de durezas según las normas, ASTM E3-11 [8], ASTM E8 [6] , ASTM E290 [7] y ASTM E10 [10] respectivamente) analizarlos y comparar los resultados obtenidos con los datos de los aceros ya estandarizados.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado fue realizado en la modalidad de práctica en docencia se diseñaron 5 guías para los laboratorios de procesos de fundición de la Universidad Industrial de Santander. Se realizó esta modernización teniendo en cuenta el conocimiento adquirido por el estudiante en la parte teórica de la asignatura y los equipos que actualmente utilizan otras universidades que manejan el área de fundición.

Para la materialización de estas guías se realizaron pruebas piloto de las prácticas con el fin de observar y predecir algunas de las falencias que se puedan presentar a los estudiantes a lo largo de la asignatura con el fin de mejorar y así optimizar los estándares de calidad. Los ensayos que se proponen realizar en las prácticas pueden desarrollar habilidades en los estudiantes de la asignatura de procesos de fundición y es acorde a lo visto en dicha materia.

Se realizó un instructivo de normas de seguridad del laboratorio de procesos de fundición, teniendo en cuenta los riesgos que se puedan presentar durante las prácticas, resaltando la importancia de los elementos de protección personal tanto para el estudiante como para el técnico que se encuentre a cargo del proceso.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo al desarrollo del trabajo de grado, se recomienda a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales realizar la compra del horno de inducción e instalación del equipo de espectroscopia de emisión óptica (de chispa) para poder desarrollar la práctica N° 5 fundición de acero en el horno de inducción e implementar la práctica.

Se recomienda la compra de materiales para llevar a cabo la fundición de aceros y aleaciones comerciales planteadas en las guías.

Se recomienda también realizar un mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos que se encuentran en funcionamiento en el laboratorio y realizar la señalización de los equipos, materias primas, ubicación de los extintores y la ruta de evacuación, una vez realizada la modernización del laboratorio de procesos de moldeo y fundición.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el ensayo de espectroscopia de chispa de la “Práctica N° 5: fundición de acero en el horno de inducción (microestructura, resistencia mecánica y espectroscopia)”, se recomienda realizar el ensayo y verificar la composición química de los elementos antes de realizar la fundición.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FUENTES. Á y CARRILLO- N, Modernización y estructuración de los laboratorios de fundición y moldeo. Bucaramanga. Trabajo de grado (Ingeniero metalúrgico), Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-químicas. Programa Ingeniería Metalúrgica, 2006.

[2] ASTIGARRAGA URQUIZA J. y AGUIRRE ORMAZA J. Hornos. Santafé DE Bogotá. Volumen 6. MCGRAW-HILL.1998.

[3] QUIROGA CORREA Álvaro. Manual de operación del horno de cubilote. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenieras físico-químicas. Departamento Ingeniería Metalúrgica.1986.

[4] ESCUDERO BAQUERO, María. Introducción a las técnicas de análisis por chispa-OES Y XRF. Madrid.2016. [Disponible en http://www.cenim.csic.es/images/PDFs/Chispa_CENIM.pdf]

[5] CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Edición 2. Mexico.2009.

[6] “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, ASTM Designation E8/E8M, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [Disponible en: <https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=E8&>].

[7] “Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility”, ASTM Designation E290-14, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E290.htm>].

[8] “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”, ASTM Designation E3-11, ASTM Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation, Mayo, 2017. [Disponibile en: <https://www.astm.org/Standards/E3.htm>]

[9] “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials”, ASTM Designation E18 – 08, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. [Disponibile en: <https://www.astm.org/Standards/E18-08.htm>].

[10] “Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials”, ASTM Designation E10 – 10, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. [Disponibile en: <https://www.astm.org/Standards/E10-10.htm>].

BIBLIOGRAFÍA

ASTM International “Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility”, ASTM Designation E290-14, West Conshohocken, PA, 2014. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E290.htm>].

ASTIGARRAGA URQUIZA J. y AGUIRRE ORMAZA J. Hornos. Santafé DE Bogotá. Volumen 6. MCGRAW-HILL.1998.

ASTM International “Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials”, ASTM Designation E10 – 10, , West Conshohocken, PA, 2010. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E10-10.htm>].

ASTM International “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials”, ASTM Designation E18 – 08, , West Conshohocken, PA, 2008. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E18-08.htm>].

ASTM International “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, ASTM Designation E8/E8M, , West Conshohocken, PA, 2016, [Disponible en: <https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=E8&>].

ASTM Subcommittee “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”, ASTM Designation E3-11, E04.01 on Specimen Preparation, Mayo, 2017. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E3.htm>]

CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Edición 2. Mexico.2009.

ESCUADERO BAQUERO, María. Introducción a las técnicas de análisis por chispa-OES Y XRF. Madrid.2016. [Disponible en http://www.cenim.csic.es/images/PDFs/Chispa_CENIM.pdf]

FUENTES. Á y CARRILLO- N, Modernización y estructuración de los laboratorios de fundición y moldeo. Bucaramanga. Trabajo de grado (Ingeniero metalúrgico), Universidad Industrial de Santander, facultad de Ingenierías físico-químicas. Programa Ingeniería Metalúrgica, 2006.

QUIROGA CORREA Álvaro. Manual de operación del horno de cubilote. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenieras físico-químicas. Departamento Ingeniería Metalúrgica.1986.

ANEXOS

ANEXO A. GUÍAS DEL LABORATORIO DE LA ASIGNATURA PROCESOS DE FUNDICIÓN DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ELABORACIÓN DE PREINFORMES

Con el fin de llevar acabo un correcto uso de los equipos e instrumentos en el laboratorio se recomienda que antes de la realización de cada práctica el estudiante haya leído y consultado los temas propuestos en la guía entregada por el docente. Además, se plantea la socialización de los temas consultados con el docente, permitiendo que este resuelva dudas e inquietudes respecto a la práctica.

