



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis de los procedimientos de fusión y colada en  
talleres de fundición gris del norte del Perú**

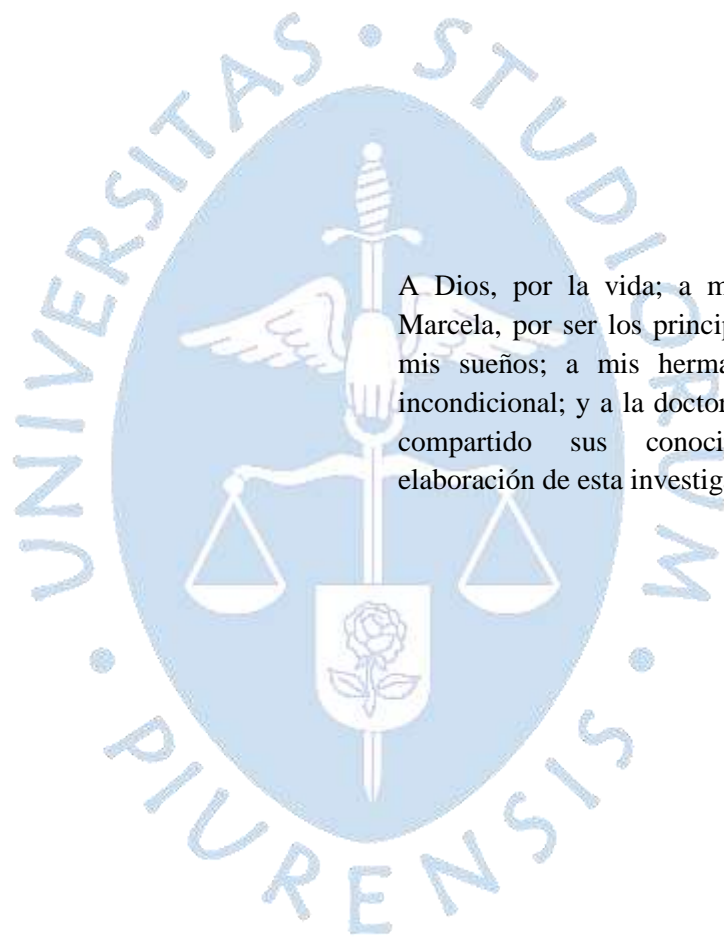
Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

**Gabriela Lizbeth Hidalgo Medina**

**Asesora:  
Dra. Ing. Rosalba Guerrero Aslla**

**Piura, junio de 2020**





A Dios, por la vida; a mis padres Néstor y Marcela, por ser los principales promotores de mis sueños; a mis hermanos por su apoyo incondicional; y a la doctora Rosalba, quien ha compartido sus conocimientos para la elaboración de esta investigación.



## **Prefacio**

La región norte del Perú ha presentado un importante crecimiento económico en los últimos años, debido a la presencia de grandes empresas industriales, el desarrollo y ejecución de proyectos de envergadura en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. Sin embargo, este desarrollo no se ha visto reflejado en un crecimiento significativo del sector fabricación de metales, quien debería satisfacer la alta demanda de aleaciones y piezas metálicas de la industria regional. Es así como las empresas dedicadas a este rubro en la costa norte del Perú son micro y pequeñas empresas (MYPE) de fundición.

En este contexto, se ha planteado el presente trabajo de investigación titulado “Análisis de los procedimientos de fusión y colada en los talleres de fundición gris del norte del Perú” que busca identificar los puntos críticos de las actividades de fusión y colada, y gestión de las micro y pequeñas empresas (MYPE) que radican en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, para brindar propuestas de mejora que ayuden a incrementar la productividad y competitividad del sector manufacturero de fabricación de metales en la región.

Finalmente agradecer al CONCYTEC, por ser el ente financiador del proyecto “Impulso de la industria manufacturera de aleaciones férreas mediante el estudio de procesos de mejoramiento de la calidad de fundiciones grises producidas en el norte del Perú, con aportes de investigadores peruanos y colombianos” (Convenio N° 217—2015-FONDECYT-DE) del cual esta tesis forma parte.

Además, dar las gracias a la Dra. Ing. Rosalba Guerrero Aslla, coordinadora general del proyecto en mención y asesora de esta tesis, quien con sus conocimientos supo orientar el desarrollo de la presente investigación. De igual forma a todas las personas involucradas que de alguna u otra manera aportaron a este logro.



## Resumen analítico-informativo

### **Análisis de los procedimientos de fusión y colada en talleres de fundición gris del norte del Perú**

**Autora del trabajo: Grabiela Lizbeth Hidalgo Medina.**

**Asesora: Dra. Ing. Rosalba Guerrero Aslla.**

**Tipo de trabajo: Tesis.**

**Título Profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, junio 2020.**

**Palabras claves:** Fundición, norte del Perú, diagnóstico, calidad, defectos.

**Introducción:** La industria de fundición de metales de la región norte del Perú presenta una serie de problemas prioritarios que afectan su crecimiento sostenido, esto ha llevado a elaborar un diagnóstico de una parte del proceso de fabricación de fundición gris, el proceso de fusión y colada, y gestión de empresas, identificando los puntos críticos que afectan a esta actividad para brindar propuestas de mejora.

**Metodología:** La muestra la conforman diez micro y pequeñas empresas de fundición gris ubicadas en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. Para recoger información detallada de los procesos de fusión y colada, se han realizado múltiples visitas a los talleres y aplicado una encuesta con 38 ítems, la cual fue elaborada por profesionales de la Universidad Nacional de Colombia. Asimismo, los talleres han proporcionado muestras de materia prima (chatarra y combustible) y productos terminados para su caracterización total.

**Conclusiones:** Los resultados evidencian que los talleres de fundición del norte del Perú no obtienen piezas que se puedan clasificar completamente según una normativa internacional, debido a la falta de control de calidad de sus productos. La falta de una política de calidad está relacionada con el desconocimiento del personal de estos talleres de las características químicas, mecánicas y microestructurales de las piezas que fabrican y de la materia prima que utilizan.

Estos factores tienen una incidencia negativa en la gestión de empresas referidas al incremento en los costos de producción debido a los costos adicionales de refundir las piezas defectuosas o rechazadas por los clientes y a la pérdida de la imagen de la empresa. Además, dificultan la optimización de sus recursos y estandarización de sus procesos para la fabricación de piezas de calidad con la menor presencia de defectos, lo cual incrementaría su producción y competitividad en el mercado. Por todo ello, se propone un plan de capacitación para los fundidores que involucran tanto la parte operativa del proceso de fundición como la parte de gestión microempresarial.

**Fecha de elaboración de resumen:** 19 mayo de 2020.

## Analytical-Informative Summary

### **Análisis de los procedimientos de fusión y colada en talleres de fundición gris del norte del Perú**

**Autora del trabajo: Grabiela Lizbeth Hidalgo Medina.**

**Asesora: Dra. Ing. Rosalba Guerrero Aslla.**

**Tipo de trabajo: Tesis.**

**Título Profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, junio 2020.**

**Keywords:** Foundry, Northern Peru, diagnosis, quality, defects.

**Introduction:** The foundry industry of the northern region of Peru has priority problems that affect its sustained growth, this has led to the development of a diagnosis of a part of the grey cast iron manufacturing process, the melting and casting process, and business management, identifying the critical points that affect this activity to provide improvement proposals.

**Methodology:** The sample is made up of ten Grey Cast Iron microenterprises and small enterprises located in the departments of Piura, Lambayeque and La Libertad. To gather detailed information on the fusion and casting processes, several visits to the foundries have been made and a survey with 38 items has been applied, which was prepared by professionals from the National University of Colombia. Furthermore, the foundries have provided samples of raw material (scrap and fuel) and finished products for their total characterization.

**Conclusions:** The results show that foundries in northern Peru do not obtain finished products that can be completely classified according to international normative, due to the lack of quality control of their products. The lack of a quality policy is related to the lack of awareness of the personnel of these foundries of the chemical, mechanical and microstructural characteristics of the products they manufacture and the raw material they use.

These factors have a negative impact on the management of companies related to the increase in production costs due to the additional costs of recasting defective or rejected products by customers and the loss of the company's image. Furthermore, they hinder the optimization of their resources and standardization of their processes for the manufacture of quality products with the least presence of defects, which would increase their production and competitiveness in the market. Therefore, a training plan is proposed for smelters that involve both the operational part of the casting process and the microenterprise management part.

**Summary date: May 19<sup>th</sup> 2020.**

## Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 .....	7
Impacto de la industria manufacturera de aleaciones en la economía peruana .....	7
1.1. Análisis del desarrollo del sector manufacturero.....	8
1.1.1. Estructura del sector manufacturero peruano .....	8
1.1.2. Industria manufacturera y su aporte al PBI nacional .....	10
1.2. Subsector fundición de metales en el Perú .....	11
1.2.1. Sector fundición de metales en Piura.....	12
1.2.2. Sector fundición de metales en Lambayeque .....	14
1.2.3. Subsector fundición de metales en La Libertad.....	15
1.3. Identificación de la demanda de piezas en las industrias del norte del Perú .....	15
Capítulo 2 .....	19
Características de fusión y colada de fundiciones grises en el norte del Perú.....	19
2.1. Recepción y selección de la materia prima.....	23
2.1.1. Recepción y selección de combustible .....	23
2.1.2. Recepción y selección de materia prima metálica .....	25
2.2. Uso de aditivos .....	37
2.2.1. Ferroaleaciones .....	37
2.2.2. Fundentes de escoria .....	39
2.2.3. Inoculantes .....	40
2.2.4. Desulfurantes .....	40
2.3. Cálculo de cargas .....	42
2.3.1. Cálculo de cargas con chatarra disponible en el norte del Perú y sin aditivos .....	43
2.3.2. Cálculo de cargas con chatarra disponible en el norte del Perú y con aditivos .....	47

2.4. Pre calentamiento del horno .....	50
2.5. Inyección de aire soplado .....	50
2.6. Operación del horno .....	51
2.7. Control de parámetros.....	52
2.7.1. Medición de la temperatura del metal líquido en pico de colada .....	52
2.7.2. Observación del aspecto de la escoria .....	53
2.7.3. Ensayo de tendencia al blanqueo .....	54
Capítulo 3 .....	59
Diagnóstico del proceso de fusión y colada de fundiciones grises en el norte del Perú .....	59
3.1. Influencia del proceso de fusión y colada en la calidad de las piezas de fundición gris .....	59
3.2. Identificación de puntos críticos en la etapa fusión y colada .....	71
3.2.1. En cuanto a la selección del combustible .....	72
3.2.2. En cuanto a la catalogación de chatarras en el norte del Perú .....	74
3.2.3. En cuanto al almacenamiento y limpieza de la materia prima.....	75
3.2.4. En cuanto al uso de aditivos para mejorar la calidad del caldo .....	75
3.2.5. En cuanto al cálculo de cargas que ingresan al cubilote.....	76
3.2.6. En cuanto al control de parámetros.....	77
3.3. Identificación de puntos críticos en la gestión de empresas .....	77
3.3.1. En cuanto a la política de calidad .....	79
3.3.2. En cuanto a la mano de obra poco calificada.....	80
3.3.3. En cuanto al acceso al sistema financiero.....	81
3.3.4. En cuanto a la informalidad en las MYPE.....	85
3.3.5. En cuanto a las capacidades gerenciales .....	86
3.3.6. En cuanto a la cultura de seguridad, salud y medioambiente .....	86
Capítulo 4 .....	93
Programa de capacitación para micro y pequeñas empresas de fundición.....	93
4.1. Componente I: Proceso de moldeo .....	96
4.1.1. Preparación y dosificación de la mezcla de moldeo .....	96
4.1.2. Proceso de conformación del molde .....	100
4.2. Componente II: Proceso de fusión y colada en el horno de cubilote.....	103
4.2.1. Gestión de la materia prima .....	103
4.2.2. Proceso de control y ajuste de parámetros .....	106

4.2.3. Proceso de fusión y colada en horno de cubilote.....	108
4.3. Componente III: Metalurgia física de fundiciones grises.....	110
4.3.1. Introducción a la metalurgia física de fundiciones grises.....	110
4.4. Componente IV: Control de calidad.....	113
4.4.1. Control de calidad de piezas de fundición gris.....	113
4.5. Componente V: Obtención de fundición de calidad mejorada.....	116
4.5.1. Aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades.....	116
4.5.2. Producción de fundición nodular en horno de cubilote.....	119
4.6. Componente VI: Gestión de las MYPE de fundición.....	122
4.6.1. Gestión microempresarial.....	122
4.6.2. Gestión de seguridad, salud y medioambiente.....	126
Conclusiones.....	131
Recomendaciones.....	135
Referencias bibliográficas.....	139
Apéndices.....	145
Apéndice A: Propuesta del Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) para el proceso de fusión y colada en horno de cubilote.....	147
Anexos.....	159
Anexo A: Formato de encuesta dirigida a empresas de fundición del norte del Perú... 161	
Anexo B: Hoja de datos de seguridad de materiales MSDS nivel usuario.....	166



## Lista de tablas

Tabla 1. Piezas requeridas por los principales sectores industriales del norte del Perú.	16
Tabla 2. Relación de muestras entregadas por los talleres participantes.....	20
Tabla 3. Chatarra empleada en los talleres de fundición.....	21
Tabla 4. Resumen de la caracterización mecánica de las piezas.....	21
Tabla 5. Composición química del coque y dos muestras de combustible de los talleres 1 y 12.....	24
Tabla 6. Composición química de algunas chatarras de hierro fundido.....	28
Tabla 7. Composición química de algunas chatarras de acero.....	29
Tabla 8. Reglas para la selección de chatarra de hierro fundido y acero.....	29
Tabla 9. Resultados del análisis químico de las muestras del Taller 13.....	33
Tabla 10. Elementos extraños, consecuencias en la calidad del caldo y acciones recomendadas.....	35
Tabla 11. Densidades de materiales metálicos.....	36
Tabla 12. Composición química aproximada de ferrosilicio y ferromanganeso.....	38
Tabla 13. Factores que influyen en el proceso de desulfuración.....	41
Tabla 14. Equivalencia de normas y composición química por clase.....	43
Tabla 15. Composición química de muestras de fundición gris y chatarra proporcionadas por el Taller 13.....	43
Tabla 16. Hoja de cálculo de carga con chatarra disponible en el norte del Perú, y sin aditivos.....	45
Tabla 17. Pesos individuales de la hoja de cálculo de carga para fundición.....	45
Tabla 18. Hoja de cálculo de carga para fundición clase 35.....	48
Tabla 19. Pesos individuales de la hoja de cálculo de carga para fundición Clase 35... ..	49
Tabla 20. Observación del aspecto de la escoria e indicadores de operación del cubilote.....	53

Tabla 21. Frecuencia de incidencia de defectos en las piezas .....	60
Tabla 22. Defectos microestructurales identificados en las 30 piezas de fundición gris analizadas.....	67
Tabla 23. Composición química de la muestra M7 (Taller 13).....	68
Tabla 24. Composición química de la muestra M6 (Taller 12).....	69
Tabla 25. Propiedades mecánicas de barras de prueba estándar de fundiciones grises en estado de colada.....	70
Tabla 26. Análisis FODA del proceso de fusión y colada del norte del Perú .....	71
Tabla 27. Rango de análisis químico ofrecido por las empresas que comercializan antracita de fundición. ....	73
Tabla 28. Costo de aditivos para la fabricación de hierro fundido.....	76
Tabla 29. Análisis FODA de la gestión de empresas del norte del Perú.....	78
Tabla 30. Descripción de los costos de accidentes de trabajo.....	89
Tabla 31. Riesgos asociados a la actividad de fundición de metales. ....	89
Tabla 32. Programación de contenidos de preparación y dosificación de la mezcla de moldeo .....	98
Tabla 33. Programación de contenidos de conformación del molde.....	102
Tabla 34. Programación de contenidos de gestión de la materia prima .....	105
Tabla 35. Programación de contenidos de proceso de control y ajuste de parámetros de calidad del caldo y funcionamiento del cubilote .....	107
Tabla 36. Programación de contenidos de proceso de fusión y colada en horno de cubilote .....	109
Tabla 37. Programación de contenidos de metalurgia física de las fundiciones grises	112
Tabla 38. Programación de contenidos de control de calidad de piezas de fundición gris .....	115
Tabla 39. Programación de contenidos de aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades .....	118
Tabla 40. Programación de contenidos de producción de fundición nodular en horno de cubilote .....	121
Tabla 41. Programación de contenidos de gestión microempresarial .....	124
Tabla 42. Programación de contenidos de gestión de seguridad, salud y medioambiente .....	128
Tabla 43. Recomendaciones para las etapas de fusión y colada .....	135
Tabla 44. Recomendaciones para gestión de empresas .....	136

## Lista de figuras

Figura 1. PBI industrial por departamento, 2016 .....	9
Figura 2. PERÚ: Participación de la industria en el PBI, 2009 – 2018.....	10
Figura 3. Producto Bruto Interno según manufactura, 2009 – 2018 .....	10
Figura 4. Esquema del proceso de fusión y colada del norte del Perú .....	22
Figura 5. Plancha de aro base para cocina con defecto de material faltante (defecto más común Taller 13) .....	27
Figura 6. Relación entre contenido de silicio (%) y espesor (mm) .....	32
Figura 7. Contenidos en carbono y silicio correspondientes a las fundiciones grises, a las fundiciones blancas y a los aceros .....	32
Figura 8. Gran cantidad de escombros y piezas terminadas, alrededor de los hornos de cubilote del Taller 6.....	34
Figura 9. Mala práctica de espolvorear arena de fundición sobre el caldo para separar la escoria, Taller 1. ....	42
Figura 10. Ventilador centrífugo de horno de cubilote de Taller 6 .....	50
Figura 11. Orificio de colada, se observa el primer hierro (hierro frío) .....	51
Figura 12. Carta de temperaturas de acuerdo al color de caldo.....	53
Figura 13. Esquema de tendencia al blanqueo, probeta tipo cuña. Profundidad de blanqueo (h) y blanqueo total (W) .....	55
Figura 14. Efecto del contenido de silicio en el blanqueo total. La línea sólida representa los valores experimentales de w y la línea discontinua los valores calculados de w. ....	56
Figura 15. Dimensiones para probeta de cuña (ASTM A367).....	57
Figura 16. Sección transversal de la muestra M30, Taller 5. Se muestran cavidades de forma irregular dentro de las paredes de la pieza. ....	61
Figura 17. Corte transversal de la muestra M19, Taller 1, con cavidades esféricas sub superficiales (sopladuras). ....	62

Figura 18. Picaduras superficiales en la superficie de la pieza M1, Taller 10 .....	63
Figura 19. Sección transversal de la muestra M23, Taller 4. Se muestran cavidades de forma irregular con inclusiones de escoria. ....	64
Figura 20. Superficie de la muestra M7 del Taller 13 (pieza de sección delgada), mostrando marcas de pliegues.....	65
Figura 21. Corte transversal de la muestra M27, Taller 4, presenta una inclusión metálica esférica dentro de una sopladura .....	65
Figura 22. Aro base con parte de fundición incompleta en la muestra M7 del taller 13.66	
Figura 23. Inclusiones de sulfuros de manganeso en toda la pieza (M7). Estado de pulido (no atacado). 200 X. ....	68
Figura 24. Identificación de inclusiones en la muestra M6. El microanálisis indica que la inclusión corresponde a sulfuro de hierro. Estado de pulido (no atacado).....	69
Figura 25. Inclusiones de sulfuros de manganeso (flecha roja) y microporos (flechas azules) de la muestra M6. Estado de pulido (no atacado). 200X .....	70
Figura 26. Notificaciones de accidentes de trabajo según forma de accidente, febrero 2019 .....	88
Figura 27. No utilizan EPP básicos (guantes, cascos, zapatos de seguridad y ropa de trabajo) ni especiales para altas temperaturas (Taller 1). Además, las posiciones ergonómicas son inadecuadas.....	91
Figura 28. Estructura del programa de capacitación para micro y pequeñas empresas de fundición.....	94

## **Introducción**

### **Justificación y antecedentes**

El Perú se caracteriza por ser una economía orientada a la exportación de recursos naturales e insumos al mercado internacional, y a la importación de productos elaborados o semielaborados de gran valor agregado. Si bien en el año 2018 se reportó que el porcentaje de participación de las exportaciones no tradicionales fue del 27% y el 73% de exportaciones tradicionales (BCRP, 2018), el país no ha logrado un crecimiento significativo de la industria manufacturera de los recursos naturales nacionales, como para satisfacer la alta demanda de la industria nacional e internacional.

Dentro de la actividad manufacturera, el sector fundición es uno de los más importantes debido a que los productos que genera son utilizados como insumos de primer orden en múltiples industrias, lo cual impacta directamente en el movimiento económico de un país (ODES, 2005).

Las aleaciones férreas más utilizadas en la industria son las fundiciones grises, debido a la relativa facilidad de su fabricación y a sus propiedades que les permiten, en algunas aplicaciones, competir con los aceros (Basso & Caldera, 2012). Las características metalúrgicas de estos materiales y la posibilidad de mejorar sus propiedades mediante el uso de elementos de aleación, tratamientos térmicos y el desarrollo de fundición nodular, justifican los continuos estudios desarrollados en diversas empresas, universidades y centros de investigación alrededor de todo el mundo.

Por otro lado, el horno de cubilote es uno de los equipos dentro del sector metalúrgico más importante en lo que a producción de hierro fundido se refiere, ya que posee ciertas ventajas únicas como, los bajos costos en la inversión inicial y de operación, que permiten obtener hierro fundido de buena calidad. Sin embargo, el horno de cubilote es muy sensible a cualquier cambio en las condiciones de operación y tiene un alto grado de contaminación en comparación con los hornos de inducción.

En sus inicios su desarrollo se impulsó empíricamente, pero en los últimos años numerosos estudios científicos y técnicos han permitido conocer el comportamiento en su interior, los diferentes procesos termoquímicos y las necesidades de cada unidad de fusión en particular. Asimismo, el horno de cubilote ha sido motivo de un sinnúmero de mejoras y modificaciones para incrementar su eficiencia y mejorar la calidad del hierro obtenido.

Actualmente, las medianas y grandes empresas de fundición de la capital han mejorado su infraestructura con el objetivo de ofrecer productos con altos estándares de calidad, gracias al desarrollo de proyectos mineros y energéticos. Sin embargo, el sector fundición de metales no ha crecido significativamente, pues las empresas dedicadas a este rubro en la costa norte del Perú pertenecen al sector de la micro y pequeña empresa (MYPE) y presentan cierto grado de informalidad, procesos artesanales, falta de capacitación en los procesos productivos y poca capacidad de inversión e innovación.

En este marco, CONCYTEC ha financiado el proyecto denominado “Impulso de la industria manufacturera de aleaciones férreas mediante el estudio de procesos de mejoramiento de la calidad de fundiciones grises producidas en el norte del Perú”, del cual esta tesis forma parte. El objetivo de este proyecto es impulsar el desarrollo de las micro y pequeñas empresas (MYPE) de fundición de la región norte del país, debido a que este tipo de empresas son consideradas como la fuerza impulsora del crecimiento económico, generación de empleo y reducción de la pobreza.

El proceso de fabricación de hierro gris en horno de cubilote aplicado en el norte del Perú comprende varias etapas desde la adquisición de materia prima hasta el desmoldeo de la pieza terminada, de ellos se analiza en esta tesis la etapa de fusión y colada. Las otras partes del proceso han sido estudiadas en: “Influencia de la materia prima en las fundiciones grises en el norte del Perú” (Vargas, 2017), “Diagnóstico de la calidad del proceso de moldeo y preparación de arenas de fundiciones grises en el norte del Perú” (Cardoza, 2019).

Asimismo, se ha investigado la incidencia del diseño del horno de cubilote en la calidad final de las piezas en la tesis “Impacto del diseño del cubilote y combustible en la calidad de las fundiciones grises del norte del Perú” (Morales, 2019).

Otros trabajos de investigación realizados en el marco del proyecto son: “Diagnóstico de sector de fundición en el norte del Perú” (Guerrero, 2018) y el “Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición” (Guerrero & Yaksetig, 2018).

Todos estos estudios permiten obtener el diagnóstico completo y brindar conclusiones generales del sector fundición de metales en la región norte de Perú.

## **Objetivos**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es identificar los puntos críticos del sector fundición en la región norte del Perú, referidos a la etapa de fusión, colada, y gestión microempresarial. Se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Diagnóstico del proceso de fusión y colada de la fabricación de fundiciones en la región norte del Perú.
- Proponer un programa de capacitación para micro y pequeñas empresas de fundición.

## Metodología

Como al inicio de toda investigación, se realiza una búsqueda de información relacionada al proceso de fabricación de fundiciones grises en horno de cubilote, con el propósito de estudiar y conocer los procedimientos recomendados por la literatura técnica y comparar con lo identificado en los talleres de fundición de la región norte del país.

Para elaborar el diagnóstico de los procesos de fusión y colada, y gestión de empresas de la industria manufacturera en la región norte del Perú se identificaron los talleres de fundición que realizan su proceso productivo en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. De la totalidad de los talleres se consiguió la participación activa de diez, a los que se visitó frecuentemente para conocer los procesos que aplican para la obtención de sus productos. Además, se aplicó una encuesta que consta de 38 ítems dividida en cuatro secciones principales: caracterización general; materias primas, insumos y calidad; moldeo y control de arenas y fusión y vaciado.

En el primer capítulo se presenta el impacto de la industria manufacturera de aleaciones en la economía del Perú, a través del estudio de las características y estructura del sector manufacturero y su aporte al PBI peruano.

En el segundo capítulo, se realiza la caracterización de las etapas de fusión y colada a través de la descripción de dichos procesos, tal cual se ejecutan en los talleres de fundición de la región norte del Perú indicando lo recomendado por la literatura técnica.

En el tercer capítulo, se describen los defectos macroscópicos encontrados en las piezas analizadas que tienen su origen en diversos aspectos del proceso de fusión y colada, desde la selección de materias primas e insumos hasta la etapa de colada. Asimismo, se realiza un análisis FODA para identificar los puntos críticos y brindar propuestas de mejora en los procesos de fusión y colada, y gestión de empresa.

Por último, en el cuarto capítulo se presenta un programa de capacitación para las micro y pequeñas empresas (MYPE) de fundición elaborado a partir de los problemas prioritarios identificados en todo el proceso de fabricación de fundiciones grises. En este capítulo se detallan los fundamentos, el contenido y la metodología de cada uno de los cursos que conforman los seis componentes del programa de capacitación.





## Capítulo 1

### **Impacto de la industria manufacturera de aleaciones en la economía peruana**

El Perú se caracteriza por ser una economía orientada a la exportación de recursos naturales e insumos al mercado internacional, y a la importación de productos elaborados o semielaborados de gran valor agregado.

Este escenario no es beneficioso para una economía en desarrollo, debido a que nos hace un país demasiado sensible y dependiente de los precios internacionales de las materias primas.