Los preinfomes de las prácticas (excepto la práctica N°1: Normas de seguridad industrial en el laboratorio) se harán en computador y se cargarán en formato pdf, para la realización de estos se habilitará tres días antes y hasta las 12 de la media noche del día anterior a la práctica, en la plataforma Moodle o aula de aprendizaje. El estudiante que no realice dicho preinforme no tendrá derecho a la realización de la práctica.

CRONOGRAMA DE PRÁCTICAS

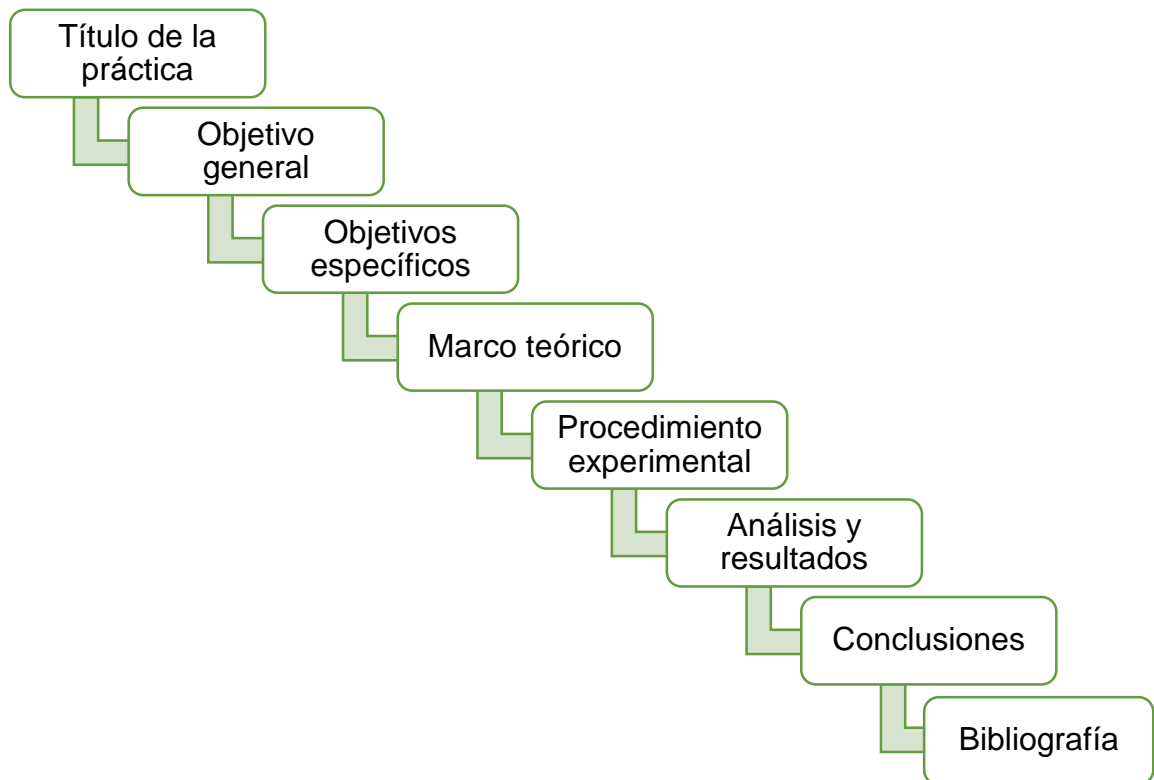
PRÁCTICA	SEMANA
N°1: NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO	2
N°2: IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES	3
N°3: ESTUDIO DEL CUBILOTE, parte 1 construcción de la piqueta	4

PRÁCTICA	SEMANA
Nº3: ESTUDIO DEL CUBILOTE, parte 2 construcción de la solera	5
Nº4: FUNDICIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS EN EL HORNO CRISOL	6-9
Nº5: FUNDICIÓN DE ACERO EN EL HORNO DE INDUCCIÓN	10-12

ORGANIZACIÓN DE INFORMES

Para la realización de los informes se propone seguir la estructura de la Fig.1. Es importante que el estudiante realice los informes de manera organizada para facilitar al docente la calificación de estos.

Figura 1. Estructura para la realización del informe de las prácticas



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN

PRÁCTICA 1º. NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO

OBJETIVO

Conocer la prevención de los riesgos que se puedan presentar en el laboratorio, ya que los Procesos de Fundición son considerados de alto riesgo por su trabajo a alta temperatura y reactivos químicos. En esta práctica se pretende identificar las instalaciones en las que se van a desarrollar las prácticas, los equipos de protección personal (EPP), las rutas de evacuación y los extintores presentes en el área.

INTRODUCCIÓN

Las actividades en las que se desarrolla la fundición y la refinación de metales tienen un alto índice de lesiones por accidentes de trabajo. Esta guía contiene información y parámetros de seguridad que deben seguir los estudiantes para ingresar y realizar cualquier práctica dentro de las instalaciones del laboratorio de Procesos de Fundición, teniendo en cuenta la normatividad vigente en seguridad y salud ocupacional [1].

Elementos de protección personal obligatorios en el laboratorio para estudiantes

- Casco de seguridad
- Gafas protectoras

- Bata manga larga
- Pantalón jeans sin desgastes
- Botas de seguridad con punta de acero (suela aislante y resistente al calor)

Los técnicos o profesores encargados de realizar la fundición deben utilizar

- Guantes de cuero
- Polainas de cuero
- Delantal de cuero
- Careta resistente a altas temperaturas
- Impedir la penetración del calor ambiental, un traje que tenga metalización del tejido o revestimiento de aluminio que cumpla con la reflexión del calor radiante
- Overol manga larga

Los técnicos que desempeñen su actividad en una zona en la que hay radiación infrarroja y calor radiante deben utilizar los siguientes elementos de protección:

- Casco metálico reflectante
- Careta filtrante o reflectante
- Overol reflectante o con tejido superficial aluminizado (dependiendo de la carga calórica y la proyección de partículas)

Los técnicos encargados de realizar la fusión y la colada de metales deben tener las siguientes precauciones:

- Al verter el metal en el molde, se desprenden cantidades de vapor; es necesario utilizar una máscara de gases.

- Supervisar antes de la práctica que los materiales y equipos estén totalmente secos con el fin de que no haya contacto entre el agua (superficies húmedas) y el metal o los restos de escoria, para evitar explosiones.
- Utilizar los elementos de protección personal, para evitar quemaduras por proyección de material fundido o por contacto con escoria.

Almacenamiento correcto de materiales y materias primas

- Los metales deben ser almacenados en lugares donde no haya presencia de humedad y que tengan una ventilación adecuada.
- Las arcilla y aditivos para la elaboración del molde deben estar en un lugar de almacenamiento fresco que se evite la evaporación del agua y la pérdida de propiedades de estas materias primas.
- Los fundentes utilizados en el proceso de fundición deben almacenarse en un lugar seco (tener en cuenta la humedad del lugar) [2].

REFERENCIAS

[1] Rodríguez Mesa Rafael, SISTEMA GENERAL DE RIESGOS LABORALES, LEY 1562 DE 2012, REFORMA AL SISTEMA GENERAL DE RIESGOS LABORALES DECRETO 723 DE 2013. [Disponible en https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-17041_documento.pdf].

[2] Ministerio de Minas y Energía, REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERIA, 2013. [Disponible en: <http://c3safety.com.pe/wp-content/uploads/2015/06/DS-055-2010-EM.pdf>].

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN

PRÁCTICA 2º. IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES

OBJETIVO

Realizar la identificación y clasificación rápida de materiales metálicos por medio de diferentes ensayos y características propias de los metales como color, peso, fractura, prueba magnética, prueba de chispa, entre otros.

INTRODUCCIÓN

Cada material tiene propiedades que lo identifican y lo diferencian de los otros materiales. Para la realización de dicha clasificación existen algunos equipos como el taladro, el esmeril, el imán entre otros, que se encuentran fácilmente en la industria. Es importante que el estudiante adquiera el conocimiento para la realización de la identificación de materiales teniendo en cuenta su resonancia, chispa, magnetismo, viruta, etc.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Materiales metálicos (latón, bronce, acero, fundición gris, aluminio, magnesio, níquel, etc.)
- Taladro
- Martillo

- Imán

TEMAS DE CONSULTA

- Propiedades físicas de las fundiciones, aleaciones (color, peso, fractura, prueba magnética, prueba de chispa, viruta y timbre)
- Diferencias entre las fundiciones blanca, gris, nodular, maleable y como es su proceso de obtención

PROCEDIMIENTO

Con el fin de realizar la identificación y clasificación de los materiales se realizan las siguientes pruebas:

1. Prueba magnética

Esta prueba consiste en clasificar los materiales ferrosos de los no ferrosos con la ayuda de un imán, aunque existen algunas excepciones. A continuación se presentarán algunos de los materiales a los cuales se les realizará la prueba magnética [1].

Magnéticos:

- Aleaciones ferrosas
- Acero inoxidable (martensíticos y ferríticos series 400)
- Níquel (no ferroso)
- Monel (ligeramente magnético)

o magnéticos:

- No ferrosos: aluminio, cobre, bronce

- Aceros inoxidable (austeníticos series 200 - 300)
- Níquel (base ferrosa)
- Aceros al manganeso

2. Prueba de resonancia

Algunos metales emiten un sonido que los caracteriza al ser golpeados por un martillo. Este sonido puede ser resonante en los aceros o no resonante en las fundiciones como se muestra en la Tabla 1. [1].

Tabla 1. Clasificación de los materiales por su sonido

Sonido Resonantes	Sonido No Resonantes
Aceros	Fundiciones

3. Prueba del color antes y después de la fractura

En la Tabla 2 se encuentra la clasificación de algunos materiales según el color y estructura antes y después de la fractura, una ruptura irregular y dentada es propia de metales como el hierro colado gris, blanco, y aleaciones de aluminio, mientras que un acero con alto contenido de carbono rompe y muestra una fractura regular y lisa; además existen otros metales como los aceros bajos en carbono, el aluminio puro y el hierro maleable que se deforman plásticamente antes de romper [1].






Tabla 2. Características del color antes y después de la fractura

Metal que se le realiza la fractura	Color de la superficie antes de la fractura	Color y estructura de la superficie después de la fractura
Hierro colado blanco	Gris opaco	Cristalino, blanco, plateado
Hierro colado gris	Gris opaco	Cristalino, plateado oscuro
Hierro maleable	Gris opaco	Gris obscuro, cristalino fino
Metal que se encuentra fracturado		
Acero de alto contenido de carbono	Gris oscuro	Gris claro
Acero inoxidable	Gris oscuro	Gris mediano
Cobre	Café a verde rojizo	Rojo brillante
Latón y bronce	Amarillo- rojizo Amarillo-verde o café	Rojo a amarillo
Aluminio	Gris claro	Blanco, cristalino fino
Níquel	Gris oscuro	Blanco
Plomo	Blanco gris	Cristalino, gris claro
Cobre-níquel (70-30)	Gris	Gris claro

4. Prueba de chispa

La prueba de chispa se realiza al colocar en contacto un metal con un esmeril en movimiento del cual se producirá una chispa característica de cada material (aceros de bajo y alto carbono, la fundición gris, el monel, entre otros) como se puede apreciar gráficamente en la Tabla 3.