El sector industrial manufacturero de aleaciones tiene cualidades importantes para la diversificación productiva, generación de empleo y el crecimiento económico del país. Además, la ventaja de este sector radica en su capacidad de expansión a través del comercio internacional.

En el presente capítulo se analiza el sector industrial y su contribución en el desarrollo económico del país, centrado en el subsector fundición de hierro y acero y en la identificación de la demanda de piezas para las industrias del norte del Perú.

## **1.1. Análisis del desarrollo del sector manufacturero**

### **1.1.1. Estructura del sector manufacturero peruano**

El estudio de la estructura del sector manufacturero peruano se apoyó en el análisis regional de empresas industriales de La Dirección General de la Industria (DGI), basado en el Censo Nacional de Empresas Manufactureras ejecutado en los años 2007 y 2008<sup>1</sup>. Los resultados de este Censo Nacional muestran que, sólo el 8,3% del total de empresas se dedican al sector industrial manufacturero.

El sector manufacturero peruano se caracteriza por ser una industria con alta heterogeneidad productiva. Es así que, más del 40% del total de empresas manufactureras son principalmente de la industria de productos alimenticios y bebidas, refinación de petróleo y productos de minerales no metálicos (SNI, 2018).

Otra característica del sector manufacturero nacional, es que el Perú a pesar de tener un aparato productivo de un país primario exportador, no ha desarrollado significativamente la industria manufacturera de los recursos naturales nacionales (minerales, gas, petróleo y otros), reflejado en la poca actividad de los sectores: siderometalúrgico, minería no metálica, petróleo y derivados (< 4% del total empresas manufactureras), como para satisfacer la demanda de la industria nacional e internacional (Cárdenas, 2009).

Además, la industria manufacturera peruana es una industria centralizada en la capital de la república y la provincia constitucional del Callao, con la presencia de más del 60% del total de empresas manufactureras (SNI, 2018).

Asimismo, el sector manufacturero nacional se distingue por la heterogeneidad productiva entre departamentos, mostrada en el pobre desarrollo de la industria manufacturera en departamentos que se encuentran geográficamente lejos del litoral (sierra y selva) y sin accesos al comercio exterior.

---

<sup>1</sup> En el 2015, se realizó la Encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera, sin embargo, la actividad de fundición sólo aparece desarrollada en la capital. Por lo que, este análisis se hace en base a los datos del Censo Nacional de Empresas Manufactureras (2007-2008).

El poco crecimiento de la industria manufacturera en la sierra y selva del Perú se evidencia en los nueve departamentos (Amazonas, San Martín, Huánuco, Cerro de Pasco, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Madre de Dios y Tacna) con valores menores al 1% del total de empresas manufactureras (ver figura 1).



Figura 1. PBI industrial por departamento, 2016 (% Participación)

Fuente: SNI

En consecuencia, el mapa manufacturero del Perú es de una costa (Lima, La Libertad y Arequipa) con industria manufacturera significativamente importante, con departamentos relativamente industrializados vinculados al litoral. También, la actividad industrial de la sierra y selva es predominantemente extractiva o productora de alimentos u otras actividades, sin valor añadido (ver figura 1).

Por último, las ramas más influyentes en la industria manufacturera respecto a la creación de empleo permanente son: alimentos y bebidas, prendas de vestir y de piel, muebles, textiles y fabricación de productos metálicos, en orden de importancia. Sin embargo, los empleos generados por estas actividades carecen de nivel de desarrollo tecnológico contemporáneo, debido a la ausencia de personal altamente capacitado (Cárdenas, 2009).

### 1.1.2. Industria manufacturera y su aporte al PBI nacional

La industria peruana tiene una predominante presencia en la economía, su aporte al PBI nacional fue del 13,3% en el año 2018. Los ingresos tributarios aportados por la industria peruana fueron de 18% (S/13 944 millones). Además, la industria manufacturera es la responsable de la generación de 1,5 millones de empleos y representa más del 65% del total de bienes de capital importados (SNI, 2018).

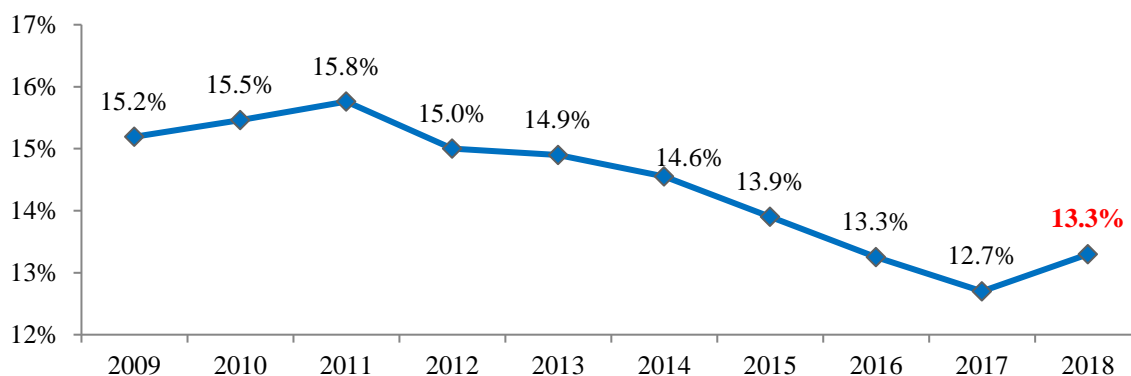


Figura 2. PERÚ: Participación de la industria en el PBI, 2009 – 2018 (Distribución % en soles constantes de 2007)

Fuente: SNI

A pesar de que la industria manufacturera acumuló una caída de 4,2% en el periodo del 2014 al 2016, en el año 2018 presentó un crecimiento significativo del 6,2% (ver figura 3).

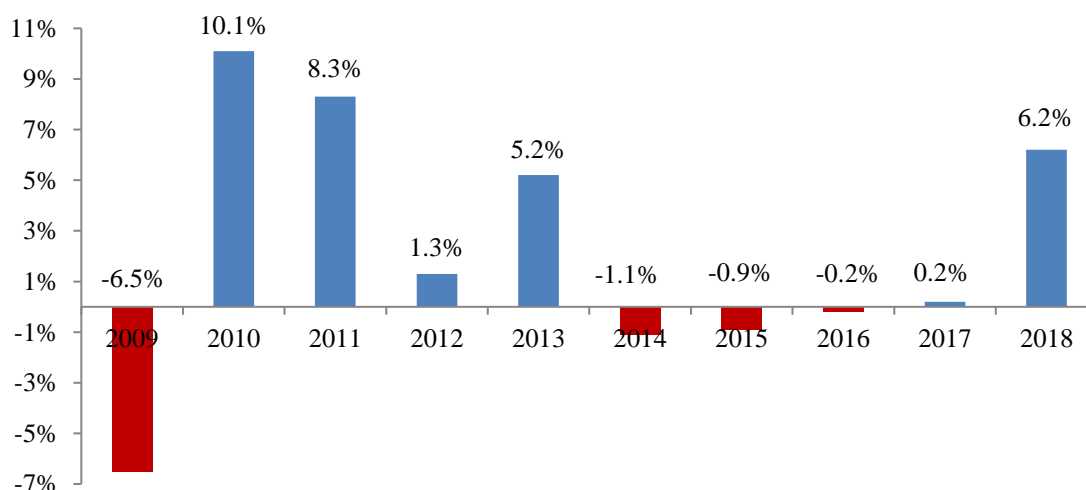


Figura 3. Producto Bruto Interno según manufactura, 2009 – 2018 (Variación porcentual del índice de volumen físico)

Fuente: INEI

Si bien la industria manufacturera creció en un 6,2%, este crecimiento no se ve reflejado en el subsector fundición de hierro y acero, pues la industria nacional produce menos del 50% del total de aleaciones metálicas que se requieren en el país. En el caso del acero, únicamente se produce aceros estructurales de aplicaciones generales y más del 30% que se consume en el mercado nacional es importado (CONCYTEC, 2016).

## **1.2.Subsector fundición de metales en el Perú**

La actividad manufacturera estudiada en esta tesis es la fundición de hierro y acero, la cual, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU, 2008), pertenece a la sección C (industrias manufactureras), a la división 24 (fabricación de metales comunes) y a la clase 243(fundición de metales).

En la actualidad, las medianas y grandes empresas de fundición han mejorado su infraestructura con el objetivo de ofrecer productos con altos estándares de calidad, gracias al desarrollo de proyectos mineros y energéticos. Asimismo, el sector metalmecánico emplea a 270 000 personas entre directos e indirectos, y el 70% de ventas del sector metalmecánico corresponden al sector minería (Cruz, 2014).

En el Perú, se formó la Asociación de Empresas Privadas Metalmecánicas del Perú (AEPME), que reúne a los 25 principales productores metalmecánicos del país, los cuales han generado, en el 2013, más de \$1 000 millones anuales en ventas con una producción de 200 000 ton de acero. Entre las principales empresas, dedicadas al sector fundición hierro y acero, que forman este gremio (AEPME), se encuentran: Fundición Ferrosa, Fundiciones Especiales S.A. (FUNESPA), Hidrostral y Metalúrgica Peruana S.A. (MEPSA), todas ubicadas en el departamento de Lima y en la provincia constitucional del Callao. Estas empresas poseen tecnología de proceso desarrolladas y capacidad de innovación e inversión (Cruz, 2014).

Pese al crecimiento del subsector de fundición de metales, este no se encuentra lo suficientemente desarrollado como para satisfacer la demanda de aleaciones y piezas metálicas de la industria nacional.

El sector fundición de metales no ha crecido significativamente en el resto de los departamentos del país, es así como, las empresas dedicadas a este rubro en la costa norte del Perú pertenecen al sector de la micro y pequeña empresa (MYPE) y presentan cierto grado de informalidad, procesos artesanales, falta de capacitación en los procesos productivos y poca capacidad de inversión e innovación.

Para objetivos de esta tesis, se han seleccionado tres departamentos de la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque y La Libertad) por su importante crecimiento económico que se ve evidenciado con la presencia de grandes empresas, que a su vez requieren piezas para mantener sus sistemas operativos.

### **1.2.1. Sector fundición de metales en Piura**

El crecimiento económico promedio anual del departamento de Piura fue de 3,9%, tasa inferior a la registrada a nivel nacional (4,8%) y superior a departamentos como La Libertad (3,6%) (BCRP, 2017).

La principal actividad económica de Piura es la manufactura. Según la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT), existen 4 060 empresas que realizan actividades de manufactura, que tienen RUC, se encuentran activas, con negocio y que tributan en tercera categoría, lo cual representa el 6,9% del total de empresas activas con negocio.

Asimismo, el porcentaje de participación de las micro, pequeñas y medianas/grandes empresas es 96,5%, 3% y 0,5%, respectivamente. La DGI (2011), indica que las principales actividades manufactureras del departamento de Piura que concentran al mayor número de empresas es la elaboración de alimentos y bebidas (1 325 empresas), edición e impresión (820 empresas), fabricación de productos de metal (600 empresas), fabricación de muebles (339 empresas), manufactura de madera (323 empresas) y productos textiles (171 empresas).

En la Dirección General de Industria de Piura y la Cámara de Comercio de Piura se tienen datos generales del sector fabricación de productos de metal, pero no se realiza una distinción entre las empresas dedicadas a la fundición de hierro y las que se dedican al sector metalmeccánico.

Para conocer el universo de empresas del subsector fundición de metales, se realizaron diversas visitas a los talleres metalmeccánicos que solicitan servicios de los fundidores. En la provincia de Sullana se contactaron 2 empresas dedicadas a este subsector, una de las cuales produce mayoritariamente piezas de material no ferroso. Además, en la provincia de Piura se identificaron que 3 empresas estaban enfocadas en la fundición de metales, de las cuales sólo una de ellas fabricaba piezas de fundición gris. Cabe resaltar que existen otros talleres en las provincias de Sechura y Talara.

Es preciso indicar que, el crecimiento económico del departamento de Piura ha permitido el desarrollo de ramas industriales preponderantes como los hidrocarburos, productos hidrobiológicos, agroindustria y productos textiles, los cuales tienen un grado de procesamiento primario de los recursos naturales. Uno de los más grandes proyectos lo constituyen la modernización de la refinería de Talara (PETROPERÚ) y el término de la construcción de la planta de cemento de la empresa Cementos Pacasmayo (BCRP, 2017).

Además, desde el punto de vista del sector agroindustrial, las empresas más importantes son: Cepicafe (Central Piurana de Cafeteros), El Pedregal S.A, Empacadora de frutos tropicales S.A.C y Molinos & CIA S.A.C. En el rubro del sector alimentos y bebidas se encuentran las empresas Alicorp S.A, Ecoacuicola, Dole fresh fruit international y DSM Marine Lipids. También, en el sector pesca sobresalen las empresas Dexim, Industrias bioacuáticas y Coishco. Por su parte, Caña Brava es la empresa más representativa en la producción de etanol del departamento de Piura.

Asimismo, el departamento de Piura concentra la mayor (49%) participación en las exportaciones de minería no metálica. La empresa más importante de este rubro es fosfatos Bayóvar (Miskimayo), que exporta principalmente: fosfatos de calcio naturales, aluminocálcicos naturales y cretas fosfatadas sin moler.

Sin embargo, la alta demanda de piezas fundidas de estas grandes industrias es atendida por empresas de la capital o importaciones, debido a la baja calidad de las piezas que ofrecen los talleres de la localidad. Esto supone una desventaja tanto para el sector de fundición local como para las industrias que deben esperar varios meses a que los repuestos lleguen a Piura.

### **1.2.2. Sector fundición de metales en Lambayeque**

En el año 2017, el departamento de Lambayeque representó el 2,7% de la producción nacional, ocupando el octavo lugar en la economía en términos del PBI, a pesar de ser el segundo departamento más pequeño después de Tumbes (BCRP, 2017).

En el año 2009, las MYPE dedicadas al sector manufacturero eran 7616 (9,7%) de un total de 78 514 empresas (Jiménez, 2015). El sector industrial del departamento de Lambayeque ha crecido debido a la expansión de la manufactura primaria, por la mayor disponibilidad de materia prima para la industria azucarera, y la manufactura no primaria, la cual, presentó un comportamiento positivo debido a los incrementos en la producción de arroz pilado y café, jugo de frutas, aceite esencial de limón, cáscara deshidratada de limón y alcohol etílico.

Entre las ramas industriales predominantes no figura la actividad de fundición de metales. Al igual que para el departamento de Piura, la identificación de empresas dedicadas a esta actividad se realizó mediante visitas a los talleres metalmecánicos que solicitan piezas de fundición de la región. En Lambayeque se contactaron a 4 empresas que estaban enfocadas en el subsector fundición de metales, de las cuales 3 producen piezas de fundición gris.

Cabe resaltar que, en el departamento de Lambayeque, se concentran grandes industrias como: Tumán (industria azucarera), Pomalca (industria azucarera), Agro Pucalá (industria azucarera), Gandules (producción de frijol palo verde), Agroindustrias AIB, Altomayo (industria café), San Roque y PRONATUR (agroexportación). Asimismo, una de las más importantes plantas cerveceras del grupo Backus radica en este departamento.

### **1.2.3. Subsector fundición de metales en La Libertad**

En el departamento de La Libertad, el crecimiento económico promedio anual fue de 4,4% (BCRP, 2013). Según la SUNAT, existen 7 409 empresas que realizan actividades de manufactura, que tienen RUC, se encuentran activas, con negocio y que tributan en tercera categoría, lo cual representa el 10,4% del total de empresas activas con negocio (DGI, 2011).

Las principales actividades manufactureras del departamento de La Libertad que concentran al mayor número de empresas son la actividad de curtido de adobos y cueros (2 757 empresas), elaboración de alimentos y bebidas (895 empresas), productos de metal (694 empresas), prendas de vestir y teñido de pieles (686 empresas) y edición e impresión (694 empresas) (DGI, 2011).

La Dirección Regional de la Producción señala que existen 19 empresas dedicadas a la fundición de metales al año 2016. Del total de empresas 8 empresas están enfocadas en la producción de fundición de hierro y de acero.

En cuanto a la demanda de piezas de fundición, en La Libertad radican grandes empresas como: Casa Grande S.A. (industria azucarera), Cartavio S.A. (industria azucarera) y Agroindustrial Laredo S.A. (industria azucarera).

La minería es la quinta actividad más importante por su participación en el PBI departamental, y se caracteriza por producir polimetálicos (oro, cobre, plomo y zinc). La empresa más importante del rubro es la unidad minera Lagunas Norte.

### **1.3. Identificación de la demanda de piezas en las industrias del norte del Perú**

Como se ha identificado en el estudio, el sector fundición de hierro y acero en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, está constituido por micro y pequeñas empresas, las cuales tienen un alto grado de informalidad, poca capacidad de inversión e innovación y falta de capacitación (Guerrero, 2018).

La concentración de grandes industrias en la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque y La Libertad) constituyen la alta demanda de piezas y elementos de máquinas de aleaciones metálicas fundidas que cumplan con estándares internacionales de calidad, para abastecer las industrias petroleras, agroindustriales, pesqueras, mineras, etc.

En este contexto, se realizó un estudio de los requerimientos de productos de fundición de las empresas más representativas del sector industrial de la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque y La Libertad), con la finalidad de que las MYPE tengan un mejor conocimiento de la demanda regional que en muchos casos son atendidos por las empresas de fundición de la capital o importados. El conocimiento del mercado de fundiciones representa una reducción del riesgo al fracaso, impulsando la inversión para producir otros materiales, como hierro fundido esferoidal, diversificando la canasta productiva.

En la tabla 1, se muestra el requerimiento de las piezas de los principales sectores productivos que radican en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. Estos datos se presentan según actividad industrial, por tipo de máquina del cual forma parte la pieza requerida, tipo de material, específicamente hierro fundido o hierro fundido esferoidal. Asimismo, se indican los proveedores los cuales son empresas de fundición nacionales y/o productos importados.

Tabla 1. Piezas requeridas por los principales sectores industriales del norte del Perú.

Actividad industrial	Tipo de máquina	Pieza requerida	Tipo de material	Proveedores
Petróleo y sus derivados	Bomba vertical	Barras cilíndricas para pistones	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Tubos para bocinas o cilindros de la caja de líquidos	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Contrapesos y soportes	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Carcasa de bomba	Hierro fundido	Repuestos originales importados
		Anillos de compresión	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
Pesca	Bomba centrífuga	Impulsores	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Volutas de bombas	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales

Tabla 1. Piezas requeridas por los principales sectores industriales del norte del Perú (continuación)

Actividad industrial	Tipo de máquina	Pieza requerida	Tipo de material	Proveedores
Producción de etanol	Bomba centrífuga	Carcasa de bomba	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
	Reductores	Carcasa de reductores	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
	Transporte de caña de azúcar	Chumaceras	Hierro fundido	Repuestos importados
	Caldera	Grillas	Hierro fundido	Repuestos importados
	Molinos	Cascos de masas de molinos	Hierro fundido	Repuestos importados
Agrícola	Sistema de riego y bombeo	Carcasa de bomba	Hierro fundido	Fundiciones nacionales / importados
		Impulsores	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales / importados
		Bridas de tuberías,	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
		Válvulas y repuestos de válvulas	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales / importados
		Codos de tuberías	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
	Maquinaria agrícola	Soporte de cojinetes	Hierro fundido	Repuestos importados
		Bloque de cilindro para motor	Hierro fundido	Repuestos importados
		Carter de aceite	Hierro fundido	Repuestos importados
		Rueda volante	Hierro fundido	Repuestos importados
		Asiento de eje	Hierro fundido	Repuestos importados
		Engranajes cilíndricos y poleas	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
		Cajas reductoras	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
	Producción de azúcar/ alcohol/ melaza/ bagazo	Sistema de bombeo	Carrete de bomba SULZER	Hierro fundido esferoidal
Corona 18TH punta			Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
Chumaceras triangulares			Hierro fundido	Fundiciones nacionales
Caja de rodaje de bomba inatorable			Hierro fundido	Fundiciones nacionales
Caja de impelente de bomba SULZER			Hierro fundido	Fundiciones nacionales
Tapa de rodajes			Hierro fundido	Fundiciones nacionales
Molino		Cuchilla central de molino	Hierro fundido	Fundiciones nacionales

Tabla 1. Piezas requeridas por los principales sectores industriales del norte del Perú (continuación)

Actividad industrial	Tipo de máquina	Pieza requerida	Tipo de material	Proveedores
Construcción	Maquinaria pesada	Ganchos para grúas	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Poleas	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
		Trituradoras	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
Actividades varias	Maquinaria en general	Acoplamiento y accesorios en general	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Válvulas mariposa	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Válvula de montaje	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
	Máquinas herramientas	Volantes	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
		Cabezal de torno	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Bancadas	Hierro fundido	Repuestos importados
		Accesorios de torno	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
	Elementos de transmisión y otros	Cajas de transmisión	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
		Cajas de cambio	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
		Manivelas	Hierro fundido esferoidal	Repuestos importados
		Planetarios	Hierro fundido esferoidal	Fundiciones nacionales
		Graseras	Hierro fundido	Fundiciones nacionales
		Juntas	Hierro fundido	Fundiciones nacionales

Fuente: Identificación de piezas de fundición esferoidal en el norte del Perú (2018)

## Capítulo 2

### Características de fusión y colada de fundiciones grises en el norte del Perú

La expansión del mercado de fabricación de metales para las MYPE de la costa norte del Perú (Piura, Lambayeque y La Libertad), está condicionada a la mejora de la calidad de las piezas fabricadas, lo cual depende del cumplimiento de normas técnicas nacionales e internacionales, y el desarrollo de procesos cada vez más eficientes.

El proceso de fabricación de hierro gris en horno de cubilote aplicado en el norte del Perú comprende varias etapas desde la adquisición de materia prima hasta el desmoldeo de la pieza terminada, de ellos en esta sección se analiza la etapa de fusión y colada. La caracterización de la etapa de fusión y colada se realizó a través de múltiples visitas a diez talleres de fundición gris ubicados en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad.

Asimismo, el instrumento que permitió recoger información detallada del proceso de fusión y colada fue una encuesta con 38 preguntas (ver Anexo A), respondida por los propietarios de los talleres participantes. La encuesta fue diseñada por profesionales de la Universidad Nacional de Colombia y está dividida en cuatro secciones principales: caracterización general; materias primas, insumos y calidad; moldeo y control de arena; y fusión y vaciado, entre preguntas cualitativas y cuantitativas.

La sección de materias primas, insumos y su calidad, consta de una tabla con una serie de productos, donde se debe indicar si son utilizados en cada uno de los talleres, si se aplica algún criterio para controlar la calidad en la recepción de estos productos o al inicio del proceso de definición de un nuevo proveedor.

Además, la sección de fusión y vaciado contiene 16 preguntas relacionadas con: porcentaje de rechazos y tipos de defectos, tratamiento del metal fundido, tipos de hornos y capacidad, y control de temperatura y composición química.

Los talleres colaboradores del presente trabajo de investigación entregaron muestras de fundición gris, y en algunos casos, de la materia prima que utilizan para su caracterización completa. En la tabla 2, se presentan las muestras entregadas por los diez talleres participantes. Además, se obtuvieron piezas de chatarras mostradas en la tabla 3.

A todas estas piezas (muestras y chatarra) se les realizó análisis químico, análisis metalográfico y análisis mecánico. Algunos talleres entregaron muestras de barras con medidas estandarizadas a las cuales se realizó el ensayo de tracción, caso contrario sólo se aplicó el análisis de dureza.

Tabla 2. Relación de muestras entregadas por los talleres participantes

Departamento	Taller	Tipo de muestra	Designación	Departamento	Taller	Tipo de muestra	Designación
Piura	Taller 1	Barra	M19	Lambayeque	Taller 6	Barra	M12
		Barra	M20		Taller 8	Trozo	M14
		Barra	M21			Pieza	M15
		Barra	M22			Pieza	M16
	Taller 4	Barra	M23	La Libertad	Taller 9	Barra	M17
		Barra	M24		Taller 10	Barra	M1
		Barra	M25			Barra	M2
		Barra	M26			Barra	M3
		Barra	M27		Taller 11	Barra	M5
		Barra	M28		Taller 12	Manguito	M6
		Barra	M29		Taller 13	Aro base	M7
	Taller 5	Barra	M30	Trozo		M8	
	Lambayeque	Taller 6	Barra	M11		Barra	M9

Tabla 3. Chatarra empleada en los talleres de fundición

Procedencia	Tipo de chatarra	Designación
Taller 1	Bancada de motor	C5
Taller 13	Carcaza de bomba delgada	C1
	Carcaza de bomba gruesa	C2
	Volante de motor 1	C3
	Volante de motor 2	C4
Chatarrería de Sullana (Piura)	Barra cilíndrica	C6
	Cilindro de metal	C7
	Válvula	C8
	Disco	C9
	Motor	C10
	Trozo	C11

En el norte del Perú, las MYPE dedicadas al sector fundición de hierro gris, cuentan con procedimientos empíricos, artesanales y poco tecnificados, adquiridos por sus antecesores. Sin embargo, aún con los equipos e instalaciones rudimentarias con que cuentan las empresas fundidoras, son capaces de obtener piezas de mediana exigencia, alcanzando desde el punto de vista mecánico la clase 30 (ver tabla 4), según la norma ASTM A48.

Tabla 4. Resumen de la caracterización mecánica de las piezas

Caracterización mecánica	
Descripción	Nº
Menor Clase 20 (defectos)	4
Clase 20	4
Clase 25	7
Clase 30	1

Fuente: (Guerrero, 2018)

El horno de cubilote es el horno más usado en la fundición del hierro colado, debido a su simplicidad y bajo costo de fusión. El cubilote es un horno de torre vertical recubierto en su interior por material refractario y equipado con una caja de viento y un número determinado de toberas. En la parte superior cuenta con una puerta de carga para la introducción de materia prima (chatarra y combustible sólido).

A continuación, se describirá detalladamente las actividades que se desarrollan en el proceso de fusión y colada en los talleres de fundición asentados en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, en base al esquema presentado en la figura 4.