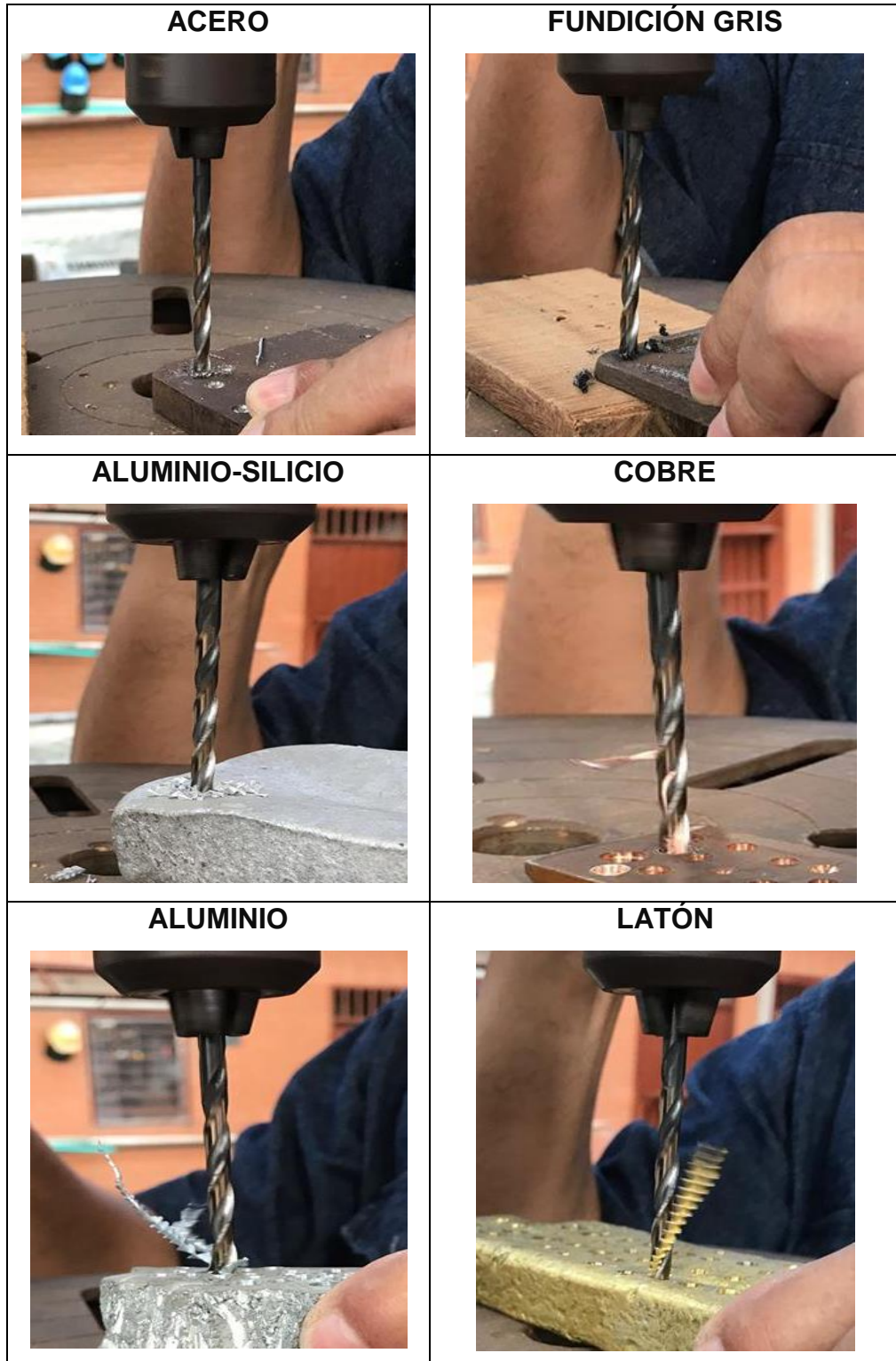
Tabla 3. Características de la chispa

METAL	CARÁCTERÍSTICA DE LA CHISPA
Acero de bajo carbono	
Acero de alto carbono	
Fundición gris	
Monel y Níquel	
Acero inoxidable	

5. Prueba de viruta

Los metales que se van a clasificar en esta práctica presentan diferentes propiedades mecánicas, por tanto, se requiere de un taladro eléctrico con el cual se arrancará viruta del material (ver Figura 1) y dependiendo de la longitud de la viruta obtenida se procederá a clasificar el metal como duro o blando.

Figura 1. Materiales a los cuales se les realiza la prueba de viruta



REFERENCIAS

[1] Askeland Donald R. and Phulé Pradeep P. CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES. 4ta Edición. International Thompson Editores S.A. México. 2004

[2] GUERRERO terso, Universidad Don Bosco. Identificación de materiales metálicos, febrero 2013. [Disponible en: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-tecnologico/materiales-y-sus-propiedades/2013/ii/guia-1.pdf>]

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN

PRÁCTICA 3º. ESTUDIO DEL CUBILOTE Y CONSTRUCCIÓN DE LA PIQUERA Y LA SOLERA

Debido al tiempo destinado para realizar las prácticas en el laboratorio (2 horas) el estudiante observará la construcción de la piqueta y de la solera en dos prácticas, en la primera práctica se construirá la piqueta, en la segunda práctica se construirá la solera y así se complementará el estudio del horno cubilote.

3.1 PARTE 1 –CONSTRUCCIÓN PIQUERA

OBJETIVO

Profundizar en el estudio de las partes, función, y manejo adecuado del horno cubilote, se desea que el estudiante adquiriera destreza en la construcción adecuada de partes del horno cubilote como lo son la piquería, la solera y demás.