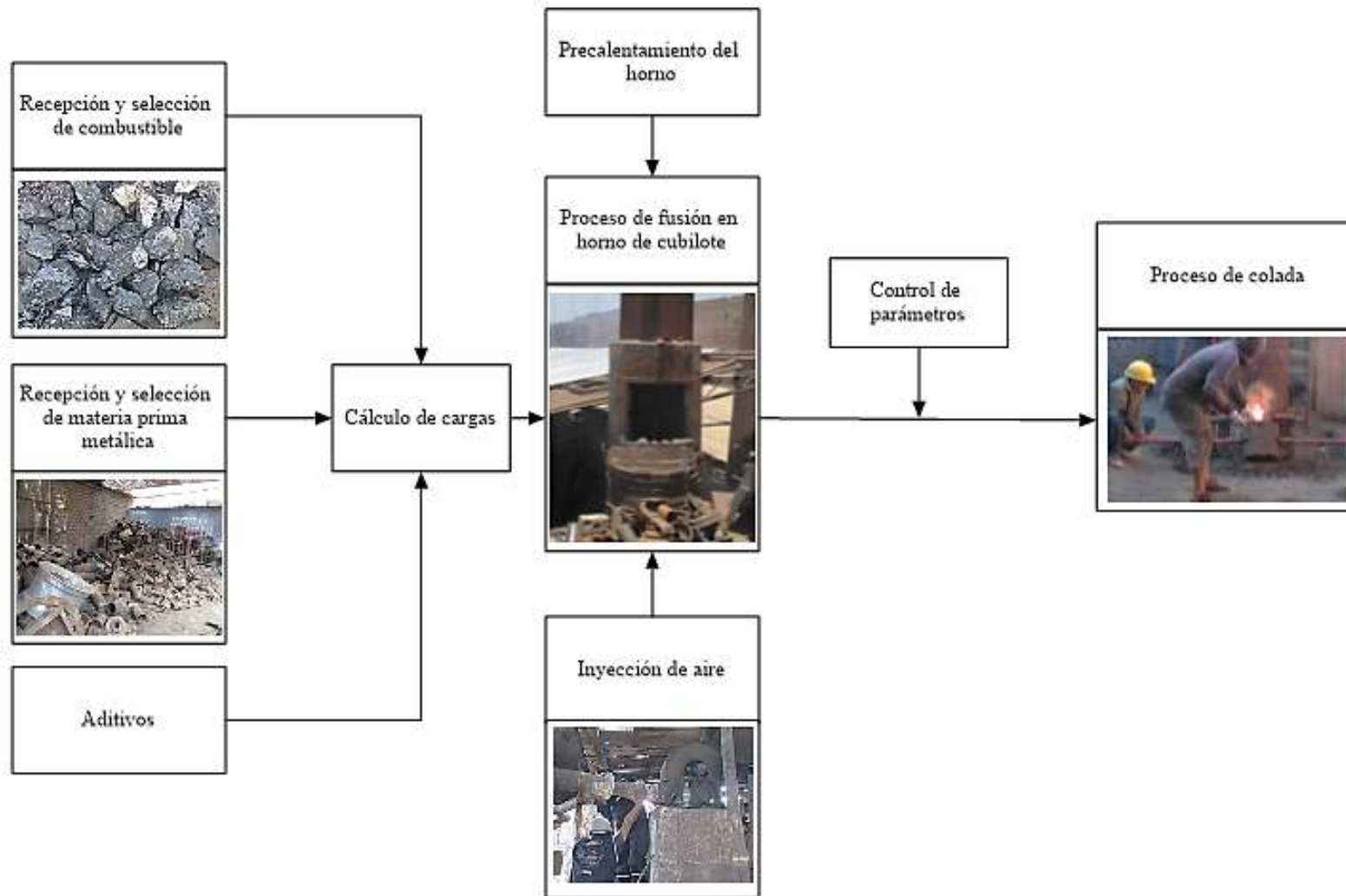


Figura 4. Esquema del proceso de fusión y colada del norte del Perú

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de fusión y colada en horno de cubilote comprende las siguientes actividades: recepción y selección de la materia prima, uso de aditivos, cálculo de cargas, precalentamiento del horno, inyección del aire soplado, operación del horno, colada y control de parámetros.

## **2.1. Recepción y selección de la materia prima**

La etapa de recepción y selección de la materia prima contempla las siguientes actividades: recepción, almacenamiento e industrialización de la materia prima.

### **2.1.1. Recepción y selección de combustible**

El combustible es responsable de tres procesos importantes en el horno de cubilote: suministro de energía para fundir y sobrecalentar el hierro, proporcionar carbono al metal líquido y soportar la carga. Las propiedades físicas y composición química del combustible sólido influyen también, en la calidad del metal obtenido.

El combustible sólido ideal para trabajar en el horno de cubilote es el coque, por su bajo contenido de azufre (0,03%), bajo contenido de humedad (4% máximo) y menor contenido de materiales volátiles (1,5% máximo).

En el norte peruano, no se realiza una selección del combustible, en base a sus propiedades físicas y/o composición química. Por lo general, el combustible adquirido es el que se encuentra disponible en el mercado, el cual suele ser antracita de baja calidad no apropiada para esta aplicación, como se explica más adelante.

En la tabla 5, se presenta el análisis químico de dos muestras de combustible proporcionados por los talleres de fundición participantes. La muestra 1 y 2 de combustible, califican como semi-antracita y hulla, respectivamente. Además, en la tabla 5 se muestran las características químicas del coque indicadas por la literatura técnica.

Tabla 5. Composición química del coque y dos muestras de combustible de los talleres 1 y 12

Características	Muestra 1	Muestra 2	Coque
Humedad total (%)	6,91	7,74	4% máx
Materiales volátiles (% base seca)	6,12	6,95	1,5% máx
Cenizas (% base seca)	3,29	11,31	7 - 10
Carbón fijo (% base seca)	90,52	81,67	84 - 90
Azufre (% base seca)	1,74	1,91	0,03
Poder calorífico (kcal/kg base seca)	7825	7123	7003
Cloro (%)	0,019	0,282	-

Fuente: (Guerrero, 2018)

De acuerdo con la composición química del coque, las muestras 1 y 2 se encuentran por encima del límite máximo de humedad. El alto porcentaje de humedad incide en el mayor consumo de energía durante la operación del cubilote, menor temperatura del caldo, posibles consecuencias de rápido enfriamiento y aparición de poros o sopladuras en las piezas fabricadas por la introducción de hidrógeno.

Asimismo, los valores de materiales volátiles sobrepasan los límites admisibles. Esta característica hace que el encendido sea más rápido, con la desventaja de que la autoignición pueda originar fisuras dentro del combustible.

Respecto al porcentaje de cenizas, la muestra 1 se encuentra por debajo del límite inferior mientras que la muestra 2 presenta una ligera cantidad de cenizas por encima del rango. Este tipo de impurezas está relacionado con el mayor consumo de fundente para balancear la sílice de las cenizas y mayor consumo de combustible para fundir la escoria formada.

El contenido de carbono fijo representa la porción de combustible que libera calor durante la combustión. La muestra 1 presenta mejores características respecto al contenido de carbono fijo. Las muestras analizadas presentan mayores valores de poder calorífico, lo que representa mayor cantidad de energía entregada durante la combustión.

Además, el cloro tiene un efecto sobre la desulfuración ya que disminuye la relación Ca/S en un 12% por cada 0,25%Cl (ASTM D3172). La muestra 2 presenta un mayor porcentaje de cloro, lo cual representa un problema en la desulfuración usando calcio.

El contenido de azufre de ambas muestras se encuentra por encima del límite máximo permisible. Este parámetro es un indicador de la calidad del combustible, debido a que la absorción de este elemento por el metal fundido generará defectos en las piezas. Además, este elemento puede generar gases nocivos para la salud y el ambiente.

En relación con el tamaño adecuado del combustible oscila entre 90 y 250 mm. La elección dependerá del diámetro interno del horno de cubilote.

### **2.1.2. Recepción y selección de materia prima metálica**

Uno de los problemas principales en la fabricación de hierro fundido normalizado, es la recepción y selección de la materia prima metálica.

#### **2.1.2.1. Recepción**

En la etapa de recepción de la materia prima metálica, el fundidor debe poner principal atención a las características del material tales como: cantidad, tamaño, contaminación y peso. Asimismo, es necesaria una inspección visual rigurosa para identificar el grado y calidad de la chatarra. Todo esto con la finalidad de determinar si cumple o no con los requisitos para su utilización dentro del proceso productivo.

Actualmente, en el norte del Perú las empresas de fundición no exigen a sus proveedores, estándares de calidad de chatarra, esto propicia que los depósitos de chatarra que los abastecen no se vean en la necesidad de limpiar, trozar y/o clasificar la chatarra, por lo que desconocen el tipo de material que les venden.

### 2.1.2.2. Almacenamiento

La literatura técnica recomienda utilizar como materia prima metálica chatarra y arrabio, material de composición química estandarizada. Este último no se ajusta a la realidad de las MYPE de la costa norte del Perú, pues su adquisición significaría costos muy elevados.

En el norte peruano, la materia prima metálica usada es, principalmente, chatarra de hierro fundido y, en menor medida, chatarra de acero. A pesar de que, se utilizan diferentes tipos de chatarra no se realizan los procesos de clasificación y apilamiento, por lo que se desconoce la composición química promedio de la chatarra que ingresa al horno y, por ende, la composición química del caldo que sale del mismo.

Para clasificar la chatarra es necesario conocer que su calidad depende de tres aspectos: homogeneidad de la composición química, naturaleza física y su origen. Respecto a la homogeneidad de la composición química y origen, se puede clasificar en: chatarra que se produce internamente (chatarra de fábrica) y chatarra que se adquiere externamente.

#### a. Chatarra de fábrica o de “casa”

De acuerdo a lo indicado por la literatura técnica, este tipo de chatarra tiene mayor calidad o regularidad, respecto a composición química, que las chatarras de procedencia externa. Esto se cumple cuando los talleres de fundición tienen procesos establecidos y fabrican piezas de clase estandarizada. No obstante, las empresas de fundición del norte del Perú no obtienen piezas de composición química estandarizada. Por lo tanto, este tipo de chatarra es de baja calidad y alta heterogeneidad química.

A este grupo de chatarra pertenecen las mazarotas, bebederos, canales de colada, entre otros que forman parte del sistema de colada y alimentación, y piezas defectuosas o rechazos de coladas anteriores. Los talleres estudiados, presentan en promedio un porcentaje de piezas rechazadas del 15%. En la figura 5, se observa el defecto de material faltante, el cual constituye el defecto más común causante de rechazos, del Taller 13.

En algunos talleres forma parte de la chatarra de fábrica, las virutas del área de mecanizado (torno, fresadora, etc.). Se recomienda evitar el uso de virutas que salen de operaciones de maquinado, porque suelen estar contaminadas con lubricantes para corte que contienen azufre.



Figura 5. Plancha de aro base para cocina con defecto de material faltante (defecto más común Taller 13)

#### **b. Chatarra de procedencia externa**

La chatarra de procedencia externa está constituida por piezas viejas, rotas o desgastadas que se refunden nuevamente. La chatarra comprada puede variar ampliamente en composición química y forma física, dependiendo del origen geográfico y de la aplicación original.

En este contexto, en los talleres de fundición colaboradores, la falta de catalogación de la chatarra constituye una dificultad importante en el proceso debido a que alrededor del 80% de la materia prima metálica utilizada, es chatarra de hierro fundido y, en menor proporción, chatarra de acero. De acuerdo a lo indicado por las empresas de fundición de la costa norte del Perú, la chatarra es adquirida principalmente a dos chatarrerías ubicadas en Sullana (Piura) y Chiclayo (Lambayeque).

A continuación, en las tablas 6 y 7 se indica la composición química de algunas chatarras de hierro fundido y acero, respectivamente. Estas tablas sirven para estimar la composición química de una pieza en particular.

Tabla 6. Composición química de algunas chatarras de hierro fundido

Chatarra		Descripción	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Fundición mecánica	1° calidad	De máquinas, espesores >10mm	3,3 - 3,5	1,5 - 2	0,7 - 0,9	0,2 - 0,4	0,08 - 0,1
	2° calidad	De máquinas, espesores <10mm	3,4 - 3,6	2 - 2,5	0,5 - 0,7	0,3 - 0,5	0,09 - 0,11
Colada de automóviles		Espesores < 12 mm	3,3 - 3,4	2,2 - 2,25	0,7 - 0,8	0,15 - 0,5	0,07 - 0,12
		Cilindros de automóvil	3,25 - 3,3	2 - 2,1	0,6 - 0,65	0,12	0,1
		Tambores para frenos de automóvil	3,4	2	0,7	0,2	0,1
		Zapatas de frenos	3,1	1,15	0,4	0,5	0,2
Piezas para maquinaria agrícola		Ligeras	3,4	2,4	0,55	0,6	0,1
		Medianas	3,3	2,2	0,6	0,5	0,12
		Pesadas	3,15	1,8	0,65	0,35	0,12
Piezas para maquinaria general		Ligeras - Medianas	3,3 - 3,5	2 - 2,5	0,5 - 0,6	0,3	0,1 - 0,12
		Pesadas y muy pesadas	3,1 - 3,15	1,25 - 1,5	0,65 - 0,7	0,2 - 0,25	0,12 - 0,14
		Engranajes, espesor >20mm	3,2 - 3,3	1,5 - 1,7	0,8 - 0,85	0,3 - 0,35	0,06 - 0,08
Fundición resistente al fuego		Espesor > 15 mm	3,3 - 3,4	1,5 - 1,8	0,5	0,2 - 0,3	0,07
		Planchas para estufa de cocina	3,5	2,4	0,5	0,8	0,12
		Radiadores y calderas para calefacción	3,4 - 3,5	2,3 - 2,4	0,5 - 0,7	0,5	0,12
		Barras para parrillas	3,25	2	0,6	0,4	0,1
Piezas con endurecimiento superficial y de hierro blanco		Ruedas para carro de ferrocarril (templadas)	3,5	0,55	0,5	0,3	0,12
		Rejas para arado (templadas)	3,4	1,4	0,6	0,4	0,12
		Tarimas para moldes (templadas)	3,5	0,8	0,6	0,3	0,12
		Moldes para vidrio (templados)	3,5	2,2	0,6	0,2	0,1
		Cojinetes de hierro blanco (agricultura)	3,4	0,75	0,7	0,25	0,12
		Muelas de quebradora (hierro blanco)	3,3	0,6	0,6	0,15	0,1
Piezas ornamentales		Espesor 2 a 4 mm	3,3	3,2	0,5	1,3	0,09

Fuente: Manual técnico sobre preparación de cargas para la fusión de metales

Tabla 7. Composición química de algunas chatarras de acero

Chatarra	Descripción	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Acero estructural	Vigas, canal U, ángulo de acero, barras redondas y cuadradas lisas, platinas, etc. (ASTM A 36)	< 0,26	<0,4	0,85 - 1,35	< 0,04	< 0,05
	Fierros y estribos corrugados (ASTM A615 grado 60)	< 0,3	< 0,5	< 1,5	< 0,035	< 0,045
	Tubos de acero (ASTM A500 grado A, B y D)	< 0,3	-	< 1,4	< 0,045	< 0,045
Piezas de acero en general	Engranajes, piñones, cadenas, prensas, levas (AISI 1020)	0,18 - 0,23	-	0,3 - 0,6	0,04	0,05
	Resortes	0,35 - 0,65	1 - 1,6	0,5 - 1	< 0,05	< 0,05
	Rieles	0,3 - 0,45	0,25	0,6 - 1	0,04 - 0,07	< 0,05
	Tornillería	0,1 - 0,2	0,1 - 0,35	0,2 - 0,45	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06
	Herraduras	0,1	-	0,4 - 0,45	0,04 - 0,06	-
	Láminas delgadas	0,1	0	0,2 - 0,45	0,03 - 0,05	0,03 - 0,05
	Láminas gruesas	0,2 - 0,3	-	-	0,06 - 0,08	0,04 - 0,06
	Acero de automóvil	0,3	0,1	0,7	0,03	0,03
Acero inoxidable ferrítico AISI 430 (16% - 18%Cr)	< 0,12	1	1	0,04	0,03	

Fuente: (Baquero, 2000)

Asimismo, en la tabla 8 se presenta un criterio rápido para la selección de chatarra, que sirve para estimar el análisis promedio de un lote de un tipo de piezas, que no podrá aplicarse a cada pieza individual de chatarra.

Tabla 8. Reglas para la selección de chatarra de hierro fundido y acero

Tipo de chatarra	Características	Piezas
Chatarra de hierro fundido		
Piezas mecanizadas	Contenido de carbono (3,1% a 3,4%C) Contenido de silicio (1,5% a 2%Si)	Piezas ligeras, de espesores medianos y piezas muy gruesas
Piezas automotrices	Uniformes contenido de fósforo (<0,25%) Uniforme contenido de silicio (2% a 2,25%Si)	Bloques de cilindros, carcazas, etc.
Piezas de maquinaria agrícola	Contenido de fósforo (0,25% a 0,4%P) Contenido de carbono (3,4%C) Contenido de silicio (2,25% a 2,5%Si)	Piezas libres de aleaciones
Piezas templadas	Bajo contenido de silicio (< 0,55%Si) Contenido de fósforo (0,25% a 0,4%P) Contenido de carbono (3,5%C)	Ruedas de ferrocarril
Piezas de secciones delgadas	Alto contenido de silicio Alto contenido de fósforo	Artículos huecos, artículos sanitarios, radiadores, maquinaria muy liviana, planchas de cocina, etc.

Tabla 8. Reglas para la selección de chatarra de hierro fundido y acero (continuación)

Tipo de chatarra	Características	Piezas
<b>Chatarra de hierro fundido</b>		
Piezas quemadas	Alto contenido de azufre Alto contenido de óxidos Bajo contenido de carbono Bajo contenido de silicio	Parrillas de horno de tratamiento térmicos, quemadores de estufas, calderas, planchas de cocina quemadas, cajas de recocido, etc.
Piezas de hierro maleable	Contenido de carbono (2%C) Contenido de silicio (1% a 1,5%Si)	Implementos agrícolas y acoples de tubería
Piezas dúctiles	Acero Hierro forjado Hierro maleable	Se dobla cuando es golpeado con un martillo
Piezas en general	Alto contenido de aleaciones Acero inoxidable (< 20%Cr y < 10%Ni) Acero al manganeso (< 13%Mn)	No corroídas o no levantadas por el electroimán
Accesorios	Aluminio Aleaciones de cobre Metales antifricción Piezas galvanizadas Piezas estañadas	
<b>Chatarra de acero</b>		
Acero estructural	Bajo contenido de carbono (< 0,2%C) Contenido de manganeso (0,5%Mn) Muy bajo contenido de azufre y fósforo	Ángulos, viguetas, etc.
Láminas compradas en paquetes	Bajo contenido de carbono (0,1%C) Contenido de manganeso (0,4%Mn) Bajo contenido de silicio, azufre y fósforo	
Piezas de ferrocarril	Contenido de manganeso (0,75%Mn) Contenido de silicio (0,1% a 0,23%Si)	Rieles de ferrocarril
Acero de automóvil	Acero aleado de bajo carbono Contenido de silicio (0,8%Si) Contenido de cromo (0,6%Cr)	Bastidores de chasis automotrices, ruedas y aros
	Acero no aleado Contenido de carbono (0,45%C)	Cigüeñales automotrices
Piezas forjadas	Acero sin alear	
	Acero aleado de diversos tipos	Servicio pesado
Piezas pequeñas de acero	Altamente mecanizadas Alto contenido de azufre (0,3% a 0,8%S) Alto contenido de manganeso (<1,5%Mn)	

Fuente: Manual técnico sobre preparación de cargas para la fusión de metales

Los talleres de fundición deben escoger el tipo apropiado de chatarra para la fabricación de piezas que están produciendo. En la actualidad, algunos fundidores utilizan monoblocks de motor para producir piezas de gran responsabilidad mecánica por sus características de composición química como el alto contenido de silicio y uniforme contenido de fósforo.

De acuerdo con lo presentado en la tabla 8, se deben evitar piezas de hierro fundido sujetas a una prolongada exposición al calor, por sus bajos niveles de carbono y silicio, y altos contenidos de azufre y oxidación, que pueden comprometer la calidad de la pieza.

Además, se deben rechazar las ruedas de carros de ferrocarril, zapatas de frenos, bielas, magnetos, engranajes de transmisión y anillos o aros de émbolo sueltos. Las piezas altamente aleadas deben evitarse por los contenidos apreciables de cromo, vanadio, molibdeno, etc., que pueden volver completamente inservible la fundición.

Durante la selección de chatarra de hierro gris es importante separar piezas de acero o hierro maleable que puedan modificar el balance de cargas y, por lo tanto, la composición química final de la pieza.

También, se recomienda no utilizar chatarra de fundición blanca, debido a que la variedad de procesos con los que se puede conseguir este tipo de fundición, tales como: porcentaje de carbono y/o silicio bajo, acción del cromo o composición química desbalanceada (azufre elevado y manganeso bajo), puede poner en riesgo la calidad del caldo.

De los 10 talleres estudiados sólo los talleres 4 y 8, utilizan chatarra de acero en pequeñas proporciones como material de carga para el horno de cubilote, con el objetivo de disminuir el contenido de azufre y carbono, y aumentar la resistencia de las piezas fabricadas; cuando se desea fabricar piezas de alta responsabilidad mecánica.

En la figura 6, se muestra los contenidos de silicio que deben sobrepasarse, para obtener piezas de fundición gris de diferentes espesores. Además, la figura 7 presenta la relación entre el porcentaje de carbono y silicio correspondiente a las fundiciones nodulares, fundiciones grises, fundiciones blancas, fundiciones maleables y aceros.

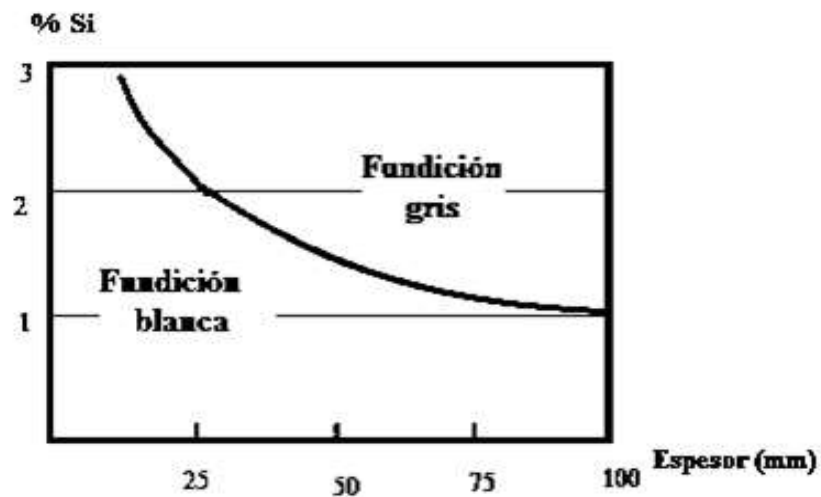


Figura 6. Relación entre contenido de silicio (%) y espesor (mm)

Fuente: (Guzman, 1996)

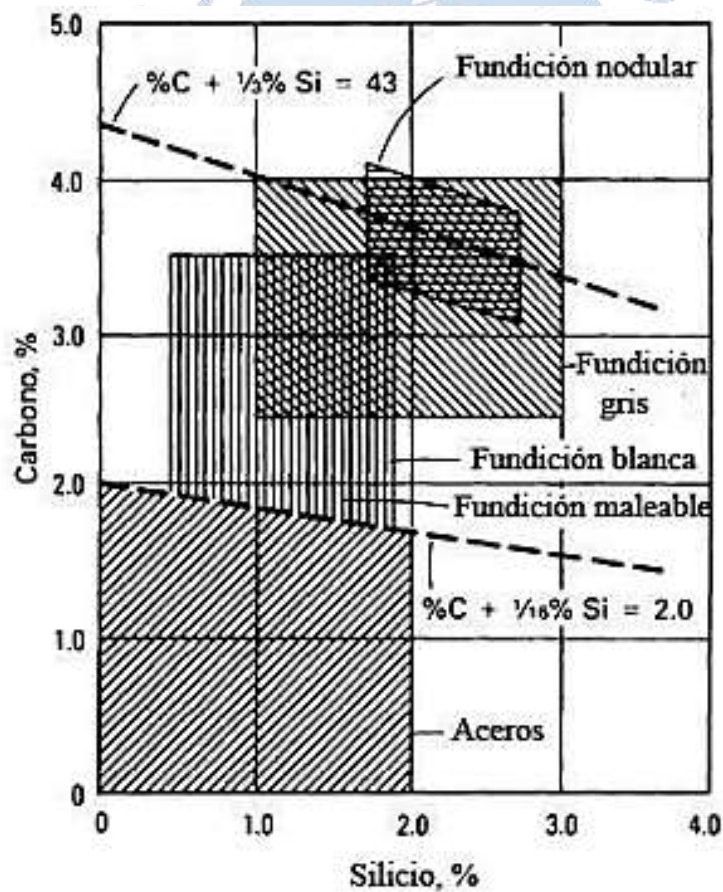


Figura 7. Contenidos en carbono y silicio correspondientes a las fundiciones grises, a las fundiciones blancas y a los aceros

Fuente: (Márquez Jaramillo)

Para explicar cómo se utilizan las gráficas presentadas en las figuras 6 y 7, se toma a modo de ejemplo la producción de planchas de aro base para cocinas de fundición gris laminar con un espesor menor a 25 mm, las cuales se fabrican en el Taller 13. Este tipo de productos requieren un material con alto carbono equivalente para evitar la aparición de fundición blanca o atruchada.

En la figura 6 se observa que, para obtener piezas de un espesor de 25 mm de fundición gris, sin zonas atruchadas o blancas, es necesario un contenido mínimo de silicio del 2% Si. Asimismo, el contenido de carbono requerido es del 3,38% C (ver figura 7) para producir fundición gris en toda la sección de la pieza. Por lo tanto, el carbono equivalente debe ser 4,04%, este valor es cercano al punto eutéctico (4,3%).

En la tabla 9 se muestra la composición química de las tres muestras proporcionadas por el Taller 13, donde se puede observar que el carbono equivalente en las muestras M7 y M9 es cercano al punto eutéctico. Además, en la muestra M9 se obtiene el menor espesor (29 mm) sin aparición de fundición blanca o atruchada en las piezas. Por lo tanto, si la muestra M9 tiene un espesor de 25 mm, menor al espesor mínimo (ver tabla 9) se espera la aparición de fundición blanca en la sección de la pieza, entonces se requiere ajustar la composición química agregando ferrosilicio en cuchara.

Tabla 9. Resultados del análisis químico de las muestras del Taller 13

Taller 13								
Entrega	Muestra	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ceq	Espesor mínimo (mm)
Primera	M7	3,452	1,49	0,33	0,222	0,269	4,02	42
	M8	3,336	1,6	0,35	0,33	0,217	3,98	39
Segunda	M9	3,49	1,85	0,43	0,199	0,1	4,17	29

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la etapa de almacenamiento se debe resaltar que la distribución de los talleres (ver figura 8) no es la más adecuada para la libre movilización de materiales y operarios, con presencia de gran cantidad de escombros, chatarra y residuos sólidos que dificultan la ejecución de las actividades. Los talleres de fundición del norte del Perú no cuentan con un almacén techado donde se pueda apilar y clasificar adecuadamente la chatarra.

Se recomienda colocar la chatarra dentro de espacios techados o en contenedores, lejos del área de moldeo y del horno de cubilote, para evitar la contaminación por exposición a elementos extraños como: polvo, humedad, aceite, grasa, arena, etc.



Figura 8. Gran cantidad de escombros y piezas terminadas, alrededor de los hornos de cubilote del Taller 6

### 2.1.2.3. Industrialización

En la etapa de industrialización de la chatarra, se encuentran las actividades de limpieza y fragmentación. En este aspecto, los talleres de fundición de la costa norte del Perú no realizan limpieza de la chatarra, a pesar de la importancia de esta actividad.

Por lo general, la chatarra está contaminada con elementos innecesarios e incluso nocivos para la calidad del caldo, ya que, las piezas suelen estar pintadas, soldadas, latonadas o recubiertas de diversas formas. Asimismo, contienen accesorios de toda clase, como bujías de encendido, madera, cemento, yeso, etc.

Lo que resulta en la contaminación del caldo con pequeñas cantidades de elementos extraños. En la tabla 10, se indican los elementos extraños presentes en las chatarras, las consecuencias en la calidad del caldo y acciones recomendadas que deben ejecutar los talleres de fundición.

Tabla 10. Elementos extraños, consecuencias en la calidad del caldo y acciones recomendadas

Elemento extraño	Consecuencias	Acciones recomendadas
Tierra, rocas y cemento	Materiales que se adhieren a la escoria Requiere más energía para fundirlos Requiere más fundente para mantener escoria básica Incremento de los costos fijos y variables	Limpieza con cepillo metálico
Cobre y estaño	Perjudica la calidad del caldo Requiere diferente cantidad de energía Disminución de la productividad	Despegue y/o recorte Separar accesorios
Zinc	Material que se volatiliza Daña los refractarios del horno Perjudica la calidad del caldo Requiere diferente cantidad de energía Disminución de la productividad	Precalentar a 500°C Separar accesorios
Plomo	Filtración a través del fondo de los hornos Destruye fondo de los hornos Perjudica la calidad del caldo Requiere diferente cantidad de energía para cada metal Disminución de la productividad	Precalentar a 500°C Separar accesorios
Plásticos, trapos, maderas y gomas	Generan humos, gases y olores Aportan energía en su combustión	Precalentar a 500°C Separar accesorios
Aceites, solventes, soluciones ácidas o restos de productos (envases)	Generan humos, gases y olores nocivos para el ambiente y salud Pueden contener elementos no metálicos	Drenar fluidos Limpieza con detergente
Azufre	Genera gases venenosos nocivos para el ambiente y salud Formación de sulfuros de FeS y MnS Incrementa dureza y fragilidad de la pieza Propicia el fenómeno de blanqueo Baja fluidez del caldo Incrementa maquinabilidad de la pieza Dificulta fabricación hierro nodular	Evitar piezas quemadas y combustible con alto contenido de azufre
Óxido y humedad	Aparición de sopladuras, porosidades y manchas negras Baja fluidez del metal fundido	Prevenir la introducción de óxido y oxidación del baño evitando el uso de material mohoso y altamente oxidado
Aluminio	Fomenta la introducción de hidrógeno en el metal fundido Elemento fuerte afinidad con el oxígeno Aparición de sopladuras, porosidades y manchas negras Inclusiones metálicas	Limitar el contenido de aluminio (rango peligroso 0,01 a 0,02%) Controlar la adición de aleaciones ferrosas

Fuente: Elaboración propia

Para identificar el tipo de material (ferroso), se aplica un imán sobre el mismo, si se produce una atracción magnética el material es ferroso, caso contrario se trata de un material no ferroso. Asimismo, se puede diferenciar el acero, debido a que se dobla al impacto con el martillo. En el caso, que no se pueda clasificar el material de acuerdo al origen o aplicación, se debe utilizar la densidad del material para clasificarlo (ver tabla 11).

Tabla 11. Densidades de materiales metálicos

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Punto de fusión (°C)
Fundición gris	7604	1390 - 1420
Acero	7850	1535
Latón (Cu - Zn)	8400 - 8700	800 - 1000
Cobre	8960	1080
Bronce	8900	830 - 1020
Aluminio	2700	660
Plomo	11400 - 16000	327
Estaño	7310	233
Zinc	7140	420

Fuente: (Portilla)

La presencia de determinados elementos químicos residuales sobre las fundiciones de hierro ha sido objeto de varios estudios. Se ha descrito que la morfología del grafito depende del azufre y oxígeno contenido en el metal fundido durante la solidificación, y que la nucleación de los nódulos de grafito sólo puede ocurrir con niveles bajos de azufre y oxígeno (Muhammad, 2014). Además, se ha investigado el efecto estabilizador de carburos y perlitizador del cromo, molibdeno, vanadio y wolframio; la influencia del titanio en la maquinabilidad; el efecto del nitrógeno en la aparición de porosidades de gas y la capacidad del magnesio, cerio y lantano para esferoidizar el grafito (I.Asenjo, 2011).

Respecto a la fragmentación, los talleres de fundición trozan manualmente la chatarra con ayuda de un martillo o una trituradora, como en el caso del Taller 6. El tamaño de la chatarra es tan importante como el control de su composición química, y está directamente relacionado con el tamaño del horno de cubilote.

Como referencia, las piezas de chatarra de hierro fundido o acero deben ser clasificadas según el tamaño, de manera que ninguna dimensión exceda la tercera parte del diámetro interior del cubilote. Se recomienda evitar el empleo de virutas o productos muy delgados, porque son difíciles de evaluar en relación con su composición química e introducen más humedad, óxidos, tierra, aceite, grasa, pintura, etc., que la chatarra gruesa. También, se debe prevenir el uso de piezas de acero delgadas en grandes cantidades, por su baja densidad. Así, la chatarra de acero debe tener un espesor comprendido entre 8 y 15 mm.

## **2.2. Uso de aditivos**

El uso de aditivos para la fabricación de hierro fundido es muy importante para mejorar las propiedades mecánicas y composición química del metal fundido. A continuación, se describe el uso de ferroaleaciones, fundentes, inoculantes y desulfurante.

### **2.2.1. Ferroaleaciones**

Las piezas de fundición gris contienen cantidades sustanciales de elementos tales como silicio y manganeso. Estos elementos pueden ser introducidos parcial o enteramente, como constituyentes de la materia prima metálica o en forma de ferroaleación.

Las ferroaleaciones contribuyen a uniformizar, corregir y mejorar la calidad del caldo. Pueden obtenerse mejores propiedades mecánicas y mejor resistencia a la corrosión de las piezas fundidas. El ferrosilicio y ferromanganeso son las ferroaleaciones más utilizadas en la fabricación de hierro gris.

Ferrosilicio: es una fundición de poco contenido de carbono, el cual decrece a medida que el nivel de silicio aumenta. Se utiliza para incrementar el contenido de silicio en el caldo. Puede ser introducido en la carga del cubilote, de tal manera que el material se mezcle uniformemente con el resto de la carga durante la fusión, debe ser pesado cuidadosamente para obtener buenos resultados.

Asimismo, el ferrosilicio se puede agregar en la cuchara con el metal fundido, donde no sólo incrementa el contenido de silicio sino también tiene un efecto inoculante.

Ferromanganeso: es una aleación de hierro y manganeso. Se emplea como agente desulfurante, desoxidante, para incrementar el contenido de carbono o bien para obtener fundición blanca.

Las ferroaleaciones se pueden agregar tanto en cuchara, donde no sufren pérdidas por oxidación, como en la carga del cubilote. A medida que aumenta la concentración del elemento en la ferroaleación mayor será la pérdida por oxidación, dentro del horno de cubilote. Por lo tanto, las adiciones de elementos de aleación en la carga deben efectuarse con ferroaleaciones de bajo porcentaje del elemento que se agrega, colocándola encima del combustible hacia el centro de la columna de carga. Asimismo, para este método es necesario el conocimiento exhaustivo de la composición química de la materia prima, lo cual, no se puede obtener con exactitud en los talleres de fundición de la región.

Por lo general, las adiciones más comunes se realizan en cuchara, con ferroaleaciones con alto contenido del elemento de aleación. La adición en cuchara permite eliminar pérdidas por oxidación, mejor control de cargas y realizar la prueba de la cuña para ajustar los elementos de aleación. En la tabla 12, se indica la composición química aproximada de estas dos ferroaleaciones (ferrosilicio y ferromanganeso).

Tabla 12. Composición química aproximada de ferrosilicio y ferromanganeso

Elemento	%Si	%Fe	%Mn	%S	%P	%C
Ferrosilicio	32 - 95	5 - 66	0,1 - 0,3	0,02 - 0,05	0,01 - 0,05	0 - 3
Ferromanganeso	0,6 - 0,8	11,2 - 32,8	60 - 80	0,001 - 0,005	0,1 - 1,18	6,4 - 7,2

Fuente: Manual técnico sobre preparación de cargas para la fusión de metales

### 2.2.2. Fundentes de escoria

En la etapa de fusión, una cierta cantidad de materiales no metálicos se acumulan como un residuo llamado “escoria”. Las fuentes de escoria son: las cenizas del combustible, los productos de oxidación, el revestimiento refractario fundido, los productos de disociación de las ferroaleaciones y cualquier agente extraño que pueda ingresar al horno.

Para que la escoria sea fusible (punto de fusión entre 1200 y 1350°C), fácilmente separada del metal y químicamente activa a los efectos de la desulfuración, se emplean los llamados “fundentes”. Por definición, un fundente es una sustancia que reacciona con la escoria para bajar su punto de fusión, aumentando así su fluidez, y mejorando su capacidad de refinación. Las adiciones de fundentes o agentes fluidificantes son necesarias para un funcionamiento continuo y eficiente del horno de cubilote.

La mayoría de los cubilotes pueden ser escoriados con fundentes del 2 al 7% del peso de la carga de metal. Con cargas limpias y condiciones favorables, es suficiente el 2% y en cargas sucias podría necesitarse hasta el 7%. Los fundentes más comunes son: piedra caliza, dolomita y espato de flúor.

Piedra caliza: es una roca natural básica que contiene principalmente, carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Una piedra caliza que contenga poca cal y mucha sílice ( $> 2\% \text{SiO}_2$ ), debe considerarse de mala calidad, y si se emplea, debe aumentarse el volumen de la carga de piedra caliza y de combustible para fundir mayor peso de escoria. El tamaño adecuado de la piedra caliza debe estar entre 2 cm y 5 cm.

Los talleres de fundición de la región norte utilizan como fundente la piedra caliza debido a su bajo costo y fácil acceso. Sin embargo, la cantidad de piedra caliza ( $<1\%$  material de carga) entre carga es insuficiente para fluidificar la escoria, lo que hace difícil y poco eficiente el proceso de desescoriado. Además, los residuos de escoria pueden formar inclusiones en las piezas finales.

No es recomendable utilizar grandes cantidades (>2% material de carga) de piedra caliza como fundente, si se utiliza material refractario de carácter ácido, debido a que cuando el refractario entra en contacto con la caliza, se incrementa la tasa de desgaste por el ataque de la escoria y, por ende, los costos de mantenimiento.

### **2.2.3. Inoculantes**

Existe una clase de adiciones en cuchara conocidos como inoculantes, utilizados para mejorar la estructura y propiedades del hierro gris. La inoculación es empleada en hierro gris para promover una distribución aleatoria del grafito. Se recomienda agregar los inoculantes en pico de colada a través de un embudo suspendido sobre el chorro del metal fundido. El ferrosilicio (75% al 90%) agregado en cuchara ejerce un fuerte efecto grafitizante. Por lo general, los inoculantes grafitizantes se emplean para controlar la profundidad de endurecimiento, añadiendo pequeñas cantidades para reducir la sensibilidad al espesor. En el norte del Perú, no se emplean este tipo de aditivos por desconocimiento de los beneficios, y la metodología para hacerlo.

### **2.2.4. Desulfurantes**

En la zona norte del Perú, el proceso de desulfuración es una técnica aplicada de modo empírico y muchas veces mal aplicada. Además, se desconoce los beneficios de una buena desulfuración, lo cual hace que este proceso no sea muy común, perdiendo el beneficio de mejorar las propiedades de las fundiciones. Algunos beneficios de esta práctica son: reducción del contenido de azufre en el hierro fundido, mejora la fluidez y pureza del hierro, reducción en la tendencia al endurecimiento superficial del hierro, y menor necesidad de contenido de manganeso para neutralizar el azufre. En la tabla 13, se presentan algunos factores que influyen y controlan el proceso de desulfuración.

Existen varios tipos de reactivos desulfurantes que sirven para retirar el azufre de las fundiciones, algunos son: desulfurantes mediante compuestos de sodio, desulfurantes mediante compuestos de magnesio y desulfurantes mediante compuesto de calcio.

Tabla 13. Factores que influyen en el proceso de desulfuración

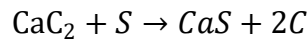
Factores	Influencia en la desulfuración
Tipo de recipiente desulfurante empleado	Es importante conocer el tipo de revestimiento que posee el recipiente, sea básico o ácido.
Tipo de desulfurante	Se recomienda que el desulfurante esté compuesto por un elemento alcalino o alcalinotérreo para asegurar su comportamiento básico y fácil remoción de la escoria
Cantidad de desulfurante empleado por tonelada de hierro fundido	La cantidad de desulfurante permite realizar un proceso óptimo
Tiempo de contacto entre el agente desulfurante y el hierro fundido	La cantidad del metal desulfurado es directamente proporcional al tiempo permitido de contacto entre el caldo y el desulfurante.
Cantidad de azufre presente en el metal base antes de desulfurar	La cantidad de azufre en el caldo depende de la calidad y tipo de materia prima de la cual parte.
Forma de adición del desulfurante	Se puede añadir el desulfurante agregándolo al metal líquido manualmente, empleando un gas inerte a presión como agente inyector o proporcionando al metal líquido alguna forma de movimiento que acelere la reacción.
Tamaño de la partícula del desulfurante	El área de contacto entre el desulfurante y el caldo debe ser la mayor posible, lo que implica un desulfurante de menor tamaño
Separación de la escoria antes de desulfurar	El retirar la escoria antes de la desulfuración facilita que la reacción entre el desulfurante y el metal líquido sea la óptima.
Temperatura del caldo	A mayor temperatura la velocidad de reacción entre el desulfurante y el caldo tratado será mayor.

Fuente: (Lara & Salao, 2007)

El carburo de calcio es un agente desulfurante muy eficiente permitiendo reducir niveles de azufre hasta 0,02%S, dependiendo de la forma de desulfurar. Además, este agente no disminuye la temperatura del caldo por ser una reacción exotérmica, no requiere refractario básico para evitar el desgaste excesivo, y la escoria producida es granular y fácil de remover. Los factores limitantes del uso del carburo de calcio son su alto costo y rigurosidad de almacenamiento. De acuerdo con la hoja de datos de seguridad de materiales MSDS (Anexo B), el carburo de calcio debe ser guardado en lugares secos, ya que en contacto con la humedad libera gases inflamables, asimismo se deben eliminar fuentes de ignición cuando el material este húmedo.

En teoría para remover 0,1%S tan sólo se necesita 0,2%  $\text{CaC}_2$ , de acuerdo con la ecuación 1. Sin embargo, parte del  $\text{CaC}_2$  formará  $\text{CaO}$  en vez de  $\text{CaS}$  y se disolverá en la escoria, por lo tanto, se emplea de 5 a 10 veces la cantidad teórica, es decir, del 1% al 2%  $\text{CaC}_2$  (Lara & Salao, 2007).

Ecuación 1. Reacción química que se produce con carburo de calcio



Fuente: (Lara & Salao, 2007)

Para desulfurar el caldo, se debe precalentar la cuchara de colada, añadir dosis de desulfurante en el fondo y sangrar el horno. Luego, cuando la reacción esté completa, se puede espolvorear piedra caliza molida en el baño metálico para separar la escoria. No se debe espolvorear el baño metálico con arena de fundición (ver figura 9), práctica común en los talleres de fundición, porque la escoria sódica reaccionará con la sílice de la arena, descomponiéndose y dejando libres sulfuros metálicos que entran nuevamente en el baño.



Figura 9. Mala práctica de espolvorear arena de fundición sobre el caldo para separar la escoria, Taller 1.

### 2.3. Cálculo de cargas

En el norte del Perú, ningún taller de fundición realiza el cálculo de cargas para estimar la composición química del caldo, debido al desconocimiento del análisis químico de la chatarra que utilizan y al desconocimiento de la aplicación de este método.

Sin embargo, el empleo de altas cantidades de chatarra requiere tener especial cuidado al formular la carga. La composición química de la fundición determina en gran medida la resistencia a la tracción, en ausencia de defectos macroscópicos.

La clasificación de piezas de hierro gris está dada por la norma ASTM A159, la cual tiene su equivalente con la norma ASMT A48 (ver tabla 14).

Tabla 14. Equivalencia de normas y composición química por clase

ASTM A159	ASTM A48	%C	%Si	%Mn	%P máx	%S máx
G1800	Clase 20	3,4 - 3,7	2,3 - 2,8	0,5 - 0,8	0,25	0,15
G2500	Clase 25	3,2 - 3,5	2 - 2,4	0,6 - 0,9	0,2	0,15
G3000	Clase 30	3,1 - 3,4	1,9 - 2,3	0,6 - 0,9	0,15	0,15
G3500	Clase 35	3 - 3,3	1,8 - 2,2	0,6 - 0,9	0,12	0,15
G4000	Clase 40	3 - 3,3	1,8 - 2,1	0,7 - 1	0,1	0,15

Fuente: American Society for testing Materials

### 2.3.1. Cálculo de cargas con chatarra disponible en el norte del Perú y sin aditivos

Para explicar la metodología del cálculo de cargas, se ha seleccionado el Taller 13 tomando como referencia la composición química de las muestras de chatarra (C1, C2, C3 y C4) para obtener la muestra M8, debido a que en esta empresa se recogieron muestras tanto de materia prima metálica como de piezas terminadas.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, todos los talleres adquieren la chatarra de depósitos ubicados en Sullana y Chiclayo, por lo que se presume que en general la chatarra del resto de talleres debe ser de composición química similar de acuerdo con el tipo de piezas.

Tabla 15. Composición química de muestras de fundición gris y chatarra proporcionadas por el Taller 13

Procedencia	Tipo de muestra	Designación	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Taller 13	Muestra de fundición gris						
	Trozo	M8	3,336	1,6	0,35	0,333	0,217
	Muestras de chatarra						
	Carcaza de bomba delgada	C1	3,571	2,28	0,48	0,249	0,145
	Carcaza de bomba gruesa	C2	3,281	2,13	0,65	0,02	0,189
	Volante de motor 1	C3	3,314	2,22	0,92	0,009	0,045
	Volante de motor 2	C4	3,251	1,77	0,71	0,01	0,106

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indican las siguientes restricciones para el balance de cargas:

- El contenido de fósforo en la carga metálica permanece inalterable.
- La carga metálica está constituida sólo por chatarra de hierro fundido.
- La chatarra está limpia apropiadamente seleccionada, de buen tamaño y libre de elementos extraños.
- No se agrega ningún tipo de ferroaleaciones, inoculantes y/o desulfurantes en el horno de cubilote o en la cuchara de colado, debido a que en la mayoría de los talleres del norte del Perú no se emplean.
- La pérdida por oxidación de silicio es del 10% de total de silicio en la carga.
- La pérdida por oxidación de manganeso es del 17% del total de manganeso en la carga.
- La ganancia de azufre en la fusión es del 30% del total de azufre en la carga.
- La composición química de la chatarra de fábrica es la composición química de la muestra M8, presentada en la tabla 14.
- La chatarra de fábrica es el 20% del total de la carga metálica. Este tipo de chatarra está conformada en un 15% de rechazos o piezas defectuosas y un 5% de partes de los sistemas de alimentación y colada.
- El combustible utilizado es coque con un porcentaje entre carga del 10%.
- El contenido de carbono en piqueta se calcula en función de la composición química promedio de la carga metálica (Levi, 1947), según la ecuación 2.

Ecuación 2. Porcentaje de carbono en piqueta para colada continúa

$$\%C_{piq} = 2.4 + \frac{1}{2}\%C_{carga} - \frac{1}{4}(\%Si + \%P)_{piq}$$

Fuente: Baquero A. Diseño, operación y control del cubilote (2000). p. 25

Los cálculos se han realizado en base a una carga metálica de 100 kg y 10 kg de combustible entre carga, por el método de tanteo, realizando aproximaciones sucesivas hasta establecer la composición química de la fundición en piqueta.

En la sección I de la tabla 16, se muestra dos tipos de materiales de carga metálica: chatarra de fábrica y chatarra de procedencia externa. La sección II de la tabla 16, presenta el cambio en la fusión del carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo.

Por último, se suma o resta, según sea el caso de ganancia o pérdida, y se obtiene el análisis químico estimado.

Tabla 16. Hoja de cálculo de carga con chatarra disponible en el norte del Perú, y sin aditivos

Componentes de la carga	%	kg por carga	C		Si		Mn		S		P	
			%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Sección I												
Retorno (M8)	20%	20	3,3%	0,67	1,6%	0,32	0,4%	0,07	0,2%	0,04	0,3%	0,07
Chatarra de procedencia externa												
Carcaza de bomba delgada	10%	10	3,6%	0,36	2,3%	0,23	0,5%	0,05	0,1%	0,01	0,2%	0,02
Carcaza de bomba gruesa	20%	20	3,28%	0,66	2,1%	0,43	0,7%	0,13	0,2%	0,04	0,0%	0,00
Volante de motor 1	25%	25	3,3%	0,83	2,2%	0,56	0,9%	0,23	0,0%	0,01	0,0%	0,00
Volante de motor 2	25%	25	3,3%	0,81	1,8%	0,44	0,7%	0,18	0,1%	0,03	0,0%	0,00
TOTAL	100%	100		3,32		1,97		0,66		0,13		0,10
Sección II												
Análisis cargado				3,32		1,97		0,66		0,13		0,10
Pérdida o ganancia en la fusión				0,27	-10%	-0,20	-17%	-0,11	30%	0,04	0	0
Análisis estimado (T1)				3,59		1,8		0,54		0,17		0,10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17 se presenta la sugerencia de carga del cubilote para obtener 100 kg de fundición por el método de tanteo. Es necesario recalcar que se esperan desviaciones respecto al análisis químico real debido a que el combustible utilizado en los talleres de fundición del norte de Perú es antracita de baja calidad con alto contenido de azufre respecto al coque.

Tabla 17. Pesos individuales de la hoja de cálculo de carga para fundición

20 kg	Retorno (M8)
10 kg	Carcaza de bomba delgada
20 kg	Carcaza de bomba gruesa
25 kg	Volante de motor 1
25 kg	Volante de motor 2
10 kg	Coque

Fuente: Elaboración propia

El análisis estimado (T1) mostrado en la tabla 16, es comparable con las muestras M7, M8 y M9 entregadas por el Taller 13 (ver tabla 9), ninguna de estas muestras pudo ser clasificadas completamente dentro de alguna clase estándar.

Según el análisis químico resultante del cálculo de cargas, mostrado en la tabla 16, el porcentaje de carbono es del 3,59%, de acuerdo con este elemento la muestra es clasificada como una clase 20, la más baja. En cuanto al contenido de silicio, la muestra T1 cumple con una clase 35 o 40, pero en el límite inferior (1,8%Si).

En el Taller 13, se fabrican placas de espesor máximo de 25 mm, entonces con este balance entre el porcentaje de carbono y silicio, se espera la aparición de fundición blanca o atruchada para piezas con espesor menor de 33mm (ver figura 6).

El carbono equivalente (4,22%) es muy cercano al punto eutéctico, por lo que tiene buena colabilidad y buenas características para la fabricación de piezas de espesores mayores a 33 mm o piezas complejas. Del porcentaje de fósforo se puede decir que es bajo.

Respecto al contenido de azufre, la muestra T1 resultante se encuentra por encima del límite máximo permitido (0,05% - 0,12%S). El porcentaje de azufre tiene incidencia en las propiedades fisicoquímicas porque limita el crecimiento del grano, aumenta la tendencia al blanqueo, disminuye la fluidez del caldo, dificulta la inoculación y forma sulfuros con otros elementos (Mn y Fe).

Cabe resaltar que, de las 30 muestras analizadas sólo el 20% cumple con el contenido de azufre dentro del rango óptimo y, por tanto, se espera encontrar defectos de fusión y sulfuros de Fe.

Debido a que el manganeso tiene la función de neutralizar el azufre a través de la formación de sulfuros de manganeso, es necesario analizar la cantidad de este en el material resultante. La relación óptima entre el manganeso y azufre para una estructura libre de azufre está determinada por la ecuación 3.

Ecuación 3. Porcentaje de manganeso requerido

$$\%Mn_{req} \geq 1,7\%S + 0,3\%$$

En este contexto, la muestra T1 no alcanza el contenido de manganeso mínimo requerido (0,6%Mn<sub>req</sub>) para neutralizar la cantidad de azufre presente en la fundición.

Asimismo, el porcentaje de manganeso necesario para neutralizar el azufre sólo se cumple en el 15% del total de las piezas analizadas. Por lo tanto, es probable la aparición de defectos tipo microporos, microrechupes y sulfuros de hierro.

A pesar de realizar el cálculo de cargas recomendado por la literatura técnica no se logra obtener una clase estándar, lo que coincide con las muestras entregadas por el Taller 13. Entonces, se puede afirmar que el problema se origina en la falta de clasificación de la chatarra de procedencia externa, debido a que no se conoce su composición química. Por lo tanto, es necesario realizar una correcta clasificación de la materia prima metálica que permita estimar la composición química de la fundición y ajustarla con aditivos para fabricar piezas de calidad estándar.

### **2.3.2. Cálculo de cargas con chatarra disponible en el norte del Perú y con aditivos**

Para fabricar hierro gris de exigencia media a alta (clase 30 – 40), es necesario utilizar chatarra de acero y aditivos tales como ferroaleaciones, desulfurantes y fundentes.

En la tabla 18, se propone un modo de cargar los hornos para obtener fundiciones clase estándar 35 (ASTM A48), utilizando la composición química de las chatarras y piezas, proporcionadas por el Taller 13; considerando las siguientes restricciones:

- El contenido de fósforo en la carga metálica permanece inalterable.
- La carga está constituida por chatarra de hierro fundido y acero.
- La chatarra está limpia apropiadamente seleccionada, de buen tamaño y libre de elementos extraños.
- Se agrega ferroaleaciones (silicio y manganeso) y desulfurante.
- No se consideran pérdidas por oxidación del ferrosilicio (85%Si) y ferromanganeso (85%Mn), debido a que se agregan en cuchara.
- La pérdida por oxidación de silicio es del 10% de total de silicio en la carga del cubilote.
- La pérdida por oxidación de manganeso es del 17% del total de manganeso en la carga del cubilote.
- La ganancia de azufre en la fusión es del 30% del total de azufre en la carga.