INTRODUCCIÓN

El horno cubilote es utilizado para la fusión de chatarra y fabricación de fundiciones; es un horno con un diseño sencillo, económico y fácil mantenimiento. Trabaja con combustible sólido, el coque, el cual no presenta problemas para su almacenamiento, aunque se recomienda hacerlo bajo techo [1]. Hoy en día muchas empresas colombianas dedicadas a la industria metalmeccánica cuentan con este horno en sus instalaciones (Lavco, Falteco, Fundiciones el Cóndor, industrial de accesorios, Metalúrgica de Santander, entre otras); debido a esto es importante que

el estudiante de Ingeniería Metalúrgica tengo conocimiento del funcionamiento y riesgos que tiene la manipulación de este horno.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Horno cubilote
- Ladrillo refractario
- Arena de relleno (silicoarcillosa)

PASTA REFRACTARIA (proporciones)

- Arena sílice 30%
- Chamota 40%
- Alúmina 10%
- Caolinita blanca 10%
- Aglomerante (agua)

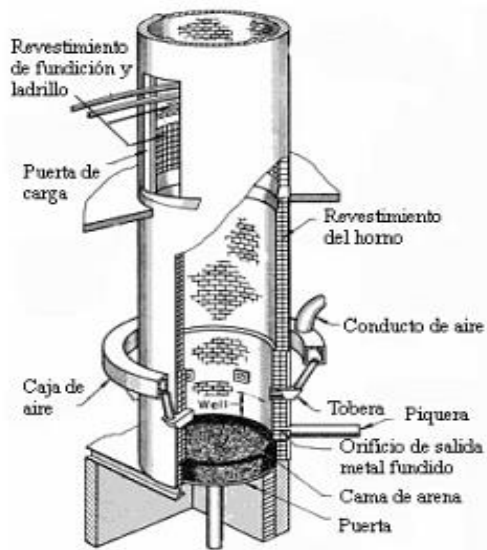
TEMAS DE CONSULTA

- Historia del horno cubilote.
- Partes del horno cubilote y su función.
- Qué es la piquera.

PROCEDIMIENTO

1. Reconocimiento de las partes del horno cubilote ubicado en la planta de aceros de la universidad industrial de Santander

Figura 1. Partes del horno cubilote



2. La elaboración de la piquera se debe realizar 3 o 4 días antes de la fundición:
 - Elaborar la pasta refractaria.
 - Aplicar la lechada (mezcla de caolinita y agua).
 - Agregar una capa uniforme de pasta refractaria sobre el canal de piquera.
 - Ubicar los ladrillos refractarios de forma horizontal (el número de ladrillos depende de las dimensiones de la piquera).
 - Aplicar pasta refractaria sobre la superficie de los ladrillos refractarios.
 - Limpiar los residuos de la pasta refractaria.
 - Sellar el orificio de piquera del metal con pasta refractaria (la contextura debe ser altamente viscosa).
 - Se realiza un orificio en forma cónica a la piquera y posteriormente se coloca el tapón de arcilla.

3.2 PARTE 2- CONSTRUCCIÓN DE LA SOLERA

OBJETIVO

Conocer la función que desempeña la solera en el horno cubilote y realizar la identificación y proporción de los materiales que se utilizan para la construcción de la solera.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Apisonador de madera
- Apisonador metálico
- Nivelador
- Palas
- Baldes
- Ladrillo de alúmina ácido en forma de cuña
- Brocha
- Arena seca
- Arena verde

PASTA REFRACTARIA (proporciones)

- Arena sílice 30%
- Chamota 40%
- Alúmina 10%
- Caolinita blanca 10%
- Aglomerante (agua)

TEMAS DE CONSULTA

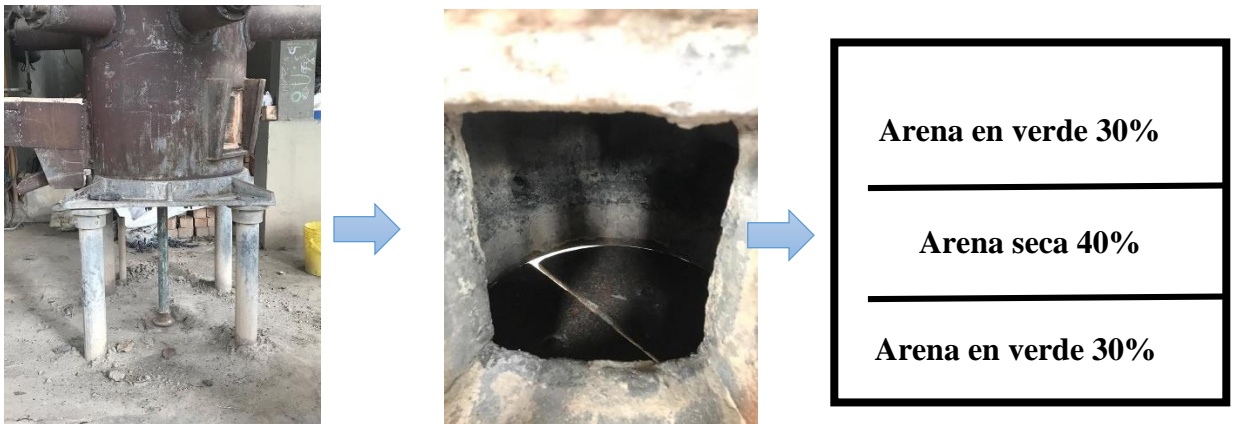
- Función que desempeña la solera en el horno cubilote

- Propiedades de la arena en seco y arena en verde ¿Por qué se utilizan estos dos tipos de arena para la construcción de la solera?

PROCEDIMIENTO

- Verificar que esta parte del horno cubilote se encuentre limpia.
- Cerrar las compuertas con un pasador o con un tubo.
- Mezclar en un balde todos los materiales para obtener la pasta refractaria.
- Construir una capa de pasta refractaria de 2 o 3 cm (verificar que todos los orificios hayan quedado cubiertos por la pasta).
- Aplicar tres capas de arena y apisonar suavemente (ver Fig. 1a, b, c).
- La última capa de arena en verde que se aplica debe quedar al mismo nivel del orificio de la piquera y debe realizarse un desnivel hacia el orificio de la piquera con un grado de inclinación entre 5°- 10°.

Figura 1. a) Foto del horno cubilote donde se muestra la ubicación de la solera, b) Orificio para construcción de la solera, c) Adiciones de arena que se debe realizar arena dentro del horno para la construcción de la solera.



Elaboración de la puerta de reparación

- Aplicar una capa de lechada (caolinita amarilla y agua) a la puerta de reparación
- Ubicar tres ladrillos de alúmina en forma vertical y aplicar una capa de pasta refractaria para cubrir el ladrillo

- Colocar las dos compuertas y rellenar con arena en verde y apisonar con el pisón de cuña metálica.