- La composición química de la chatarra de fábrica es la composición química de la muestra M8, presentada en la tabla 14.
- La chatarra de fábrica es el 20% del total de la carga metálica. Este tipo de chatarra está conformada en un 15% de rechazos o piezas defectuosas y un 5% de partes de los sistemas de alimentación y colada.
- El combustible utilizado es coque con un porcentaje entre carga del 10%.
- El contenido de carbono en piquera se calcula según la ecuación 2.

Tabla 18. Hoja de cálculo de carga para fundición clase 35

Componentes de la carga	%	kg por carga	C		Si		Mn		S		P	
			%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Sección I												
Retorno (M8)	20%	20	3,3%	0,67	1,6%	0,32	0,4%	0,07	0,2%	0,04	0,1%	0,02
Chatarra de procedencia externa												
Carcaza de bomba delgada	5%	5	3,6%	0,18	2,3%	0,11	0,5%	0,02	0,1%	0,01	0,2%	0,01
Carcaza de bomba gruesa	30%	30	3,28%	0,98	2,1%	0,64	0,7%	0,20	0,2%	0,06	0,2%	0,05
Volante de motor 1	15%	15	3,3%	0,50	2,2%	0,33	0,9%	0,14	0,0%	0,01	0,2%	0,03
Volante de motor 2	10%	10	3,3%	0,00	1,8%	0,18	0,7%	0,07	0,1%	0,01	0,0%	0,00
Chatarra de acero												
Chatarra acero (AISI 1020)	20%	20	0,18%	0,04	0,0%	0,00	0,6%	0,12	0,05%	0,01	0,04%	0,01
TOTAL	100%	100		2,36		1,58		0,62		0,13		0,11
Sección II												
Análisis cargado				2,36		1,58		0,62		0,13		0,11
Pérdida o ganancia en la fusión				0,83		-10%	-0,16	-17%	-0,11	30%	0,04	0
Análisis estimado sin aditivos				3,20			1,4		0,51		0,18	0,11
Elementos faltantes							0,48		0,29		-0,08	
Análisis estimado con aditivos (T2)				3,20			1,90		0,80		0,10	0,11

Fuente: Elaboración propia

Es necesario recalcar que, el cálculo de cargas mostrado en la tabla 18 se ha realizado de acuerdo con lo recomendado por la literatura técnica, es decir, tomando como combustible coque de alta calidad. Por lo tanto, se esperan desviaciones respecto al análisis químico real de las muestras debido a que, el combustible empleado en los talleres de fundición del norte de Perú es antracita de baja calidad con alto contenido de azufre.

Las desviaciones esperadas son mayor contenido de azufre, para lo cual será necesario un mayor porcentaje de manganeso para evitar la formación de sulfuros de hierro, elementos totalmente perjudiciales para la calidad las fundiciones.

A continuación, se presenta el cálculo de la cantidad de ferrosilicio (85%Si) y ferromanganeso (85%Mn) que debe ser añadido en cuchara, para una carga de 100 kg.

$$X = \frac{0,48 * 100}{85} = 0,56 \text{ kg FeSi}$$

$$Y = \frac{0,29 * 100}{85} = 0,34 \text{ kg FeMn}$$

Se muestra la cantidad de carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ) que debe ser añadido en cuchara, después de desescoriar. Además, es necesario agregar piedra caliza (2% carga metálica) como fundente de escoria.

$$Z = \frac{0,08 * 2}{0,1} = 1,6 \text{ kg CaC}_2$$

En la tabla 19, se presenta la sugerencia de carga del cubilote para obtener 100 kg de fundición de clase 35 por el método de tanteo. Entonces, es posible fabricar piezas de clase 30 – 40 (ASTM A48), utilizando aditivos disponibles en el mercado, de la forma y cantidad adecuada, para mejorar la calidad del caldo.

Tabla 19. Pesos individuales de la hoja de cálculo de carga para fundición Clase 35

20 kg	Retorno (M8)
5 kg	Carcaza de bomba delgada
30 kg	Carcaza de bomba gruesa
15 kg	Volante de motor 1
10 kg	Volante de motor 2
20 kg	Ejes de secciones grandes, engranajes, piñones, cadenas, prensas, levas (AISI 1020)
0,56 kg	Ferrosilicio (85%Si)
0,34 kg	Ferromanganeso (85%Mn)
2 kg	Piedra caliza
1,6 kg	Carburo de calcio
10 kg	Coque

Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Pre calentamiento del horno

La leña se utiliza en fundición, para la puesta en marcha de los cubilotes. La composición de la leña generalmente es: carbono fijo (50%), oxígeno (44%), hidrógeno (6%) y humedad (20 % máx.).

En el norte del Perú, el encendido del cubilote se realiza colocando leña en el fondo del cubilote, por la puerta lateral de encendido y limpieza, con todos los orificios del horno abiertos. Cuando la leña está ardiendo, se añade la mitad de la carga total para la cama de combustible sólido. El encendido de la cama prosigue hasta que la cama adquiera un color rojo cereza, brillante y parejo.

En el momento que toda la leña se ha consumido, y el calor ha llegado hasta arriba de la cama del combustible, se debe nivelar la cama hasta la altura predeterminada, medida con una varilla de hierro. Cuando la cama arde de manera uniforme, el cubilote está listo para ser cargado. Los talleres colaboradores no nivelan la cama de combustible.

## 2.5. Inyección de aire soplado

En los talleres de fundición, el equipo utilizado para la inyección de aire es el ventilador centrífugo (ver figura 10), el cual es un soplador que gira a una velocidad constante, para impulsar un caudal de aire dentro del horno, venciendo las pérdidas de presión generadas en el circuito. El ventilador centrífugo está conectado directamente al horno por unas tuberías y, en algunos casos, por un número de toberas que no se encuentran distribuidas uniformemente alrededor del horno.



Figura 10. Ventilador centrífugo de horno de cubilote de Taller 6

## 2.6. Operación del horno

Luego de encender el horno, los talleres de fundición introducen piedra caliza como fundente igual o menor al 1% del peso de materia prima metálica. Inmediatamente después, se añade la carga metálica.

A continuación, se introduce la segunda carga de combustible, seguida por la carga de materia prima metálica, alternadamente hasta llegar a la puerta de carga. En los talleres no se realiza el balance de cargas y el pesaje de los materiales de carga.

A partir de este momento, los fundidores mantienen el horno lleno, con cargas alternas de combustible y chatarra, a medida que las otras van descendiendo. Luego, se enciende el ventilador centrífugo. Cuando se presenta el primer hierro en pico de colada (ver figura 11), se procede a cerrar el orificio de colada.



Figura 11. Orificio de colada, se observa el primer hierro (hierro frío)

La altura de la cama de combustible varía constantemente durante toda la colada, debido a que estos talleres no miden la altura de la cama. En el caso, la cama se encuentre desnivelada, se debe compensar con una falsa carga, es decir, una carga de combustible sin metal.

Los talleres de fundición de norte utilizan como método de colada el sangrado intermitente, junto con escoriado frontal. En el escoriado frontal, el hierro y la escoria del cubilote fluyen por el mismo orificio.

Cuando se observa que faltan pocas piezas por fabricar, los fundidores reducen los contenidos de carga (combustible y chatarra), hasta que salga el último hierro. En seguida proceden a abrir las puertas de fondo.

## **2.7. Control de parámetros**

En cuanto al comportamiento de la fusión del cubilote, se requiere controlar el proceso para regular los parámetros de operación y obtener piezas de calidad. Para ajustar la marcha del cubilote se puede realizar control de parámetros tales como: medición de la temperatura del metal líquido en pico de colada, observación del aspecto de la escoria y ensayo de tendencia al blanqueo.

### **2.7.1. Medición de la temperatura del metal líquido en pico de colada**

En los talleres contactados, no se realiza la medición de temperatura del caldo. Por lo que, se recomienda el empleo de pirómetros de inmersión, láser o termocuplas bimetalicas tipo S, utilizadas para fundiciones grises, nodulares y aceros, con rangos de temperaturas hasta 1700°C.

También, existen diversos modos empíricos para estimar la temperatura del caldo. Un método es observar el color del caldo y su comparación con la carta de colores (ver figura 12) para estimar el rango de temperatura del caldo.

Otro criterio importante para determinar la baja temperatura del caldo es la aparición de chispas, parecidas a fuegos artificiales, en pico de colada. Asimismo, el metal líquido se cubre de un velo blanco, que se vuelve más viscoso cuanto más fría y alta es la oxidación del caldo. La colabilidad del caldo se ve reducida a bajas temperaturas.

Rojo apenas visible	475 °C
Rojo oscuro	475-650 °C
Rojo cereza	650-750 °C
Rojo cereza claro	750-815 °C
Naranja	815-900 °C
Salmón	900-1095 °C
Amarillo	1095-1315 °C
Amarillo claro	1315-1540 °C
Amarillo pálido	1540-1600 °C
Blanco	>1600 °C

Figura 12. Carta de temperaturas de acuerdo al color de caldo.

Fuente: El horno de cubilote y su operación. (American Foundrymen's Society, 1985).

### 2.7.2. Observación del aspecto de la escoria

Las características físicoquímicas de las escorias modifican su aspecto, la observación que se hace de una muestra enfriada en condiciones estandarizadas, brinda información relevante de los parámetros de operación del horno. En la tabla 20, se presentan las características más relevantes de la escoria e indicadores de operación del horno de cubilote.

Tabla 20. Observación del aspecto de la escoria e indicadores de operación del cubilote

Observación visual	Indicadores
Escoria fluida, verde botella y fractura brillante	Buena marcha del horno y escasa oxidación del caldo
Escoria compacta, parda con fractura vítrea de color amarillento	Buena marcha del horno con exceso de manganeso en el caldo
Escoria crema o gris claro, con fractura mate	Exceso de fundente entre carga
Escoria oscura, con fractura quebradiza y brillante	Falta de fundente entre carga
Escoria negra	Alto grado de oxidación del caldo

Fuente: (Baquero, 2000)

### 2.7.3. Ensayo de tendencia al blanqueo

Dependiendo de la velocidad de enfriamiento, una fundición puede solidificar como hierro gris, si el enfriamiento es lo suficientemente lento para que la solidificación siga el diagrama estable; o como fundición blanca, si el enfriamiento es rápido (solidificación metaestable).

La solidificación de piezas fundidas de pequeño espesor o diámetro favorece el enfriamiento rápido y, por tanto, la aparición de fundición blanca. La importancia de determinar la tendencia al blanqueo de las fundiciones grises radica en evitar la aparición de fundición blanca o atruchada que degrada las propiedades de las piezas.

En la norma ASTM A367, se describen los dos métodos estándar y tipos de probetas utilizadas para evaluar la tendencia al blanqueo de las fundiciones grises: prueba de la cuña (método A) y la prueba de enfriamiento (método B).

El método B es aplicable a hierros de contenidos de silicio mayores de 2,5% Si y de carbono mayores a 3,5% C. Los talleres de fundición de la región norte del Perú producen piezas con contenidos de silicio menores al 2% Si. Además, este método es significativamente más complejo que el método A, debido a que es necesario realizar el enfriamiento sobre una placa de acero refrigerada con agua.

Por lo tanto, la prueba de la cuña es el método más sencillo que mejor se adapta a las condiciones operativas de los talleres estudiados. En la probeta tipo cuña (prueba de la cuña) se forman dos zonas: la porción más cercana al vértice completamente libre grafito, se designa como fundición blanca, y la parte más amplia de la probeta, solidifica como fundición gris. Entre ambas zonas hay una región en que la microestructura presenta matriz cementita y hojuelas de grafito, a la cual se denomina zona atruchada.



Figura 13. Esquema de tendencia al blanqueo, probeta tipo cuña. Profundidad de blanqueo (h) y blanqueo total (W)

El ensayo de tendencia al blanqueo con cuña es un valioso instrumento para controlar la calidad del hierro en el horno de cubilote. El equipo necesario es relativamente simple y económico, y la prueba se puede completar rápidamente. El uso de esta prueba le da al fundidor un medio para detectar cambios adversos en la calidad del caldo.

La prueba de tendencia al blanqueo brinda la oportunidad de evaluar y ajustar la composición química del metal fundido para obtener la clase requerida. Medir el blanqueo total es una forma rápida de integrar los efectos combinados del carbono y silicio, y correlacionarlos con las propiedades esperadas de las piezas fundidas.

Solo porque dos fundiciones tengan el mismo carbono equivalente ( $\%CE = \%C + (\%Si + \%P)/3$ ), no necesariamente presentarán el mismo blanqueo total. Esto se debe a que ambas fundiciones, pueden contener distintas combinaciones de carbono y silicio, que resulten en un mismo valor de carbono equivalente. Por lo tanto, un equilibrio de carbono, silicio y una pequeña cantidad de fósforo, limita la formación de fundición blanca y los problemas de mecanizado posteriores.

En la figura 14, se muestra una gráfica de la relación entre el contenido de silicio y el blanqueo total (w) con valores constantes de carbono (3,23%C) y fósforo (0,08%P). Esta gráfica fue extraída de: Frás, Górný & Lopez. “Mechanism of the silicon influence on absolute chilling tendency and chill of cast iron” (2009).

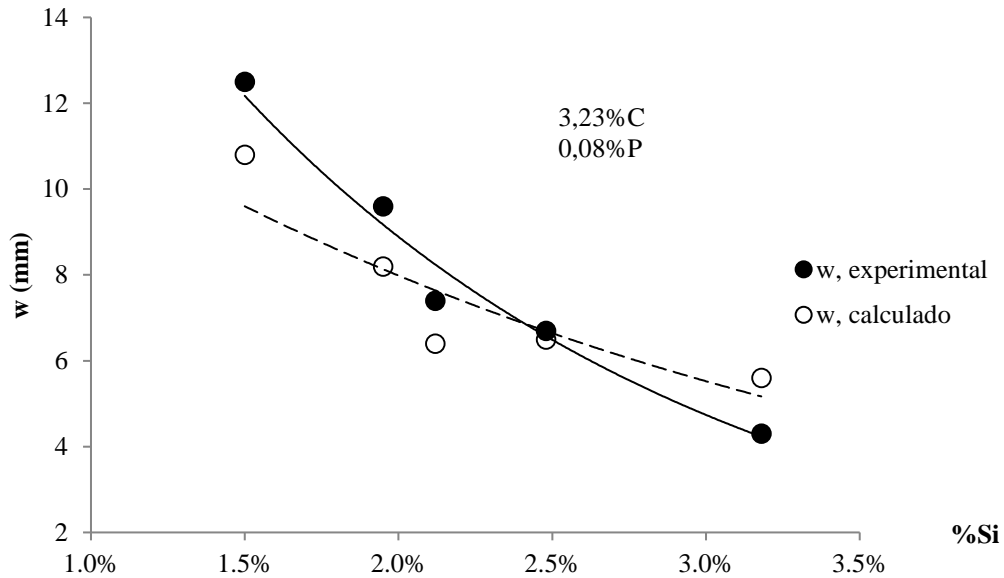
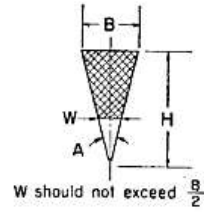
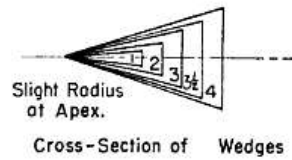


Figura 14. Efecto del contenido de silicio en el blanqueo total. La línea sólida representa los valores experimentales de  $w$  y la línea discontinua los valores calculados de  $w$ .

Fuente: (Fras, Górný, & Lopez, 2009)

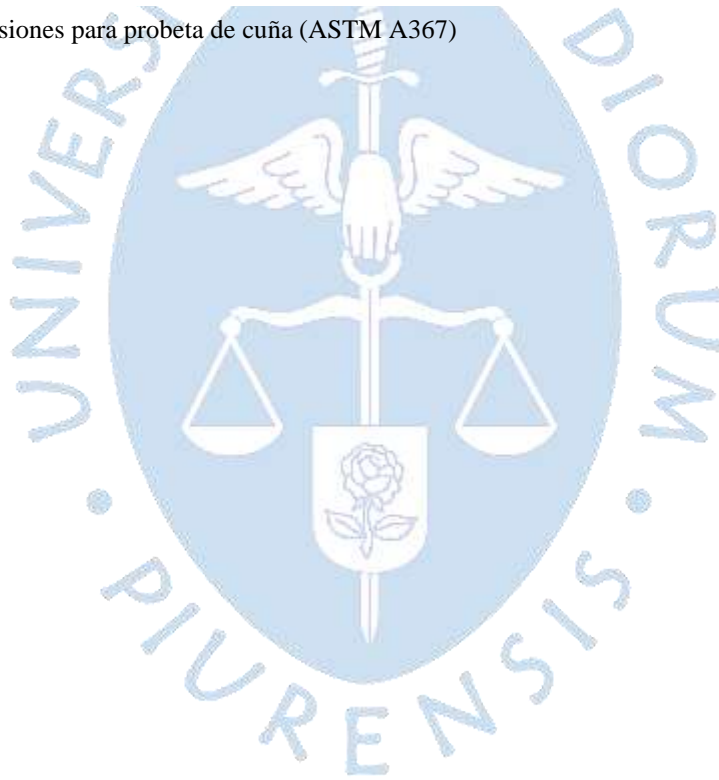
De acuerdo con la norma ASTM A367, el procedimiento para la medición del blanqueo es:

- Romper la muestra con un martillo de tal manera que la fractura sea recta y en la mitad de su longitud.
- Se realiza una primera observación visual para determinar la profundidad de blanqueo ( $h$ ) desde el vértice de la cuña. De la figura 15, se determina el blanqueo total ( $W$ ).
- En todos los casos, se expresa el blanqueo cada  $1/32$  pulg (0,8 mm). Un blanqueo reportado como W3-12 indicaría que se utilizó la cuña W3 y el ancho  $W$  en la unión de las porciones blanqueada y gris fue de  $12/32$  pulg (9,5 mm).



Wedge No.	Wedge Dimensions							
	B		H		A, deg	Length		
	in.	mm	in.	mm		in.	mm	
W 1	0.20	5.1	1.00	25.4	11.5	4	101.6	
W 2	0.40	10.2	1.25	31.8	18	4	101.6	
W 3	0.75	19.1	1.50	38.1	28	4	101.6	
W 3½	1.00	25.4	1.75	44.4	32	5	127.0	
W 4	1.25	31.8	2.00	50.8	34.5	6	152.4	

Figura 15. Dimensiones para probeta de cuña (ASTM A367)





## **Capítulo 3**

### **Diagnóstico del proceso de fusión y colada de fundiciones grises en el norte del Perú**

En base a la descripción previa de cada actividad del proceso de fusión y colada, se han analizado las variables que influyen en la calidad del material obtenido. Mediante un análisis FODA, se identifican los puntos críticos (en base a las debilidades y amenazas) y aspectos positivos (en base a las fortalezas y oportunidades), para proponer mejoras y soluciones a fin de conseguir paulatinamente, la obtención de piezas de calidad estandarizada.

Asimismo, se realiza un análisis FODA, para conocer los puntos críticos de la gestión empresarial debido a que la problemática en este aspecto supone grandes limitaciones para el crecimiento continuo de las MYPES de fundición.

Es necesario reconocer que, para obtener piezas de calidad estandarizada en las MYPES del norte del Perú, se requiere aplicar soluciones integrales en todas las etapas del proceso de fabricación de hierro gris (moldeo, fusión y colada, vaciado y desmoldeo) y en la gestión de empresas.

#### **3.1. Influencia del proceso de fusión y colada en la calidad de las piezas de fundición gris**

Esta sección sólo se enfoca en la caracterización macroscópica y microscópica de los defectos de las piezas, que tienen su origen en diversos aspectos del proceso de fusión y colada, desde la selección de la materia prima hasta la etapa de colada.

### 3.1.1. Defectos macroscópicos

Se han realizado otros trabajos de investigación referentes a los defectos macroscópicos ocasionados durante el proceso de moldeo (Cardoza, 2019), o como consecuencia del inadecuado diseño del horno de cubilote (Morales, 2019).

En la tabla 21, se indican los tipos de defectos macroscópicos encontrados en todas las piezas de hierro gris analizadas, a las cuales se hizo referencia en el Capítulo 2. Los defectos que se encuentran resaltados en negrita son los que se analizan en este capítulo porque tienen su origen en malas prácticas realizadas durante el proceso de fusión y colada.

Tabla 21. Frecuencia de incidencia de defectos en las piezas

Defectos macroscópicos	Frecuencia
Arena vitrificada	17
<b>Inclusiones de sedimento, escoria o fundente</b>	<b>10</b>
<b>Sopladuras y picaduras</b>	<b>7</b>
Contracción abierta o externa	6
<b>Picaduras en superficie</b>	<b>5</b>
Contracción interna o tapada	4
Salida	1
Revestimiento defectivo o mala reparación del molde	1
<b>Sopladuras de escoria</b>	<b>1</b>
<b>Inclusiones metálicas</b>	<b>1</b>
<b>Costura o costurón</b>	<b>1</b>
<b>Exudación interna o fosforosa</b>	<b>1</b>
<b>Piezas de fundición imperfecta</b>	<b>1</b>
Darta, expansión de darta	1
Hinchazón interna o externa	1
Fundición rota	1

Fuente: Cardoza, 2019

La identificación se realizó en base a una inspección visual, teniendo como referencia técnica el análisis acerca del origen metalúrgico ofrecido por el Comité Internacional de la Asociación Norteamericana de Fundidores (AFS, por sus siglas en inglés).

### **Inclusiones de sedimento, escoria o fundente**

El defecto de inclusiones de sedimento, escoria o fundente está presente en diez muestras analizadas. Estos defectos son cavidades de forma irregular rellenas con escoria o sedimento formados en el proceso de fusión o en cucharones de tratamiento. Las inclusiones pueden ocurrir en la superficie de la fundición o dentro de las paredes de la fundición (ver figura 16).

Las inclusiones pueden tener su origen en la escoria de piedra caliza que no se ha disuelto por completo y que tampoco es retirada del caldo antes del vaciado. Los talleres de fundición del norte de Perú utilizan piedra caliza como fundente de escoria y, en algunos casos, como desulfurante.



Figura 16. Sección transversal de la muestra M30, Taller 5. Se muestran cavidades de forma irregular dentro de las paredes de la pieza.

### **Sopladuras y picaduras**

Son cavidades con pared suave, de forma esférica y que muchas veces no están en contacto con la superficie externa de la fundición, a las cuales se les denomina sopladuras (ver figura 17), y las más pequeñas que aparecen en grupos de distintas dimensiones conocidas como picaduras. Las sopladuras y picaduras son producidas por el gas encerrado en el metal durante la solidificación.

El gas atrapado que produce este tipo de defectos puede ser originado por el contenido excesivo de gas del tipo hidrógeno y mezcla hidrógeno – nitrógeno en el caldo. En algunos casos, durante el proceso inicial de fusión se aporta hidrógeno en el metal base, por el uso de cargas metálicas altamente oxidadas y húmedas.



Figura 17. Corte transversal de la muestra M19, Taller 1, con cavidades esféricas subsuperficiales (sopladuras).

Por otra parte, la existencia de concentraciones elevadas de elementos fácilmente oxidables (Mg, Al, Ti, Zn, etc.) en el metal fundido favorece la aparición de poros. Todos estos elementos pueden reaccionar con el vapor de agua y generar hidrógeno.

Además de incrementar el contenido de hidrógeno en el medio, la reacción de estos elementos también genera óxidos que pueden actuar como centros de nucleación para las burbujas gaseosas formadas tras la saturación.

El zinc puede incrementar sus efectos debido a la presencia de aluminio. Por lo general, las cargas metálicas de acero presentan concentraciones elevadas de zinc debido a los procesos de galvanizado. Los elementos como el titanio, telurio, azufre y aluminio modifican la tensión superficial del metal líquido e influyen en la facilidad para formar sopladuras o picaduras.

Este defecto aparece en siete de las treinta muestras analizadas. La causa más probable es que los talleres de fundición no realizan el proceso de limpieza y selección de la chatarra de procedencia externa, esto trae como consecuencia el ingreso de material altamente oxidado y elementos extraños tales como magnesio, aluminio, titanio o zinc, que tienen alta afinidad con el hidrógeno, al horno de cubilote.

### **Picaduras en superficie**

Las picaduras en superficie son cavidades pequeñas, ubicadas en colonias que atraviesan la superficie de la fundición y pueden ser de dos formas: cavidades esféricas (ver figura 18) que pueden ser removidas por maquinado y cavidades prolongadas cerca de la superficie.



Figura 18. Picaduras superficiales en la superficie de la pieza M1, Taller 10

Existen diferentes causas para la aparición de picaduras en superficie, entre ellas se encuentran una temperatura excesiva del caldo, alto contenido de azufre y gas atrapado en el metal líquido.

Al igual que el defecto de sopladuras y picaduras, los gases atrapados son consecuencia del ingreso de material contaminado y de elementos extraños al horno de cubilote por la falta de limpieza y selección de la chatarra externa. Este defecto aparece en cinco muestras analizadas.

### Sopladuras de escoria

Este tipo de defecto tiene la misma apariencia que las sopladuras, pero acompañada por inclusiones de escoria (ver figura 19). La causa más probable es la reacción del metal líquido con los óxidos del refractario del horno.



Figura 19. Sección transversal de la muestra M23, Taller 4. Se muestran cavidades de forma irregular con inclusiones de escoria.

### Inclusiones metálicas

Las inclusiones metálicas o intermetálicas pueden ser de varios tamaños, y son diferentes en su estructura y color al material base. Las causas más probables son:

- Combinaciones intermetálicas formadas como la combinación de caldo e impurezas metálicas introducidas accidentalmente en la materia prima.
- Materiales de carga o ferroaleaciones que no se han disuelto completamente en la fusión.

### Costura o costurón

Son marcas de pliegues sobre la superficie de la fundición que no se extienden a gran profundidad. En las piezas de sección delgada, suelen estar en la superficie horizontal o convexa de las fundiciones. La causa más probable es el enfriamiento del metal superficial al estar demasiado viscoso.

La muestra M7, tiene un contenido de azufre (0,269%S) por encima de lo permitido. Como se ha mencionado en el Capítulo 2, este elemento en grandes cantidades disminuye la fluidez del caldo, por lo cual, se encontró el defecto de costura en esta pieza (ver figura 20).



Figura 20. Superficie de la muestra M7 del Taller 13 (pieza de sección delgada), mostrando marcas de pliegues

### **Exudación interna**

Este tipo de defecto aparece especialmente en hierro fundido. Son inclusiones metálicas (ver figura 21), esféricas y de superficie suave y brillante, que se encuentran en el interior de sopladuras u otro tipo de cavidades internas. Estas inclusiones suelen tener una composición química diferente al metal base y cercano al punto eutéctico.



Figura 21. Corte transversal de la muestra M27, Taller 4, presenta una inclusión metálica esférica dentro de una sopladura

Este tipo de defectos se puede evitar, eliminando defectos primarios como sopladuras donde el líquido eutéctico se pueda concentrar.