REFERENCIAS

[1] Diseño, Operación y Control del Cubilote, Arnaldo Alonso Baquero. Editorial Universidad Industrial de Santander, 2000.

[2] QUIROGA CORREA Álvaro. Manual de operación del horno de cubilote. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenieras físico-químicas. Departamento Ingeniería Metalúrgica.1986.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN

PRÁCTICA 4º. FUNDICIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS EN EL HORNO CRISOL (MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento del horno de crisol y fabricar una aleación no ferrosa. A la aleación obtenida se le realizarán una caracterización (pruebas metalográficas, de dureza, de resistencia mecánica, y de composición química).

INTRODUCCIÓN

La fundición de aleaciones no ferrosas como bronce, latones, aleaciones de aluminio, se fabrican en un horno de crisol, donde el metal se funde en un crisol metálico o cerámico calentado exteriormente por resistencias dispuestas en la pared cilíndrica que rodea el crisol. Este proceso de fundir metales en crisol es uno de los más antiguos, porque el costo inicial es barato y el metal no tiene contacto directo con el combustible. Es importante que el estudiante tenga conocimiento del proceso de fundición de estas aleaciones y las aplicaciones que tienen en la industria actualmente [1].

MATERIALES Y EQUIPOS

- Horno de crisol
- Metales no ferrosos (ver Tabla 1)
- Fundentes
- Lingotera
- Pinzas
- Crisol

- Pirómetro laser
- Espectrómetro de Chispa / Microscopio Electrónico de Barrido
- Máquina de Ensayos Universales
- Microscopio óptico
- Molde en arena en verde

TEMAS DE CONSULTA

- Características y aplicaciones de los bronce, latones y aleaciones de magnesio y aluminio.
- Punto de fusión de las aleaciones no ferrosas
- Diagramas de fases de equilibrio de la aleación asignada

PROCEDIMIENTO GENERAL

Durante la práctica se propone realizar 4 subgrupos de estudiantes para que cada grupo pueda trabajar una aleación de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de las aleaciones no ferrosas en porcentaje en peso

ALEACIÓN	DESIGNACIÓN	ELEMENTOS COMPOSICIÓN QUÍMICA %
Bronce		
Latón		
Cupro aluminio		
Duro aluminio		

1. Cada grupo debe realizar los cálculos necesarios para la preparación de la carga de los metales a fundir en la tabla 2. Para la preparación el estudiante recibirá el acompañamiento por parte del técnico a cargo de la práctica el cual le indicará la cantidad de metal a fundir y las pérdidas de cada componente con el fin de que el estudiante complete las Tablas 2 y 3, antes de la llevar a cabo la práctica.

Cálculos

Tabla 2. Base de cálculos para la aleación

--

X = gramos de la aleación que se desean obtener

Tabla 3. Cálculo de carga incluido el porcentaje de pérdidas de cada elemento para X g de aleación no ferrosa

CONTENIDO CALCULADO PARA [X] g DE ALEACIÓN	
ELEMENTO	[g]
TOTAL [g]	

2. Limpiar el horno y el crisol de escorias y residuos de metales.
3. Cargar los metales en el crisol y colocarlo en el horno.
4. Precalentar el horno.
5. Calentar por encima de la temperatura de fusión de la aleación no ferrosa y esperar a que se funda.
6. Tomar la temperatura de la aleación con el pirómetro laser.
7. Agregar los fundentes dependiendo de la aleación.
8. Desgasificar la fundición.
9. Retirar la escoria manualmente con una cuchara metálica.
10. Retirar el crisol y verter 1100g en un molde de arena en verde, en una lingotera rectangular y en una lingotera cilíndrica especificada por la norma ASTM E8.

11. La cantidad sobrante será la nueva base de cálculo de la fundición posterior (bifásica).
12. Realizar los cálculos correspondientes para la aleación bifásica y adicionar el material faltante.
13. Retirar el crisol y verter la aleación bifásica en un molde de arena en verde, en una lingotera rectangular y en una lingotera cilíndrica especificada por la norma ASTM E8.
14. Apagar el horno.
15. Realizar la caracterización de las aleaciones no ferrosas como se indica a continuación:

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Para realizar el ensayo de espectrometría de chispa la muestra debe tener las siguientes condiciones:

- Dimensiones mínimas de 1x1 in
- Preparación metalográfica de la muestra según la norma ASTM E3-11 [2]

ENSAYO DE DUREZA

Dureza Rockwell: Los materiales más blandos utilizan la escala B, que emplea una bola de acero de 1/16 in y una carga máxima de 100 Kg y es utilizable entre 0 y 100 RB [3].

Es muy útil y fácil de realizar hay que tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- El penetrador y el yunque deben estar bien asentados
- La superficie a ensayar debe estar limpia seca y libre de óxidos
- La superficie debe ser plana y perpendicular al penetrador

ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción convencional se emplea para obtener información básica sobre la resistencia mecánica de los materiales y como ensayo de recepción para la especificación de los mismos. En el ensayo de tracción se somete la probeta a una fuerza de tracción mono axial, que va aumentando de forma progresiva, y se van midiendo simultáneamente los correspondientes alargamientos [4].

La probeta debe tener unas dimensiones específicas según la norma ASTM E8 [5] a continuación en la Fig. 1 se pueden observar las medidas estándar, y en la Tabla 5 se encuentran otras dimensiones permitidas para la realización del ensayo.