### **Pieza de fundición imperfecta**

Este tipo de defecto se caracteriza porque una parte de la fundición está incompleta (ver figura 22). La falta de fluidez y elevada oxidación del caldo son las causas más probables de este defecto, debido a que la temperatura de colada es demasiado baja.

Al igual que el defecto de costura, esta imperfección puede ser consecuencia del alto porcentaje de azufre, el cual influye directamente en la fluidez y temperatura del caldo.



Figura 22. Aro base con parte de fundición incompleta en la muestra M7 del taller 13.

#### **3.1.2. Defectos microscópicos**

En la tabla 22, se presenta el resumen de los defectos microscópicos y la frecuencia de aparición en las 30 piezas analizadas. Se realizó el microanálisis EDAX a 4 muestras con bajo (M3), medio (M11) y alto (M6 y M8) contenido de azufre comprobándose la presencia de sulfuros de hierros en todas las piezas analizadas.

Tabla 22. Defectos microestructurales identificados en las 30 piezas de fundición gris analizadas

Defectos microscópicos	Frecuencia
Sulfuros de manganeso	29
Microporos	27
Sulfuros de hierro	22
Microrechupes	5
Cavidades de contracción	3

Fuente: Guerrero, 2018

### Sulfuros de manganeso

Las inclusiones de MnS se forman por la combinación entre el S y Mn presente en el caldo. Son de color gris y de forma casi geométrica constituidos antes de la solidificación final. Su objetivo es prevenir la formación de sulfuros de hierro en los límites de grano. La cantidad necesaria para neutralizar contenidos de azufre menores al 0,12% está dada por la ecuación 3. Cuando el contenido de azufre es mayor se necesitará una mayor cantidad de manganeso, lo cual favorecerá el endurecimiento del hierro (Guerrero, Calderón, & Roncal, 2019).

La aparición de inclusiones de sulfuros de manganeso es aceptable dentro de ciertos límites. Sin embargo, en este caso el 80% de las muestras analizadas tiene porcentajes de azufre por encima del rango óptimo (0,05%S a 0,1%S), lo cual explica la abundante presencia de MnS.

En la muestra M7 perteneciente al Taller 13, se puede observar gran cantidad de partículas de color gris con formas redondeadas, típicas de sulfuros de manganeso (ver figura 23).

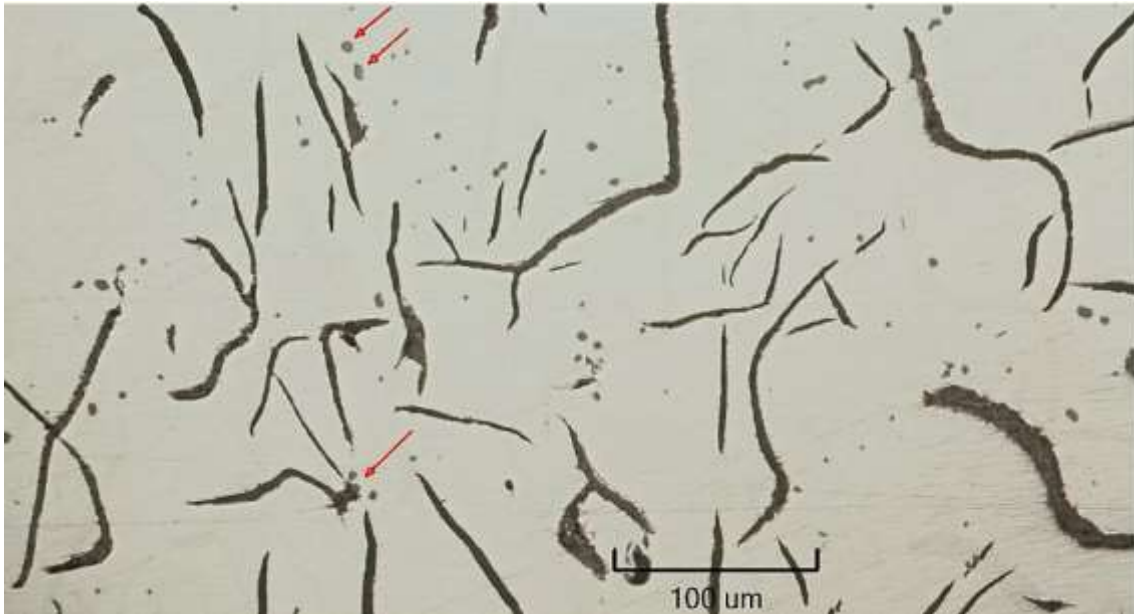


Figura 23. Inclusiones de sulfuros de manganeso en toda la pieza (M7). Estado de pulido (no atacado). 200 X.

El 85% de las muestras analizadas no tiene porcentajes de manganeso necesario para neutralizar los efectos negativos del azufre. En la tabla 23, se presenta la composición química de la muestra M7, en la cual se observa que el contenido de azufre es muy alto y el contenido de manganeso no es suficiente para neutralizar el azufre. Por lo tanto, se espera la aparición de sulfuros de hierro.

Tabla 23. Composición química de la muestra M7 (Taller 13).

Taller	Muestra	%C	%Si	%Mn	%P	%S	Azufre dentro del rango óptimo	%Mn req	Mn cumple con neutralizar el azufre
Taller 13	M7	3,452	1,49	0,33	0,222	0,269	No cumple	0,757	No cumple

Fuente: Elaboración propia

### Sulfuros de hierro

El hierro y el azufre forman una eutéctica de tipo Fe-FeS que es más rica en FeS. Si no hay líquido suficiente o aislado este aparece como constituyente matriz. Este compuesto genera un incremento en la dureza y fragilidad de la pieza. Además, favorece la aparición de cementita y da mayor facilidad para que se dé el fenómeno de blanqueo. Este defecto es consecuencia de que el contenido de manganeso es menor al requerido para neutralizar el azufre presente en el caldo y que por su afinidad con el hierro, forma sulfuros de este elemento (ASM International, 1992).

Según el contenido de manganeso requerido para neutralizar el azufre, se espera que en el 75% de las piezas analizadas aparezcan inclusiones de sulfuros de hierro debido al azufre libre no neutralizado.

La tabla 24 muestra la composición química de la muestra M6, la cual no cumple con los porcentajes óptimos de manganeso para neutralizar el azufre. Por lo tanto, se espera la aparición de sulfuros de hierro.

Tabla 24. Composición química de la muestra M6 (Taller 12).

Taller	Muestra	%C	%Si	%Mn	%P	%S	Azufre dentro del rango del rango óptimo	%Mn req	Mn cumple con neutralizar el azufre
Taller 12	M6	3,345	1,84	0,46	0,091	0,282	No cumple	0,7779	No cumple

En la figura 24, se muestran inclusiones de color gris claro (sulfuros de hierro) al lado de los sulfuros de manganeso en la pieza M6. De acuerdo al microanálisis EDAX, se comprobó la presencia de sulfuros de hierro.

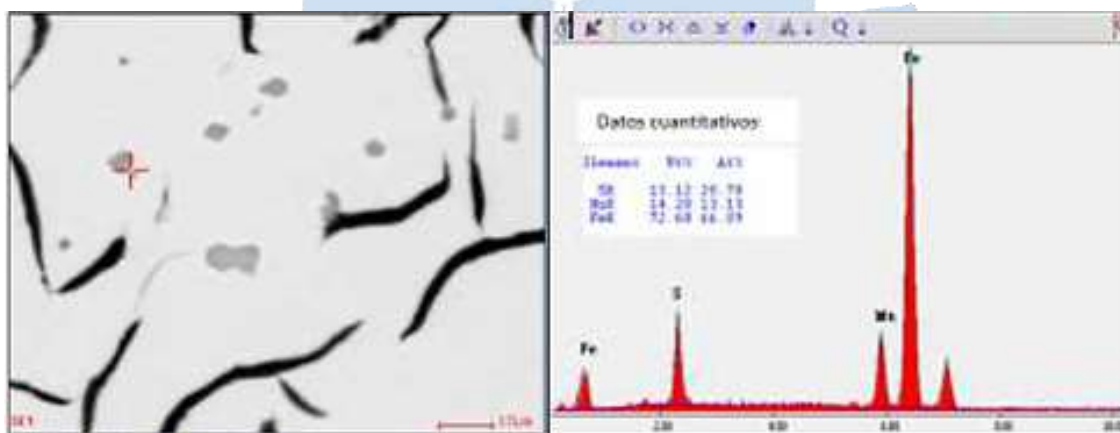


Figura 24. Identificación de inclusiones en la muestra M6. El microanálisis indica que la inclusión corresponde a sulfuro de hierro. Estado de pulido (no atacado).

Fuente: (Guerrero, Calderón, & Roncal, 2019)

### Microporos y microrechupes

Los microporos y microrechupes son pequeños agujeros de aspecto amorfo. El alto contenido de azufre en la pieza promueve la aparición de este tipo de defectos, debido a que reduce la fluidez y temperatura del caldo aprisionando los gases disueltos en la fundición.

En la figura 25, se puede observar defectos tipo microporos y microrechupes en la sección transversal de la pieza M6 perteneciente al Taller 12.

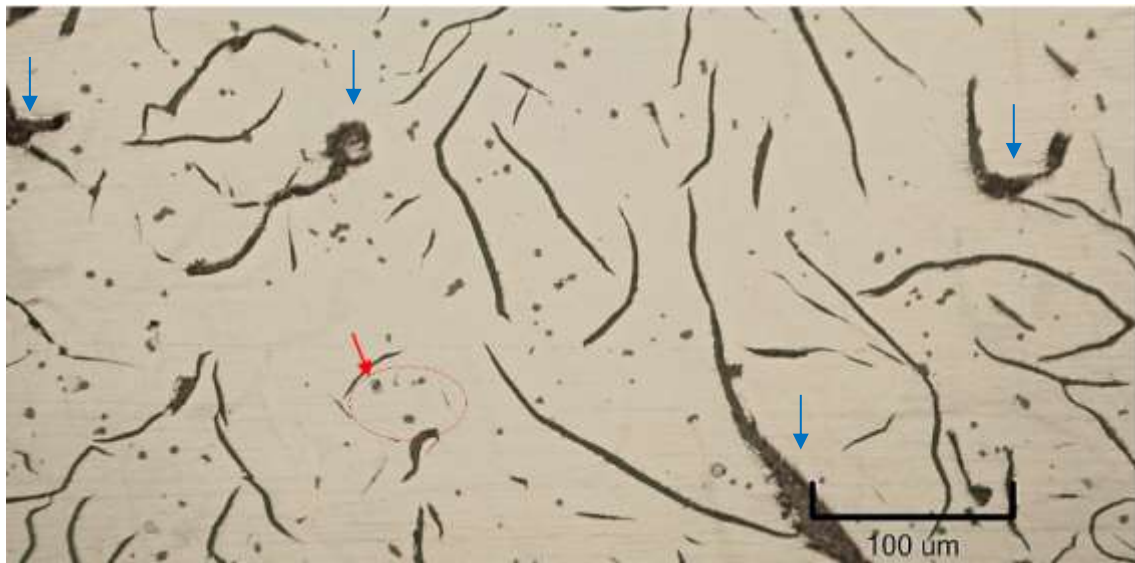


Figura 25. Inclusiones de sulfuros de manganeso (flecha roja) y microporos (flechas azules) de la muestra M6. Estado de pulido (no atacado). 200X

La norma permite identificar la clase según la composición química (ver tabla 14) y la resistencia a la tracción. Sin embargo, si no se tiene el valor del ensayo de tracción se puede aproximar el grado con los valores de dureza en Brinell, utilizando la tabla 25.

Tabla 25. Propiedades mecánicas de barras de prueba estándar de fundiciones grises en estado de colada

Clase	Resistencia a la tracción (Ksi)	Dureza (HB)
20	22	156
25	26	174
30	31	210
35	36,5	212
40	42,5	235
50	52,5	262

Fuente: ASM International, 1992.

De todas las muestras analizadas sólo el 15% puede ser ubicada dentro de una clase según su composición química. Mientras que por sus propiedades mecánicas se pudo identificar el grado en más de 40% de las piezas.

La falta de correspondencia entre la composición química y las propiedades mecánicas se explica principalmente por las características microestructurales, defectos de fusión y alto contenido de azufre (Guerrero, Calderón, & Roncal, 2019).

### 3.2. Identificación de puntos críticos en la etapa fusión y colada

Tomando como base la descripción de la etapa de fusión y colada de los talleres de fundición del norte del Perú, desarrollada en el Capítulo 2, y la identificación de las causas de los defectos macroscópicos se ha preparado un análisis FODA que se presenta en la tabla 26.

A partir de las debilidades y amenazas, se identificaron los puntos críticos de esta etapa, los cuales se enlistan a continuación:

- Falta de selección de combustible.
- Falta de catalogación de chatarras en el norte del Perú.
- Incorrecto almacenamiento y limpieza de la chatarra.
- No se utilizan aditivos para mejorar la calidad de caldo.
- Falta de aplicación del cálculo de cargas
- Falta de control de parámetros de fusión.

Tabla 26. Análisis FODA del proceso de fusión y colada del norte del Perú

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran experiencia del personal.</li> <li>• Predisposición para mejorar la calidad de las piezas.</li> <li>• Algunos fundidores logran obtener piezas clase 30, aún con métodos empíricos.</li> <li>• Contacto directo con sus clientes.</li> <li>• Algunos talleres de fundición cuentan con grandes áreas de trabajo.</li> <li>• Facilidad para implementar procesos de almacenamiento y limpieza de la materia prima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de una política de calidad.</li> <li>• Falta de catalogación de la chatarra.</li> <li>• Incorrecto almacenamiento y limpieza de la materia prima.</li> <li>• No se realiza cálculo de cargas.</li> <li>• No se utiliza aditivos para mejorar la calidad del caldo.</li> <li>• No se realiza ningún control de parámetros.</li> <li>• Incorrecta distribución del área de trabajo.</li> <li>• Presencia de defectos micro y macroestructurales, que merman las propiedades mecánicas de las piezas.</li> <li>• Incremento de costos de fabricación por refundir piezas defectuosas.</li> <li>• Falta de infraestructura y expertos en la materia para brindar capacitaciones.</li> <li>• Combustible utilizado no cumple con las propiedades requeridas.</li> </ul>

Tabla 26. Análisis FODA del proceso de fusión y colada del norte del Perú (continuación)

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el mercado se encuentra antracita de mejor calidad.</li> <li>• Métodos empíricos para controlar los parámetros del horno.</li> <li>• Desulfurantes que pueden ser utilizados para disminuir el exceso de azufre del caldo.</li> <li>• Ferroaleaciones que pueden ser utilizadas para ajustar la composición química del caldo.</li> <li>• Bajo costo de la materia prima (chatarra y combustible)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importación de piezas a bajo costo.</li> <li>• Chatarra recomendada por la literatura técnica no se encuentra disponible en la región.</li> <li>• No se encuentra coque de buena calidad en la región.</li> <li>• Mano de obra poco calificada.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1. En cuanto a la selección del combustible

La falta de una política de calidad en los talleres de fundición del norte del Perú hace que adquieran carbón de piedra económico, cuyas propiedades físicas y composición química no son las más adecuadas para esta aplicación; siendo el de mejores prestaciones para la producción de hierro gris, el coque.

El alto contenido de azufre (1,7% S mínimo) en el tipo de carbón que utilizan los talleres de fundición es uno de los problemas prioritarios en la obtención de piezas de calidad. Este elemento, como se ha visto anteriormente disminuye la fluidez del caldo, limita el crecimiento del grafito, favorece la tendencia al blanqueo y dificulta la fabricación de fundición nodular.

Según la Dirección de Promoción Minera del Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2012) la producción de carbón en el Perú fue de 164 392 ton. Del total del carbón producido más de 77 000 ton son de tipo antracita y 87 000 ton son de carbón bituminoso, este último tipo de carbón se extrae del distrito de Oyón, en el departamento de Lima.

Actualmente, el carbón producido en el país es consumido casi totalmente en la industria siderúrgica y metalúrgica no ferrosa. Para obtener coque de buena calidad se debe importar de países como Colombia, Brasil, Japón, China y Estados Unidos, pagando precios cada vez más altos por la importación de estos carbones.

El precio del coque de fundición oscila en S/4,2 por kg (Morales, 2019), en nuestro país vecino de Colombia. En el Perú, existen empresas dedicadas a importar coque metalúrgico por lotes de 30 a 40 mil ton, lo cual, no se ajusta a la realidad actual de los talleres de fundición del norte del Perú, debido a que no se tiene el requerimiento de esta cantidad de coque, ni el capital necesario para adquirirlo.

Se recomienda adquirir carbón tipo antracita de mejor calidad disponible en el mercado interno, cuya fuente más cercana se encuentra en el departamento de La Libertad. El precio del carbón antracita para el mercado interno se determina en función de la calidad del material y la distancia entre el yacimiento y lugar de consumo. Según la información proporcionada por los fundidores, adquieren carbón de piedra de baja calidad a S/2,4 por kg puesto en el taller de proveedores informales que proporcionan este producto sin conocer la composición química del mismo.

Algunas empresas de La Libertad que comercializan antracita de calidad son: Carboin S.A.C, MONTE SIÓN MINERA, CARANTRA y SESUVECA. La composición química del carbón depende de los requerimientos del cliente, presentando los rangos mostrados en la tabla 27.

Tabla 27. Rango de análisis químico ofrecido por las empresas que comercializan antracita de fundición.

Características	Antracita Industrial (tipo fundición)
Humedad total (%)	5% a 7%
Materiales volátiles (% base seca)	2% a 5%
Cenizas (% base seca)	6% a 15%
Carbón fijo (% base seca)	78% a 87%
Azufre (% base seca)	0,5% a 1%
Poder calorífico (kcal/kg base seca)	6200 a 7500
Granulometría	4" a 8"

Fuente: Adaptado (2019) de Carboin S.A.C; Monte Sión minera, Carantra y Sesuveca.

### 3.2.2. En cuanto a la catalogación de chatarras en el norte del Perú

La mayoría de las empresas de fundición del norte del Perú no cuentan con una política de calidad y, en consecuencia, no tienen por objeto obtener piezas de clase estándar; sólo el 15% del total de muestras analizadas pudo ser clasificada dentro una clase (Guerrero, 2018).

La baja calidad desde el punto de vista químico es causada principalmente por la falta de conocimiento de la composición química promedio de las chatarras que se adquieren y que se utilizan para cargar el horno de cubilote en un 80% aproximadamente. Al desconocer el análisis químico de la carga que ingresa al cubilote, desconocen lo que sale del horno, esto imposibilita la repetitividad entre coladas y el mejoramiento de la calidad del caldo.

La literatura técnica sugiere diferentes tipos de chatarra que en muchos casos no se encuentran disponibles en la región norte del Perú. En el proyecto se analizaron once piezas de chatarra tales como: carcasa de bomba, volantes de motor, bancada de motor, y válvulas. Estas piezas son las más representativas y abundantes en el universo de chatarras de fundición gris que existe en el norte del país.

Sin embargo, es necesario realizar una catalogación más extensa de las chatarras tanto de fundición gris como de acero, a través de la identificación del componente de máquina y fabricante, de los cuales se puede obtener la ficha técnica y su composición química aproximada. En algunos casos, se puede requerir realizar el análisis químico de las piezas de chatarra más representativas. Todo esto con el objetivo de elaborar un catálogo detallado de las chatarras disponible en la región norte del país, para su posterior uso en la selección de la chatarra y cálculo de cargas.

Además, la heterogeneidad química de la chatarra de retornos del propio taller es elevada, debido a que son piezas defectuosas o partes del sistema de alimentación de clase no estándar.

### **3.2.3. En cuanto al almacenamiento y limpieza de la materia prima**

En general, los talleres de fundición no realizan un proceso adecuado de limpieza de la materia prima, lo cual posibilita el ingreso al horno de elementos perjudiciales para la calidad del caldo. Es así como, del total de defectos (59) encontrados en las piezas, el 40% es consecuencia del poco cuidado que se tiene referente al almacenamiento y limpieza de la materia prima.

Por lo tanto, se recomienda realizar el proceso de limpieza antes del pesaje de la chatarra, extrayendo los accesorios de las piezas que pueden ser de cobre, estaño, plomo y/o aluminio.

Asimismo, las piezas excesivamente oxidadas o húmedas deben rechazarse porque pueden generar sopladuras y/o picaduras en el producto final. La chatarra de alta aleación se debe evitar por el elevado contenido de elementos aleantes que pueden perjudicar la calidad del caldo.

El incorrecto almacenamiento favorece la adherencia de tierra, rocas y/o cemento a la chatarra y, por consiguiente, su ingreso al horno, estos materiales pasan a formar parte de la escoria e incrementan la cantidad de fundente necesario para fundirla.

### **3.2.4. En cuanto al uso de aditivos para mejorar la calidad del caldo**

La necesidad de utilizar aditivos para mejorar la calidad del caldo se hace evidente en el bajo porcentaje de piezas de clase estandarizada que obtienen los talleres de fundición. Los fundidores de la región norte del Perú no utilizan aditivos, debido a que desconocen la composición química de la chatarra y, por ende, del caldo. Además, en general no tienen por objetivo obtener piezas de clase estandarizada.

Asimismo, en la mayoría de los casos los fundidores asumen que el costo de añadir aditivos al caldo supone un incremento exagerado del mismo. En este marco, la tabla 28 muestra los precios de los aditivos utilizados en la fabricación de hierro fundido, en soles por kg de cada aditivo y en soles por kg de hierro fundido.

Tabla 28. Costo de aditivos para la fabricación de hierro fundido

Aditivo	Costo (S//kg de aditivo)	Costo (S//kg hierro fundido)
Ferrosilicio	6,51	0,036
Ferromanganeso	5,41	0,021
Piedra caliza	0,075	0,00015
Carburo de calcio	1,67	0,1
Total		0,157
Incremento porcentual respecto al precio base		6%

Como se muestra en la tabla 28, el incremento porcentual que se produce al añadir aditivos al caldo es del 6% del precio base (S/2,397/kg hierro fundido). No obstante, el beneficio que se obtiene en relación con mejorar las propiedades mecánicas y homogeneidad química es mayor, llegando a fabricar clases 35 o 40, las cuales se pueden vender a precios superiores al de los productos que comercializan actualmente.

Otro factor que influye en el empleo de estos materiales aleantes, es el desconocimiento del método y la cantidad a añadir. En este contexto, se recomienda utilizar el ensayo de tendencia al blanqueo para estimar la cantidad de silicio requerida. Posteriormente, utilizar el cálculo de cargas para conocer la cantidad de ferroaleaciones necesarias y agregarlas en cuchara evitando la oxidación excesiva de estos elementos.

El uso de carburo de calcio como desulfurante presenta mejores prestaciones referentes a la capacidad de desulfuración respecto a la piedra caliza que, normalmente, se utiliza en los talleres de fundición.

Además, la piedra caliza utilizada como fundente y desulfurante reacciona con el refractario ácido utilizado en el recubrimiento del horno y cucharas de colado, lo cual genera más escoria, desgastando los refractarios y disminuyendo la capacidad de desulfuración de este material.

### 3.2.5. En cuanto al cálculo de cargas que ingresan al cubilote

El cálculo de cargas es un requerimiento para estimar y ajustar la composición química del metal fundido. En este sentido, se ha observado que en los talleres de fundición no se realiza un correcto balance de cargas.

Además, el desconocimiento de la composición química de las chatarras que ingresan al horno de cubilote dificulta el cálculo, en este escenario surge la necesidad de realizar una catalogación de las chatarras de la región norte del Perú. Otro factor, que impide utilizar este balance de cargas en los talleres de fundición es el desconocimiento del método de aplicación y las ventajas de este, tales como ejercer un control sobre la calidad del caldo, resultando en la mejora de las propiedades químicas y mecánicas.

### **3.2.6. En cuanto al control de parámetros**

Los parámetros de operación del horno de cubilote influyen en la calidad del metal fundido. Existen distintos métodos para medir estos parámetros tales como: medida de la temperatura de colada con pirómetros y/o análisis químico del metal. Sin embargo, realizar estos procedimientos supone la adquisición de equipos demasiado costosos y de personal especializado.

La medición de temperatura de colada en la mayoría de los talleres de fundición se realiza a través de métodos empíricos en función del color y fluidez del caldo, y el tiempo de permanencia dentro del horno. Este método funciona adecuadamente para estimar la temperatura del metal fundido, pero se debe tener un control riguroso en los parámetros mencionados (fluidez, color y tiempo).

Por otro lado, los talleres de fundición no utilizan el aspecto de la escoria para evaluar la marcha del horno de cubilote y conocer si se está desulfurando y desescoriando el caldo correctamente. Tampoco, se realiza el ensayo de tendencia al blanqueo para estimar el porcentaje de silicio faltante en la aleación.

### **3.3. Identificación de puntos críticos en la gestión de empresas**

Para la evaluación de puntos críticos de la gestión de empresas de fundición del norte del Perú, se ha realizado un análisis FODA, que se muestra en la tabla 29, identificando los siguientes puntos críticos:

- Falta de una política de calidad.
- Mano de obra poco calificada.

- Limitado acceso al sistema financiero.
- Falta de un sistema de costos.
- Alto grado de informalidad de las MYPE.
- Limitadas capacidades gerenciales.
- Falta de una cultura de seguridad, salud y medioambiente.

Tabla 29. Análisis FODA de la gestión de empresas del norte del Perú

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de obra disponible en el norte del Perú.</li> <li>• Gran experiencia del personal que labora en los talleres de fundición.</li> <li>• Predisposición para mejorar la productividad de las MYPE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de una política de calidad.</li> <li>• Salarios y beneficios sociales deficientes de los trabajadores y empresarios.</li> <li>• Empleo de baja calidad.</li> <li>• Inadecuada distribución de responsabilidades laborales.</li> <li>• Falta de planificación e informalidad en el sistema de compra y venta.</li> <li>• Instalaciones poco apropiadas.</li> <li>• Procesos artesanales y poco eficientes.</li> <li>• Falta de cultura de seguridad, salud y medioambiente.</li> <li>• Falta de estructura de costos.</li> <li>• Poco conocimiento del mercado.</li> <li>• Limitadas capacidades gerenciales.</li> <li>• Escasa generación de innovación y uso de tecnologías.</li> <li>• Área de operación local.</li> <li>• Falta de planificación de inversiones a corto, mediano y largo plazo.</li> </ul>
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro y formalización de las empresas.</li> <li>• Beneficios tributarios para la micro y pequeña empresa.</li> <li>• Alta demanda de productos de fundición gris y nodular.</li> <li>• Mayor acceso a la tecnología de información respecto a la sierra peruana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importación de piezas de mejor calidad y menor costo.</li> <li>• Alto grado de informalidad de las MYPE.</li> <li>• Escasa inserción en el mercado externo.</li> <li>• Desconocimiento de los derechos y deberes que tienen ante la SUNAT.</li> <li>• Limitado acceso a servicios financieros.</li> <li>• Mano de obra poco calificada.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1. En cuanto a la política de calidad

A pesar de que, el estado ha emitido una serie de Decretos Legislativos en materia tributaria, dirigida principalmente a las MYPE, es necesario que las empresas sean más competitivas para poder cumplir con sus obligaciones tributarias y para lograrlo es vital la incorporación de una política de calidad (Burneo, 2017).