Figura 1. Dimensiones de la probeta de tracción

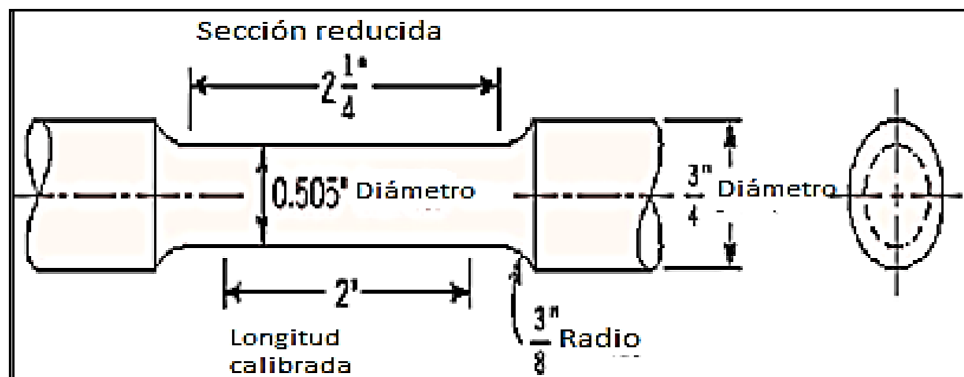


Tabla 5. Dimensiones de las probetas de tracción ASTM

Diámetro[in]	Distancia entre puntos [in]	L/D
0,505	2	3,97
0,357	1,4	3,92
0,252	1	3,97
0,160	0,634	3,96

Resistencia a la tracción:

$$\sigma_u = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_0}$$

σ_u = Resistencia a la tracción;

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima;

A_0 = Área inicial .

Porcentaje de elongación:

$$\% \text{ Elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} * 100$$

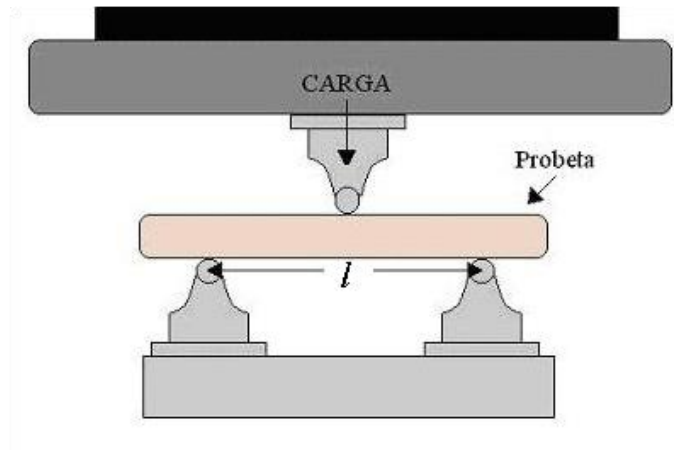
L_f = distancia entre puntos al producirse la fractura;

L_0 = distancia entre puntos original.

ENSAYO DE FLEXIÓN

El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza al centro de una barra soportada en cada extremo, para determinar la resistencia a la tensión del material cuando se le aplica una carga lentamente. Generando una deformación como se puede observar en la Fig. 2 [6]

Figura 2. Ensayo de flexión con probeta plana



ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Anexar las fotos de las aleaciones no ferrosas antes y después del ataque a 50X, 500X, 1000X, realizar los respectivos análisis
2. Completar tabla de propiedades mecánicas

Tabla 5. Propiedades mecánicas de la aleación

Aleación no ferrosa	Resistencia a la tracción [Mpa]	Limite elástico [Mpa]	Elongación %	Dureza [HB]
Bronce				
Latón				
Cupro aluminio				
Monofásico				
Bifásico				
Duro aluminio				
Monofásico				
Bifásico				

3. Realizar análisis de cada uno de los ensayos realizados
4. Aplicaciones industriales de la aleación no ferrosa fabricada

REFERENCIAS

- [1] Hornos industriales de resistencias, Julio Astigarraga Urquiza, editorial S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 1994.
- [2] “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”, ASTM Designation E3-11, ASTM Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation, Mayo, 2017. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E3.htm>]
- [3] “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials”, ASTM Designation E18 – 08, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E18-08.htm>].

[4] CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Edición 2. Mexico.2009.

[5] “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, ASTM Designation E8/E8M, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [Disponible en: <https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=E8&>]

[6] “Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility”, ASTM Designation E290-14, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E290.htm>]

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE PROCESOS DE FUNDICIÓN

**PRÁCTICA 5º. FUNDICIÓN DE ACERO EN EL HORNO DE INDUCCIÓN
(MICROESTRUCTURA, RESISTENCIA MECÁNICA Y ESPECTROSCOPIA)**

OBJETIVO

Conocer el principio de funcionamiento del horno de inducción y estudiar las diferentes variables que intervienen en el proceso de fabricación de un acero y una fundición gris (especificado por el docente).

INTRODUCCIÓN

El horno de inducción es la tecnología más avanzada que se utiliza en la actualidad para fundir materiales ferrosos y no ferrosos (hierro, aluminio, acero, cobre y sus aleaciones, etc.). La modernización de este horno esta en continuo crecimiento con instalaciones de potencia cada vez mayor y grados de automatización considerables. Este horno tiene ventajas significativas como: fundiciones limpias, automatización completa y auto programación, máxima eficiencia de las bobinas de calentamiento, ahorro de energía y mínima pérdida del calor [1].

MATERIALES Y EQUIPOS

- Horno de inducción
- Fundentes
- Acero (ver tabla 1)

- Molde de arena en verde
- Lingotera
- Desgasificadores (Argón o Nitrógeno)
- Fundentes
- Pinzas
- Crisol cerámico 75% alúmina
- Pirómetro laser
- Espectroscopia de emisión óptica
- Microscopio óptico
- **Maquina Universal para pruebas de Resistencia de Materiales**

TEMAS DE CONSULTA

- puntos de fusión de los siguientes elementos (Hierro, Magnesio, Cromo, Aluminio, Cobre, Molibdeno, Níquel, Silicio, fosforo, azufre, etc).
- Propiedades de este acero.
- Aplicaciones en la que se utiliza este acero.
- Diagramas de fases de equilibrio de la aleación asignada

PROCEDIMIENTO GENERAL

1. Para desarrollar esta práctica se propone realizar 2 subgrupos de estudiantes para que cada grupo realice un tipo de acero o fundición solicitado por el docente.