La apertura a mercados internacionales a través de tratados de libre comercio no sólo trae consigo oportunidades de crecimiento sino también retos frente a la competencia cada vez más globalizada. Resulta casi imposible ingresar a mercados externos y/o por lo menos mantener la participación en el mercado interno, sin aplicar normativas técnicas, contar con acreditadores y laboratorios que certifiquen la calidad de los productos, y sin uso de la metrología (Burneo, 2017).

En este contexto, sólo el 10% de las MYPE de fundición estudiadas producen utilizando normas técnicas, lo que significa que el 90% de las MYPE elaboran sus productos únicamente con criterios del propio empresario o las especificaciones técnicas que le solicita el cliente.

Además, sólo el 10% de las MYPE de fundición utilizan algún instrumento de medición en sus procesos para realizar el control de calidad, y ninguna empresa ha calibrado sus instrumentos en entidades especializadas. Ninguna de las empresas de fundición estudiadas cuenta con alguna certificación de proceso, principalmente porque desconocen las certificaciones disponibles en el mercado.

Asimismo, todas las MYPE manifiestan tener un porcentaje de rechazos superior al 10%, lo cual genera costos adicionales de reemplazo de productos y deterioro de la imagen de la empresa en el mercado poniendo en riesgo su sostenibilidad. La no calidad es consecuencia de la falta de procesos estandarizados, fallas en el diseño de modelos y moldes, y en el horno de cubilote, mala adquisición de materia prima, no uso de normas técnicas, de la infraestructura poco tecnológica de las MYPE, entre otros.

Por lo tanto, se puede afirmar que las MYPE de fundición de la región norte del Perú, no cuentan con una política de calidad, que les permita medir y controlar la calidad de sus productos. Debido a esto, la mayoría de los talleres producen piezas de clase no estandarizada, tienen un alto índice de piezas defectuosas o rechazadas, y se presentan constantes diferencias en los productos fabricados.

### **3.3.2. En cuanto a la mano de obra poco calificada**

Los principales problemas en el proceso de fusión y colada son consecuencia de la falta de capacitación técnica y de gestión tanto del personal operativo como de los supervisores. En la región norte del Perú, tres de los diez talleres estudiados cuentan con un ingeniero especializado, que ocupan puestos como supervisores y/o gerentes.

Sin embargo, este nivel de capacitación no se extiende a todos los puestos de trabajo ni a todas las empresas de fundición. La mayoría de los trabajadores de fundición son personas con mucha experiencia adquirida de forma empírica, sin sustento en los fundamentos teóricos del proceso.

Capacitar al personal no sólo influye en la obtención de piezas de mejor calidad, sino también en la optimización de procesos, aprovechamiento de recursos y mejor identificación con la empresa que representan. En este contexto, se recomienda proporcionar cursos especializados en cada una de las áreas en las que laboran los trabajadores, con el objetivo de adquirir una política de calidad.

Además, en este aspecto no sólo se identifica la necesidad de capacitación de los trabajadores de los talleres de fundición, sino también el escaso personal especializado para brindar este tipo de conocimientos técnicos. Asimismo, existe una falta de infraestructura, tales como planta piloto y laboratorio de fundiciones, que aplique la ciencia metalúrgica y métodos innovadores para la fabricación de piezas de alta demanda.

Los puntos críticos antes identificados en el proceso de fusión y colada tienen una incidencia en la gestión de las MYPE referidos al incremento en los costos de producción; baja eficiencia de los procesos; poca capacidad de inversión; y limitaciones para ingresar al mercado de fabricación de fundiciones nodulares, piezas con alta demanda y mayor precio, debido a la baja calidad del caldo producido.

### **3.3.3. En cuanto al acceso al sistema financiero**

El sector financiero juega un rol importante para las empresas, a través de servicios de ahorros, financiamiento de inversiones e innovaciones que en conjunto pueden fortalecer la actividad económica de las MYPE, y su contribución al crecimiento económico, reducción de la informalidad y lucha contra la pobreza (León, 2017).

Pocas instituciones otorgan líneas de crédito a los micro y pequeños empresarios y normalmente se exigen garantías o prendas hipotecarias que ponen en riesgo la operación misma de la empresa sujeta al crédito.

El acceso al capital le permite a cualquier micro y pequeño empresario, un incremento significativo de su nivel de productividad y, por ende, de sus niveles de rentabilidad. Pese a que, gran parte de las MYPE de fundición tienen acceso a instituciones financieras, desde el punto de vista de infraestructura; esto no se traduce de manera automática en la adquisición y uso de los servicios que estos ofrecen, siendo las razones más importantes las limitaciones para la formalización del crédito o el acceso a garantías, la desconfianza en el mercado y las instituciones financieras, así como el desconocimiento respecto del uso adecuado de los servicios ofrecidos por estas instituciones financieras.

A medida que el acceso a créditos sea reducido, esta demanda será satisfecha rápidamente por canales informales de financiamiento, tales como: préstamos de familiares y amigos, proveedores de productos, prestamistas informales, entre otros.

En este sentido se recomienda proporcionar a los propietarios de las MYPE de fundición cursos referidos a cómo realizar una estructura de costos, que tipos de productos financieros necesitan y en qué tipo de instituciones sacar préstamos, brindar asesoramiento sobre en qué y cuándo invertir, la importancia de ahorrar y conocer el mercado de fabricación de metales, generar márgenes de ganancia y capitalizarse para que su negocio crezca en variedad de productos y competitividad.

El mercado de aleaciones está en constante crecimiento por la alta demanda de piezas a tanto a nivel nacional como internacional. Para impulsar la inversión en la producción de otros materiales y mejorar el acceso al sistema financiero se debe conocer los requerimientos de las industrias regionales que, actualmente, fabrican sus piezas en la capital y/o las importan. Por lo tanto, se recomienda elaborar un catálogo de las piezas de fundición gris con mayor demanda de las industrias de la región norte del país.

La atención oportuna de los productos financieros es un elemento fundamental para atender al sector empresarial de las MYPE de fundición, generalmente, estos empresarios valoran el crédito oportuno para aprovechar oportunidades de negocio y atender a sus clientes. Asimismo, los servicios financieros complejos e inadecuados a la demanda, la falta de promoción de los productos financieros, contratos confusos e información compleja dificultan el acceso al crédito del sistema financiero formal.

Desde el punto de vista de la globalización, las MYPE han sido las más afectadas en el entorno de competencia con las grandes empresas multinacionales, ya que no cuentan con el apoyo de un corporativo poderoso, desventaja en los precios, productos muy baratos desde China, falta de contratos beneficiosos con proveedores por la cantidad de producción, entre muchas otras limitantes.

Sin embargo, las MYPE por su tamaño, estructura ligera, conocimiento del mercado local, etc., pueden adaptarse más fácilmente a un mercado cambiante y buscar ventajas competitivas. En este aspecto las MYPE de fundición pueden aliarse con las grandes industrias, para ser proveedor de sus productos, esto depende del incremento de la calidad de las piezas fabricadas.

Además, las MYPE de fundición se pueden enfocar en mercados de aleaciones desatendidos por las empresas globalizadas y/o concentrarse en productos más rentables.

Asimismo, el apoyo del gobierno es de vital importancia para la subsistencia de las MYPE de fundición generando incentivos financieros, tecnológicos, de gestión y fiscales cuyo enfoque sea en beneficio de las MYPE, algunos de estos esfuerzos se ven reflejados en el Plan Estratégico Nacional Exportador 2025 (MINCETUR, 2015).

En la mayoría de los casos, el dueño de la MYPE no maneja la información financiera, y tampoco supervisa la labor del contador externo al cual se delega esta responsabilidad, principalmente por el desconocimiento de conceptos contables. La mayoría de los empresarios están desorganizados, ya que mezclan sus gastos personales con los gastos de la empresa. Además, los dueños de las MYPE realizan las funciones de administrador, jefe de planta y supervisor, y no establecen un sueldo fijo para ellos.

A pesar de que todas las empresas estudiadas se encuentran registradas en la SUNAT, en algunas ocasiones, las MYPE aceptan vender sus productos y adquirir materia prima sin comprobantes de pago. Por lo que en algunos casos se desconoce con certeza la rentabilidad de su empresa, pues no se manejan cuentas reales. Asimismo, el precio de sus productos lo determinan en función al mercado, sin conocer sus costos y cuantificar su margen de ganancia.

Todos estos factores determinan la necesidad que las MYPE de fundición implementen un sistema de costos, enfocándose en la reestructuración u ordenamiento de su información para contar con una identificación clara de los costos que forman parte de su proceso productivo.

El adecuado ordenamiento de una estructura de costos se traduce, en que las MYPE de fundición pueden monitorear de manera más efectiva sus recursos (materiales, humanos, financieros, entre otros). Además, permite identificar las actividades claves, reconocer en donde se realizan gastos innecesarios o donde se necesita mayor inversión para obtener un mejor margen de ganancia, y conocer que producto es más rentable para incrementar la inversión.

Por el lado de la gestión una estructura de costos tiene un efecto positivo debido a que ayuda a tomar mejores decisiones como: qué piezas vender, a qué precio venderlas; y qué piezas hay que dejar de producir. En el tema financiero un sistema de costos permite tener acceso a líneas crediticias y a mejores tasas de préstamos (Peñaherrera & Loarte, 2018).

Las limitaciones de la implementación de un sistema de costos en las MYPE de fundición son: la falta de instrucción y de personal capacitado en conceptos contables, y que algunas empresas están constituidas por grupos familiares.

Según la SUNAT, existen distintos grados de formalidad. En las MYPE de fundición el 100% de las MYPE estudiadas cuentan con RUC, sin embargo, no cumplen con los otros requisitos de formalidad como: pagar beneficios sociales y contribuciones de ESSALUD de manera puntual a todos sus trabajadores, pagar arbitrios e impuestos municipales de manera puntual, tener licencias y permisos municipales.

Por lo tanto, los bajos niveles de MYPE totalmente formales es otro factor que impide la aplicación de un sistema de costos, ya que, al no tributar correctamente y no tener la obligación de llevar ningún tipo de contabilidad, no tienen la necesidad de mantener un orden de sus costos y gastos. Asimismo, el empresario de una MYPE formal ve la contabilidad solo como una obligación tributaria más no como una herramienta para la gestión y desarrollo de la empresa.

Se recomienda realizar talleres y capacitaciones que permitan un mayor conocimiento en temas de determinación de precios, la administración de costos y gastos, estado de ganancias y pérdidas, entre otros. Asimismo, identificar los beneficios de la aplicación e implementación de un sistema de costos. En consecuencia, se logrará que los empresarios puedan tener un mejor manejo de costos y puedan realizar una mejor toma de decisiones.

### 3.3.4. En cuanto a la informalidad en las MYPE

Para que una empresa sea totalmente formal debe cumplir los siguiente requisitos: tener RUC, pagar impuestos, ser una empresa habida<sup>2</sup>; pagar los beneficios sociales y contribuciones de ESSALUD de manera puntual a todos sus trabajadores, además de su sueldo y salario; pagar arbitrios e impuestos municipales de manera puntual; y tener licencias y permisos municipales (Silupú, 2011).

De todos estos requisitos, el 100% de las MYPE de fundición se encuentran registradas en la SUNAT. Sin embargo, las empresas no cuentan con los permisos especiales que exige el estado para este tipo de actividad industrial.

Algunos trabajadores de estos talleres son contratados por jornada cada vez que se realiza el proceso de fundición, en estos casos los trabajadores no cuentan con un contrato laboral, no cuentan con beneficios sociales o aportes al fondo de pensiones.

El desarrollo de la formalidad de las MYPE se dificulta por las regulaciones excesivas y sobrecostos de la formalización, en este aspecto el estado peruano ha emitido una serie de decretos legislativos en materia tributaria, dirigidos a las MYPE.

Pero, se deben tomar acciones necesarias más allá de la simplificación de trámites, tales como regulaciones de seguridad, salud y medioambiente que sean más adecuadas a las características de las unidades productivas, sin desproteger al trabajador (Delgado & Mendieta, 2015).

Con el objetivo de disminuir la informalidad de las MYPE de fundición, los dueños se deben capacitar para reconocer las ventajas y requisitos para la formalización total. Asimismo, el dueño debe ser capaz de identificar los beneficios tributarios de las MYPE ante la SUNAT y aprender que la formalidad abre las puertas al crecimiento de sus negocios, a través del acceso al sistema financiero.

---

<sup>2</sup> Según SUNAT, son aquellas empresas que no se encuentran en liquidación o en proceso judicial.

### **3.3.5. En cuanto a las capacidades gerenciales**

Las MYPE de fundición desde el punto de vista de gestión empresarial, se caracterizan porque tanto el supervisor o propietario y operarios realizan todos, tareas similares; y los objetivos que se plantean no son difundidos a todos los trabajadores. Además, los dueños tienen dificultades para asignar funciones y delegar el poder de toma de decisiones a los empleados. Otra característica es el poco manejo de la comunicación y la no promoción de compromiso con la empresa en sus equipos de trabajo.

La gerencia es un proceso que debe ser compartido responsablemente con los miembros del equipo y los colaboradores para que de una forma planificada y organizada alcancen los objetivos que se propongan, lográndose diferentes y variadas satisfacciones para todos, aumentando su productividad personal y competitiva, y haciendo que el negocio obtenga resultados medibles financieramente (Quintana, 2009).

Las habilidades gerenciales, entendidas como un conjunto de capacidades y conocimientos que el emprendedor debe poseer o desarrollar para realizar las actividades de administración y liderazgo en el rol de gerente o director de una organización, son: manejo y administración de recursos humanos, gestión de tiempo, capacidad de análisis, capacidad de negociación, gestión de proyectos, toma de decisiones y trabajo en equipo (Paredes, 2017).

En este contexto, se debe desarrollar el potencial de los empresarios que dirigen las MYPE de fundición proporcionando conocimientos de las técnicas, herramientas y habilidades gerenciales que mejoren la gestión empresarial y, por ende, logren los objetivos establecidos.

### **3.3.6. En cuanto a la cultura de seguridad, salud y medioambiente**

De acuerdo con los datos del Sistema de Notificación de Accidentes de Trabajo (SAT), en el mes de febrero de 2019, se registraron en Piura 126 notificaciones de accidentes de trabajo no mortales y mortales lo que representa el 4,1%, después de Lima Metropolitana (72,6%), provincia constitucional del Callao (12,1%) y Arequipa (4,2%).

Asimismo, la actividad económica que más contribuyó con notificaciones de accidente, incidentes y enfermedades ocupacionales fue la industria manufacturera con 23% (MTPE, 2019).

En la figura 26, se presentan las formas de accidentes de trabajo no mortales a nivel nacional en el año 2019. Las formas de accidentes con porcentajes mayores a 5% fueron debido a esfuerzos físicos o falsos movimientos (13,5%), golpes por objetos excepto caídas (11,6%), caída de personas a nivel (6,7%), caída de objetos (6,4%), y la mayor parte de ellos fueron otras formas (55,1%).

La categoría otras formas representa más del 50%, esto es un indicador del poco nivel de detalle que se tiene de los registros de accidentes de trabajo. Además, en el país no se realiza el desglose de las formas de accidentes según actividades económicas, por lo cual se desconocen los tipos de accidentes más comunes en cada industria.

Para el adecuado registro de accidentes de trabajo y posterior análisis estadístico, todas las empresas deben completar el formato de registro de accidentes de trabajo, de enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos indicados en el anexo 1 de la resolución ministerial N° 050-2013-TR. Asimismo, el estado debe tener mayor control en las dependencias del Ministerio de Salud, como hospitales que son el primer eslabón en el reporte de accidentes de trabajo, sobre todo del sector informal. Además, es importante que desde el estado se construya un sistema de seguridad y salud en el trabajo donde se incluya al sector formal e informal de la economía (ISAT, 2011).

Los datos del informe sobre las condiciones de trabajo, seguridad y salud de los asalariados privados de Lima metropolitana, para los trabajadores de la industria de bienes intermedios y de capital, reflejan que el 57,7% de los trabajadores están afectados por los altos niveles de ruido, y el 49,9% de los trabajadores son perjudicados por la contaminación del aire (por gases, pesticidas, humo, etc.).

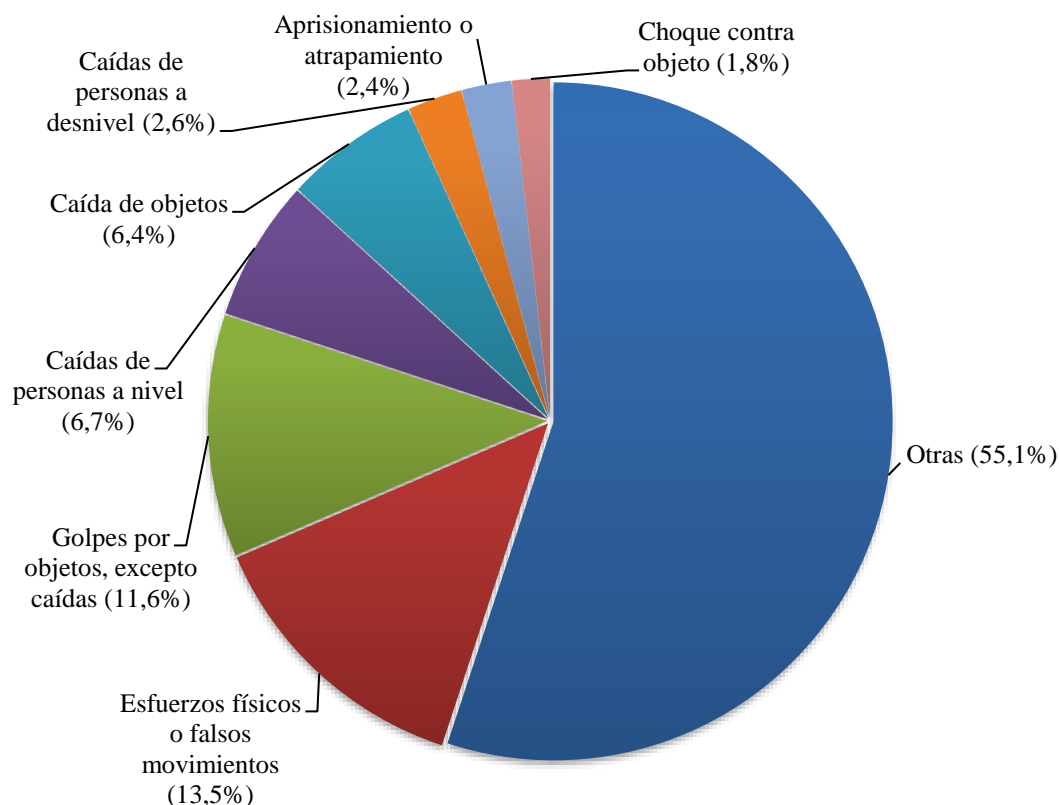


Figura 26. Notificaciones de accidentes de trabajo según forma de accidente, febrero 2019

Fuente: (MTPE, 2019)

También, el 52% de los trabajadores está expuesto a productos inflamables en su lugar habitual de trabajo como plásticos, químicos, gasolina, etc. Los trabajadores que están afectados por posturas inadecuadas son del 34,3% (MTPE, 2007).

Las empresas deben conocer los costos tanto humanos como económicos de los accidentes de trabajo (ver tabla 30). En el Perú, los costos por accidentes de trabajo ascendieron a S/514 756,6 millones, lo cual representó el 0,09% del PBI en el año 2017 (MTPE, 2018). La valoración económica de los accidentes de trabajo incluye indemnizaciones, multas, salarios perdidos, médicos y auxilio funerario. Sin embargo, existen costos humanos que generalmente no son medidos.

Tabla 30. Descripción de los costos de accidentes de trabajo

Costos	Costo humano	Costo económico
Costo para el accidentado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolor y sufrimiento físico.</li> <li>• Pérdida de capacidad de trabajo.</li> <li>• Sufrimiento de la familia.</li> <li>• Marginación social del incapacitado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de ingresos.</li> <li>• Gastos adicionales.</li> </ul>
Costo para la empresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de recursos humanos.</li> <li>• Problemas para el equipo de trabajo.</li> <li>• Presiones sociales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primas de seguros.</li> <li>• Tiempo perdido.</li> <li>• Primeros auxilios.</li> <li>• Interferencias en la producción.</li> <li>• Gastos fijos no compensados.</li> <li>• Pérdida de imagen.</li> </ul>
Costo para la sociedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muertes.</li> <li>• Minusvalías.</li> <li>• Lesiones.</li> <li>• Deterioro de la calidad de vida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestaciones económicas de la seguridad.</li> <li>• Gastos sanitarios.</li> </ul>

Fuente: Análisis de costes de accidentes de trabajo (2010)

En una planta de fundición, existen un sinnúmero de peligros que van desde la manipulación de hornos y herramientas, hasta las emisiones tóxicas propias del proceso (ver tabla 31).

Las empresas de fundición del norte del Perú no cuentan con una cultura de seguridad, salud y medioambiente, lo cual se manifiesta en los trabajadores, ya que piensan que los equipos de protección personal (EPP) entorpecen y dificultan la operación, y en los propietarios que consideran demasiado costoso e innecesario invertir en estos EPP.

Tabla 31. Riesgos asociados a la actividad de fundición de metales.

Riesgos	Causas
Quemaduras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por salpicaduras durante el vertido del metal en el molde.</li> <li>• Por salpicaduras durante el llenado del horno con materia prima.</li> <li>• Por salpicaduras durante el escoriado del horno.</li> <li>• Por salpicaduras durante el desfondado del horno.</li> <li>• Por destrucción del molde durante el vaciado.</li> <li>• Por mala manipulación al escoriar.</li> <li>• Por mala ubicación de los residuos del proceso.</li> <li>• Por no utilizar EPP de alta temperatura.</li> </ul>

Tabla 31. Riesgos asociados a la actividad de fundición de metales (continuación).

Riesgos	Causas
Explosiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante la carga del horno, por inadecuada selección de la materia prima (fibroasfalto, spray, cafeteras, tanques sellados, extintores).</li> <li>• Durante el desescoriado, por contacto de la escoria con cantidades pequeñas de líquido.</li> <li>• Durante el vaciado, existencia de agua en el molde.</li> </ul>
Incendios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de calor por parte de la maquinaria en contacto con líquidos y/o gases inflamables.</li> <li>• Sobrecargas de cables de electricidad.</li> <li>• Combustión espontánea de productos químicos producida por las altas temperaturas.</li> </ul>
Intoxicación por CO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobreexposición durante la reparación del cubilote.</li> <li>• Sobreexposición durante la etapa de fusión y colada.</li> </ul>
Intoxicación por vapores de la escoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición a gases tóxicos desprendidos por la escoria.</li> </ul>
Caídas de objetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caídas debido a materiales dispersos en el área de trabajo.</li> </ul>
Caídas a nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caídas debido a materiales dispersos en el área de trabajo.</li> </ul>
Caídas a desnivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caídas desde plataformas de trabajo.</li> </ul>
Contaminación y emisión de partículas a la atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provenientes de todas las operaciones de la fundición.</li> <li>• Desechos de escoria altamente contaminantes.</li> </ul>
Contaminación gaseosa a la atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveniente de la combustión de combustibles (óxidos de azufre y monóxido de carbono)</li> </ul>
Dermatitis de piel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición de las manos a diferentes tipos de sustancias y disolventes.</li> </ul>
Ruido intenso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante todo el proceso de fundición.</li> </ul>
Ergonomía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por realizar movimientos repetitivos de manos y brazos.</li> <li>• Por mantener una misma postura.</li> <li>• Por levantar o mover cargas pesadas.</li> <li>• Por adoptar posturas dolorosas o fatigantes.</li> <li>• Por realizar una fuerza importante.</li> </ul>

Ninguna de las empresas de fundición estudiadas cuenta con un reglamento interno de seguridad y salud en el trabajo (RISST); mapa de riesgos en ambientes laborales; o registros de accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos. Tampoco, realizan la identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER).

La inadecuada distribución y organización de los ambientes de trabajo puede influir en la ocurrencia de accidentes. En la figura 27, se evidencian actos inseguros en el Taller 1.



Figura 27. No utilizan EPP básicos (guantes, cascos, zapatos de seguridad y ropa de trabajo) ni especiales para altas temperaturas (Taller 1). Además, las posiciones ergonómicas son inadecuadas.

Dejar de invertir en prevención puede ser visto como una alternativa para no incrementar los costos de producción y mejorar la ganancia de una MYPE, sin embargo, ante la ocurrencia de un accidente y la ausencia de medidas de prevención, esa ganancia no es suficiente para remediar los daños.

En este sentido los fundidores deben reconocer que empezar a estandarizar sus procesos trae consigo una reducción en la incidencia de accidentes de trabajo y, por ende, una disminución de los gastos que estos representan, así como, utilizar y adquirir EPP básicos y realizar una completa evaluación de los riesgos.

También, se ha observado que las empresas de fundición generan diferentes tipos de residuos como son: grasas y aceites de la chatarra sucia adquirida de terceros, desechos metálicos y no metálicos, arenas e insumos del proceso de fundición.

Las MYPE de fundición no cuentan con políticas medioambientales, por lo que no se tiene interés por controlar las emisiones del horno de cubilote, mitigar la generación de polvo en la etapa de moldeo, limpieza de la chatarra evitando derramamiento de aceites sobre la tierra y su consecuente contaminación, almacenamiento de la materia prima que puede no sólo contaminar el proceso sino también fomentar la reproducción de roedores, y generación y clasificación adecuada de los desechos. Todos estos factores generan un impacto ambiental significativo en la ejecución del proceso productivo, y repercuten no sólo en los trabajadores del taller y el medioambiente, sino también en las personas que viven en los alrededores.

El 90% de las empresas estudiadas se ubican en zonas urbanas, por lo cual los vecinos de los alrededores se quejan porque las diferentes formas de contaminación que producen estos talleres los afectan. Esto obliga a los fundidores a realizar sus actividades de madrugada para evitar problemas con los vecinos.

Al no contar con una política de seguridad, salud y medioambiente la empresa tiene una alta probabilidad de ocurrencia de incidentes y accidentes, pérdida de clientes y multas por la SUNAFIL y OEFA.

Por lo tanto, se debe capacitar no sólo a los propietarios de las MYPE sino también, a todos los trabajadores a todos los niveles de la empresa para crear una conciencia de seguridad, salud y medioambiente, dando a conocer los derechos y deberes de los trabajadores y empleadores.