Tabla 1. Composición en porcentaje de los aceros

DESIGNACIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA							
	% C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S
AISI/SAE 4340	0,38- 0,43	0,60- 0,80	0,15- 0,35	0,70- 0,90	1,65- 2,00	0,20- 0,30	Max 0,35	Max 0,40

2. Cada grupo debe realizar los cálculos necesarios para la preparación de la carga del acero o fundición a fabricar, para la preparación el estudiante recibirá el acompañamiento por parte del técnico a cargo de la práctica el cual le indicará la cantidad de acero o fundición a obtener y las pérdidas de cada componente con el fin de que el estudiante complete las Tablas 2 y 3, antes de la llevar a cabo la práctica.

Cálculos

Tabla 3. Base de cálculos para el acero

--

$X = \text{gramos de la aleación que se desean obtener}$

Tabla 4. Cálculo de carga incluido el porcentaje de pérdidas de cada elemento para X g de acero

CONTENIDO CALCULADO PARA [X] g DE ALEACIÓN	
ELEMENTO	[g]
TOTAL [g]	

3. Limpiar el horno y el crisol de escorias y residuos de metales.
4. Disminuir el tamaño del material (cold rolled) dependiendo de las dimensiones del crisol
5. Cargar los metales en el crisol (grafito y cold rolled) y colocarlo en el horno de inducción.
6. Precalentar el horno de inducción aproximadamente a 200°C.
7. Agregar los elementos faltantes y calentar por encima de la temperatura de fusión del acero, esperar a que se funda.
8. Tomar la temperatura de la aleación con el pirómetro laser
9. Agregar los fundentes
10. Realizar la Desgasificación
11. Apagar el horno y retirar el crisol
12. Retirar la escoria manualmente
13. Realizar la colada en el molde de arena en verde, lingotera cilíndrica y en una lingotera rectangular
14. Realizar la caracterización de las aleaciones no ferrosas

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Para realizar el ensayo de espectrometría de chispa la muestra debe tener las siguientes condiciones:

- Dimensiones mínimas de 1x1 in
- Preparación metalográfica de la muestra según la norma ASTM E3- 11 [2]

ENSAYO DE DUREZA

Dureza Rockwell: Los materiales más blandos utilizan la escala B, que emplea una bola de acero de 1/16 in y una carga máxima de 100 Kg y es utilizable entre 0 y 100 RB [3].

Es muy útil y fácil de realizar hay que tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- El penetrador y el yunque deben estar bien asentados
- La superficie a ensayar debe estar limpia seca y libre de óxidos
- La superficie debe ser plana y perpendicular al penetrador

ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción convencional se emplea para obtener información básica sobre la resistencia mecánica de los materiales y como ensayo de recepción para la especificación de los mismos. En el ensayo de tracción se somete la probeta a una fuerza de tracción mono axial, que va aumentando de forma progresiva, y se van midiendo simultáneamente el alargamiento [4][6].

La probeta debe tener las siguientes dimensiones según la norma ASTM E8 [5].

Figura 1. Dimensiones de la probeta de tracción

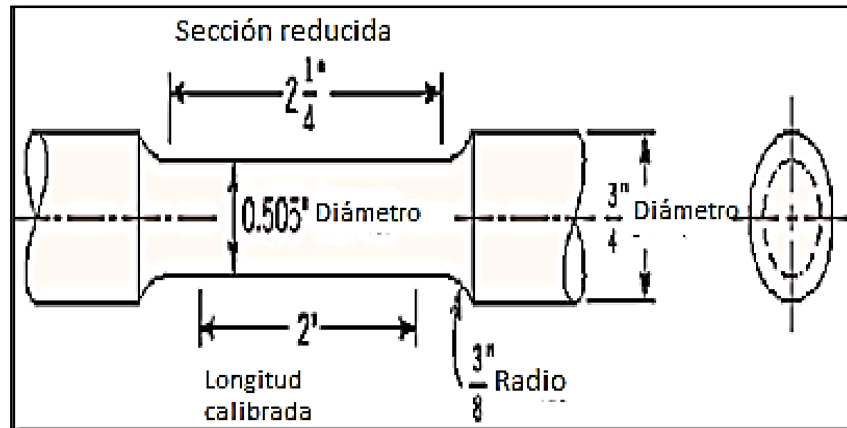


Tabla 5. Dimensiones de las probetas de tracción ASTM

Diámetro[in]	Distancia entre puntos [in]	L/D
0,505	2	3,97
0,357	1,4	3,92
0,252	1	3,97
0,160	0,634	3,96

Resistencia a la tracción:

$$\sigma_u = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_0}$$

σ_u = Resistencia a la tracción;

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima;

A_0 = Área inicial .

Porcentaje de elongación:

$$\% \text{ Elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} * 100$$

L_f = distancia entre puntos al producirse la fractura;

L_0 = distancia entre puntos original.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Anexar las fotos del acero antes y después del ataque 50X, 500X, 1000X y realizar su respectivo análisis
2. Completar tabla de propiedades mecánicas

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero

ACERO	Resistencia a la tracción [Mpa]	Limite elástico [Mpa]	Elongación %	Dureza [HB]
AISI/SAE 4340				
Fundición gris				

3. Realizar análisis de cada uno de los ensayos realizados
4. Aplicaciones industriales en las que se utiliza el acero fabricado

REREFENCIAS

[1] Hornos industriales de resistencias, Julio Astigarraga Urquiza, editorial S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 1994.

[2] "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens", ASTM Designation E3-11, ASTM Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation, Mayo, 2011. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E3.htm>]

[3] "Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials", ASTM Designation E10 – 10, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E10-10.htm>]

[4] METALURGIA MECANICA, George E. Dieter, JR capítulo 9, 1967.

[5] “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, ASTM Designation E8/E8M, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/E8.htm>]

[6] CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Edición 2. Mexico.2009.