Actualmente, existe la ley de seguridad y salud en el trabajo (Ley N° 29783) que tiene como objetivo promover una cultura de prevención de riesgos laborales en el país y leyes que amparan el derecho a la salud de los trabajadores tales como contar con el Seguro Complementario por Trabajo de Riesgo (SCTR).

## Capítulo 4

### **Programa de capacitación para micro y pequeñas empresas de fundición**

La apertura a mercados internacionales a través de tratados de libre comercio no sólo trae consigo oportunidades de crecimiento sino también retos frente a la competencia cada vez más globalizada. Para que las MYPE de fundición puedan competir como exportadores directos, como parte de una cadena de exportación o mantenerse dentro del mercado interno, deben contar con herramientas básicas que les permitan desarrollarse y formar parte de la economía formal del país.

En este contexto, se propone un programa de capacitación para las micro y pequeñas empresas de fundición que sirve como una herramienta útil para ayudar a los propietarios que dirigen las MYPE a mejorar la competitividad y productividad de sus negocios de fabricación de aleaciones.

El programa de capacitación para las micro y pequeñas empresas de fundición se ha elaborado en base a los puntos críticos y problemas prioritarios identificados en el libro “Diagnóstico del sector de fundición en el norte del Perú”, y en los análisis FODA del proceso de fusión y colada, y gestión empresarial, presentados en el Capítulo 3.

En la figura 28, se presenta la estructura de programa de capacitación propuesto, el cual se divide en seis componentes independientes que son: proceso de moldeo, proceso de fusión y colada, metalurgia física de las fundiciones grises, control de calidad, obtención de fundición de calidad mejorada, y gestión de las MYPE de fundición.

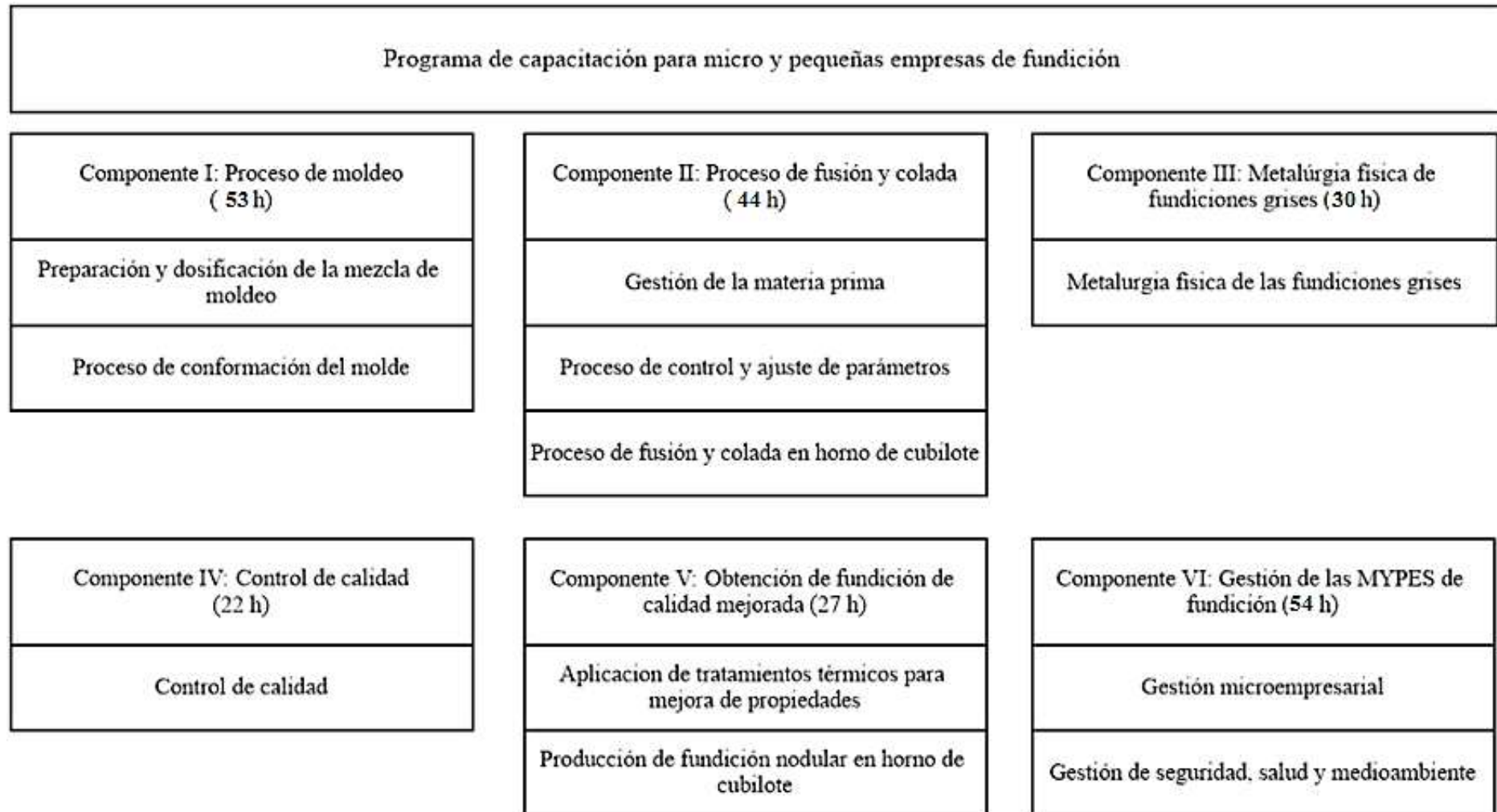


Figura 28. Estructura del programa de capacitación para micro y pequeñas empresas de fundición

Los cursos planteados tienen una incidencia práctica en cada una de las etapas del proceso de fabricación de aleaciones partiendo de los fundamentos teóricos con el objetivo de mejorar la calidad de las piezas producidas.

Los objetivos generales del programa de capacitación planteado son:

- Incentivar una cultura de seguridad, salud y medioambiente, en las MYPE de fundición.
- Fomentar una política de calidad en las MYPE de fundición.
- Mejorar la productividad y competitividad de las MYPE de fundición.
- Fabricar piezas de clase estándar.
- Disminuir los costos adicionales por la incidencia de defectos en las piezas asociados a cada etapa del proceso.
- Promover la inversión a mediano y largo plazo, en otros materiales y optimización de los procesos.
- Optimizar y estandarizar el proceso de fabricación de fundiciones grises en horno de cubilote.

Los seis componentes se desarrollan a través de clases magistrales en las cuales se entrega al alumno el material correspondiente con el fin de promover la participación y absolución de preguntas, y sesiones prácticas que pueden incluir ejercicios y/o prácticas de laboratorio.

El primer componente se refiere al proceso de moldeo, el cual consta de dos módulos: preparación y dosificación de la mezcla de moldeo, y proceso de conformación del molde. El segundo componente se enfoca en el proceso de fusión y colada en el horno de cubilote. En este componente se desarrollan aspectos de gestión de la materia prima, control y ajuste de parámetros, y proceso de fusión y colada del horno de cubilote.

El tercer componente, brinda conocimientos básicos de metalurgia física de las fundiciones grises que incluye el estudio del diagrama Fe-C estable y metaestable, las modificaciones que sufre por la velocidad de enfriamiento y elementos de aleación, y las características, propiedades y aplicaciones de las fundiciones férreas.

El cuarto componente trata del control de calidad de las fundiciones grises, a través de la aplicación de normas internacionales (ASTM, UNE y AFS) para la caracterización química, mecánica, y micro y macroestructural de las fundiciones grises.

El quinto componente explica la obtención de fundición de calidad mejorada, mediante dos métodos: aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades de las fundiciones grises y producción de fundición nodular.

Por último, el sexto componente se enfoca a la gestión de las MYPE de fundición, en el cual se tratan temas tanto de gestión microempresarial como de gestión de seguridad, salud y medioambiente.

#### **4.1. Componente I: Proceso de moldeo**

##### **4.1.1. Preparación y dosificación de la mezcla de moldeo**

###### **a. Descripción general**

Curso: “Preparación y dosificación de la mezcla de moldeo”

Nº horas: 23 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

###### **b. Sumilla**

Este curso tiene como finalidad reconocer la importancia de la adecuada preparación y dosificación de la mezcla de moldeo, lo cual incide en la aparición de defectos macroscópicos que merman las propiedades de las piezas.

A partir de este concepto, se identifican las características y propiedades de la arena virgen para determinar la mejor formulación de mezcla de moldeo para cada aplicación requerida.

### **c. Fundamentación**

Algunos de los defectos macroscópicos encontrados en las piezas analizadas están asociados al proceso de moldeo, desde la baja calidad de la materia prima hasta la fabricación del molde. A pesar de esto, los fundidores desconocen las características y propiedades de las arenas vírgenes pues son extraídas de depósitos naturales (canteras) por terceros. Además, no controlan adecuadamente la reutilización de las arenas de moldeo, las cuales deben usarse sólo como material de relleno correctamente caracterizado.

Asimismo, la preparación y dosificación de la mezcla de moldeo se realiza de forma manual, confiando en la experiencia y habilidad del moldeador, lo cual no garantiza que se realice la mejor formulación en función de la aplicación.

En el proyecto se caracterizaron nueve canteras de Piura (Castilla y Sullana), Lambayeque (Reque y Chiclayo) y La Libertad (Moche, Chepén y La Esperanza), con el objetivo de conocer las propiedades de las arenas naturales y su impacto en la calidad de las piezas obtenidas. La caracterización completa de las arenas es necesaria para realizar las formulaciones de la mezcla de moldeo según el tipo de aleación que se funde.

### **d. Objetivos**

- Conocer las características y propiedades físicas de las arenas de moldeo.
- Mejorar y estandarizar el proceso de preparación y dosificación de la mezcla de moldeo.
- Aplicación de pautas técnicas de las actividades de preparación y dosificación de las arenas de moldeo.
- Formular la correcta dosificación y mezcla de arenas, aglutinantes y agua para obtener mezclas adecuadas.
- Mejorar las prácticas de reutilización de arenas de moldeo.

### e. Metodología

El contenido del curso es 17 h de parte teórica y 6 h de parte práctica. La parte práctica se realiza como complemento de las sesiones teóricas, la primera sección de materia prima de la etapa de moldeo incluye una práctica de laboratorio de caracterización completa de arenas de 3 h de duración. Además, en la segunda sección de dosificación y mezcla de las arenas de moldeo se incluyen ejercicios (1 h) de formulación de la mezcla de moldeo para una pieza y tipo de aleación específica, y una práctica de laboratorio (2 h) de dosificación.

### f. Plan de estudios

Tabla 32. Programación de contenidos de preparación y dosificación de la mezcla de moldeo

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Materia prima de la etapa de moldeo</b>	<b>12</b>	<b>3</b>
1.1. Materiales básicos		
1.1.1. Arenas de moldeo		
1.1.1.1. Tipos de la arena de moldeo según su uso		
1.1.1.2. Clasificación según su contenido de arcilla		
1.1.1.3. Clasificación según la forma de grano		
1.1.1.4. Clasificación según el tamaño de grano		
1.1.1.5. Calidad de las arenas: características y propiedades		
1.1.2. Arcillas de moldeo		
1.1.2.1. Tipos y clasificación		
1.2. Materiales auxiliares		
1.2.1. Aglutinantes		
1.2.1.1. Tipos de aglutinantes		
1.2.1.2. Aglutinantes: características, propiedades y aplicaciones		
1.2.2. Materiales que mejoran el acabado superficial		
1.2.3. Materiales que evitan la adherencia del material de moldeo al modelo		
1.2.4. Materiales que ayudan a mejorar la permeabilidad		

Tabla 32. Programación de contenidos de preparación y dosificación de la mezcla de moldeo  
(continuación)

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>2. Dosificación y mezcla de las arenas de moldeo</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
2.1. Técnicas de dosificación y mezcla de las arenas de moldeo		
2.1.1. Técnica manual		
2.1.2. Técnica mecánica (máquinas y equipos)		
2.2. Formulación de arenas para diferentes aplicaciones		
2.2.1. Formulación de arenas para producto pequeño		
2.2.2. Formulación de arenas para producto mediano		
2.2.3. Formulación de arenas para producto grande		
<b>Horas totales</b>	<b>17</b>	<b>6</b>

#### g. Bibliografía

- American Foundrymen's Society (1967). "Manual de arenas para fundición".
- Capelo. Tecnología de la fundición.
- Campos M, Abel. (2005). Desarrollo e implementación de pruebas de laboratorio para arenas de fundición.
- Brown, Roger (1992). Green sand molding. Equipment and processing.
- Higgins, Raymond (1984). Vaciados en arena.
- Lapoint, Ronie (2010). Moldeo en fundiciones de arena verde.
- Erazo & Flores (2005). Determinación de la composición óptima de la arena de fundición empleada para fabricar piezas de hierro y evaluación de sus propiedades.
- Rueda, Luis Fernando. Curso de fundición. SENA.
- Guerrero (2018). Diagnóstico del sector de fundición de norte del Perú.
- Guerrero (2018). Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición.

#### **4.1.2. Proceso de conformación del molde**

##### **a. Descripción general**

Curso: “Proceso de conformación del molde”

Nº horas: 30 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### **b. Sumilla**

Este curso tiene como finalidad brindar conocimientos técnicos acerca del proceso de conformación del molde, el cual abarca desde la confección de los modelos y cajas de moldeo hasta la obtención del molde propiamente dicho, teniendo en cuenta el diseño de sistemas auxiliares del molde. Además, se muestran los distintos softwares que existen para la simulación del proceso de enfriamiento del metal fundido, los cuales permiten estimar la aparición de poros, rechupes, y contracciones internas.

##### **c. Fundamentación**

Del total de defectos macroscópicos encontrados en las piezas de fundición gris, más del 50% están asociados al proceso de conformación del molde y la falta de sistemas auxiliares para compensar la contracción durante la solidificación. Dentro de este grupo, existe un 30% de defectos denominados como contracción interna y/o externa que han imposibilitado realizar el ensayo de tracción, lo que no ha permitido clasificar estas piezas desde el punto de vista mecánico según la norma ASTM A48, a pesar de tener buenas características químicas. Esto sucede principalmente, por el desconocimiento de los fenómenos fisicoquímicos de la solidificación y enfriamiento del metal fundido para direccionar la solidificación, y la falta de aplicación de los métodos para diseñar los sistemas auxiliares del molde.

También, los fundidores de la región norte del Perú realizan el proceso de conformación del molde confiando en la experiencia y habilidad del moldeador, sin tener en cuenta el grado y uniformidad de compactación en torno al volumen del molde, que influye directamente en las características y propiedades de la mezcla de moldeo.

En este contexto, se plantea el curso proceso de conformación del molde para brindar pautas técnicas a los fundidores para establecer un proceso estandarizado de conformación del molde que ayude a reducir la cantidad de defectos en el producto final, incluyendo los métodos para el correcto diseño de los sistemas auxiliares para obtener piezas sanas.

#### **d. Objetivos**

- Diseñar y ubicar los sistemas de alimentación y distribución de forma adecuada, reduciendo la incidencia de defectos macroscópicos.
- Calcular el peso correcto que debe colocarse sobre el molde para contrarrestar la presión metalostática.
- Mejorar y estandarizar el proceso de conformación del molde.
- Conocer y entender los fenómenos físicos del proceso de solidificación y enfriamiento.
- Conocer las características y procedimientos adecuados de apisonado y compactación de las arenas de moldeo.
- Mejorar las prácticas de moldeo utilizadas, de acuerdo a lo recomendado por la literatura técnica.
- Mejorar el uso de las herramientas de moldeo, de acuerdo a lo recomendado por la literatura técnica.
- Mejorar el acabado superficial de las piezas, de acuerdo a lo recomendado por la literatura técnica.

#### **e. Metodología**

El contenido del curso es 22 h de fundamentos teóricos y 8 h de sesión práctica. La primera sección incluye 3 h de ejercicios prácticos en el diseño y ubicación de los sistemas auxiliares del molde. La tercera sección de modelos y cajas de moldeo tiene 2 h de dimensionamiento de los modelos y cajas de moldeo para una pieza en específico. Por último, la cuarta sección incluye 3 h de una práctica de laboratorio en la conformación de un molde.

## f. Plan de estudios

Tabla 33. Programación de contenidos de conformación del molde

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Solidificación dirigida</b>	<b>10</b>	<b>3</b>
1.1. Proceso de solidificación y enfriamiento		
1.1.1. Proceso de solidificación		
1.1.2. Fenómenos de contracción		
1.1.2.1. Contracción en el estado líquido		
1.1.2.2. Contracción de solidificación		
1.1.2.3. Contracción en el estado sólido		
1.1.3. Secuencia de solidificación dentro de la pieza		
1.2. Diseño de sistemas auxiliares		
1.2.1. Sistemas de alimentación (mazarota)		
1.2.2. Sistemas de colada		
1.2.2.1. Bebederos: características y aplicación		
1.2.2.2. Taza de colada		
1.2.2.3. Pozo de colada		
1.2.2.4. Canales de colada y ataque		
1.2.2.5. Enfriadores y exotérmicos		
1.3. Simulación del proceso de fundición (software)		
<b>2. Presión metalostática</b>	<b>2</b>	
2.1. Cálculo de la presión metalostática		
2.2. Cálculo del peso sobre el molde		
<b>3. Modelos y cajas de moldeo</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
3.1. Modelos		
3.1.1. Tipos de modelos y su aplicación		
3.1.2. Confección del modelo		
3.2. Cajas de moldeo		
3.2.1. Tipos de cajas de moldeo		
3.2.2. Confección de cajas de moldeo		
<b>4. Proceso de moldeo</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
4.1. Técnicas de moldeo		
4.1.1. Moldeo manual		
4.1.2. Moldeo semimanual		
4.1.3. Moldeo a máquina		
4.2. Moldeo de arena en verde		
4.3. Herramientas para moldear a mano		
<b>Horas totales</b>	<b>22</b>	<b>8</b>

## **g. Bibliografía**

- American Foundrymen's Society (1979). Cast Metals Institute.
- Quintero (2008). Evaluación microestructural de solidificación usando perfiles numéricos temperatura y tiempo.
- Caine (2013). Design of ferrous castings.
- Rueda, Luis (2010). "Solidificación dirigida y diseño de mazarotas"
- Mazzoleni, F (1978). Formatura e colata dei getti.
- Johns, Carl (1961). Hierro colado.
- Rueda, Luis Fernando. Curso de fundición. SENA.
- Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena.
- Guerrero (2018). Diagnóstico del sector de fundición de norte del Perú.
- Guerrero (2018). Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición.

## **4.2. Componente II: Proceso de fusión y colada en el horno de cubilote**

### **4.2.1. Gestión de la materia prima**

#### **a. Descripción general**

Curso: "Gestión de la materia prima"

Nº horas: 9 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

#### **b. Sumilla**

El presente curso tiene como propósito conocer la importancia del proceso de gestión de la materia prima que influye directamente en la calidad del metal fundido, para asegurar la menor incidencia de defectos macroscópicos y piezas de clase estándar.

### c. Fundamentación

Las propiedades físicas y químicas de las piezas de fundición dependen de la calidad de la materia prima metálica y combustible que ingresa al horno. Por tanto, la falta de catalogación y limpieza de la chatarra constituye un problema relevante en el proceso de fusión y colada. Además, el combustible de baja calidad que actualmente utilizan los talleres de fundición merma las propiedades del material e imposibilita la producción de fundición nodular.

### d. Objetivos

- Reconocer los efectos del contenido elevado de azufre en las piezas de fundición gris.
- Realizar una correcta gestión de la materia prima.
- Reconocer los beneficios de una correcta gestión de la materia prima en el mejoramiento de la calidad del caldo.
- Presentar las chatarras más representativas del norte del Perú, como guía para el fundidor.

### e. Metodología

El contenido del curso es 9 h de fundamentos teóricos. En la primera sección se realiza una comparación entre los diferentes combustibles sólidos existentes para seleccionar el más adecuado desde el punto de vista técnico (calidad) como económico.

## f. Plan de estudios

Tabla 34. Programación de contenidos de gestión de la materia prima

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Gestión de la materia prima combustible</b>	<b>3</b>	
1.1. Tipos, características y aplicación de los combustibles sólidos		
1.1.1. Características y propiedades fisicoquímicas		
1.1.2. Selección de combustible para fusión en horno de cubilote		
<b>2. Gestión de la materia prima metálica</b>	<b>6</b>	
2.1. Proceso de recepción de la chatarra		
2.2. Proceso de selección de la chatarra		
2.2.1. Chatarras más representativas del norte del Perú (presentación del catálogo de chatarras)		
2.3. Proceso de industrialización de la chatarra		
2.4. Relación de la calidad del caldo y la inadecuada gestión de la materia prima metálica		
<b>Horas totales</b>	<b>9</b>	<b>0</b>

## g. Bibliografía

- Baquero, A. (2000). Diseño, Operación y Control del Cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS.
- American Society of Materials. Atlas de defectos de fundición.
- I.Asenjo, P. J. (2011). Influencia de la composición química de diferentes chatarras de acero sobre las propiedades mecánicas de la fundición de grafito esforidal. Revista de metalúrgia, 47, 308.
- Levi. (1947). W.W. Controlling carbon in the cupola. American Foundryman.
- Guerrero (2018). Diagnóstico del sector de fundición de norte del Perú.
- Guerrero (2018). Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición.

#### 4.2.2. Proceso de control y ajuste de parámetros

##### a. Descripción general

Curso: “Proceso de control y ajuste de parámetros”

Nº horas: 15 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### b. Sumilla

Este curso tiene como finalidad brindar conocimientos técnicos de la aplicación de algunas técnicas de control y ajuste de parámetros de calidad del caldo y funcionamiento del cubilote, tales como el cálculo de cargas, uso de aditivos, medición de temperatura del caldo, observación del aspecto de la escoria y ensayo de tendencia al blanqueo, con el objetivo de mejorar la calidad de las piezas fabricadas.

##### c. Fundamentación

Desde el punto de vista químico sólo el 15% de las piezas analizadas han podido clasificarse dentro de alguna clase estándar. Por lo tanto, es necesario incentivar una política de calidad a través de la aplicación de métodos de control y ajuste de la calidad del caldo y parámetros de funcionamiento de horno de cubilote que incidan en la obtención de piezas de clase estandarizada.

##### d. Objetivos

- Implementar el diseño de cargas para horno de cubilote, con la materia disponible en la región norte del Perú.
- Conocer los beneficios de utilizar aditivos sobre la calidad del metal fundido.
- Ajustar la composición química del caldo con el uso de ferroaleaciones.
- Disminuir el contenido de azufre con el uso de desulfurantes.
- Implementar métodos de medición de la temperatura del caldo.
- Utilizar el aspecto de la escoria para evaluar la marcha del cubilote.

- Utilizar el ensayo de blanqueo para determinar el blanqueo total y el porcentaje de silicio en una pieza de fundición gris.

### e. Metodología

El contenido del curso es 10 h de parte teórica y 5 h de parte práctica. La parte práctica se realiza como complemento de las sesiones teóricas, la cual consta de ejercicios de aplicación del cálculo de cargas (2 h) utilizando chatarra disponible en la región norte del Perú, con y sin aditivos. En la tercera sección, control de parámetros, se realiza el ensayo de tendencia al blanqueo (3 h) desde la ruptura de la probeta hasta la determinación del blanqueo total y porcentaje de silicio faltante.

### f. Plan de estudios

Tabla 35. Programación de contenidos de proceso de control y ajuste de parámetros de calidad del caldo y funcionamiento del cubilote

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Cálculo de cargas</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
1.1. Métodos de cálculo de cargas recomendado por la literatura (método algebraico y por tanteo)		
1.2. Cálculo de cargas con materia prima disponible en el norte del Perú		
<b>2. Uso de aditivos</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
2.1. Tipos, características y aplicación de ferroaleaciones		
2.2. Tipos, características y aplicación de desulfurantes		
2.3. Cálculo de cargas con materia prima disponible en el norte del Perú y aditivos		
<b>3. Control de parámetros</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
3.1. Métodos de medición de la temperatura en pico de colada		
3.2. Observación del aspecto de la escoria		
3.3. Ensayo de tendencia al blanqueo (método de cuña)		
<b>Horas totales</b>	<b>10</b>	<b>5</b>

### g. Bibliografía

- Baquero, A. (2000). Diseño, Operación y Control del Cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS.

- I.Asenjo, P. J. (2011). Influencia de la composición química de diferentes chatarras de acero sobre las propiedades mecánicas de la fundición de grafito esforidal. Revista de metalúrgia, 47, 308.
- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- American Foundrymen's Society (1985). El horno de cubilote y su operación.
- Parra, J. (1994). Manual técnico sobre preparación de cargas para la fusión de metales. Bogotá: Centro nacional de metalurgia.
- ASTM A1025: Standard Specification for Ferroalloy, General Requirements.
- ASTM A367: Standard Test Methods of Chill Testing of Cast Iron.
- Guerrero (2018). Diagnóstico del sector de fundición de norte del Perú.
- Guerrero (2018). Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición.

#### **4.2.3. Proceso de fusión y colada en horno de cubilote**

##### **a. Descripción general**

Curso: "Proceso de fusión y colada en horno de cubilote"

Nº horas: 20 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### **b. Sumilla**

Este curso tiene como finalidad estudiar el proceso de fusión y colada, así como las partes y zonas del horno de cubilote para comprender el funcionamiento del cubilote. Además, se brindan pautas técnicas para identificar los errores de diseño y mejorar el rendimiento del horno. Por último, se realiza una demostración de una operación de fusión y colada en un horno de cubilote.

### c. Fundamentación

En el norte del Perú, los hornos de cubilote que se utilizan para la fabricación de fundición gris no cumplen con las características técnicas recomendadas por la literatura, lo cual disminuye la eficiencia del proceso, aprovechamiento de recursos, e incrementando los costos de fabricación. Los problemas abarcan desde el diseño del horno de cubilote hasta la selección del revestimiento refractario empleado.

### d. Objetivos

- Mejorar el diseño y eficiencia de la operación del horno de cubilote, de acuerdo a lo recomendado por la literatura.
- Establecer un procedimiento estandarizado del proceso de fusión y colada.

### e. Metodología

El contenido del curso es 9 h de fundamentos teóricos y 11 h de sesiones prácticas. Las sesiones prácticas incluyen 2 h de ejercicios de aplicación respecto al dimensionamiento de los parámetros de diseño del horno de cubilote, junto con un conjunto de recomendaciones para mejorar su eficiencia. Además, se realiza la operación de fusión y colada en el horno de la planta piloto, con el objetivo de reforzar los conocimientos teóricos e implementar mejoras en los procesos productivos de las MYPE de fundición.

### f. Plan de estudios

Tabla 36. Programación de contenidos de proceso de fusión y colada en horno de cubilote

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Horno de cubilote</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
1.1. Características, partes y zonas del horno de cubilote		
1.2. Dimensionamiento del horno de cubilote		
<b>2. Proceso de fusión</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
2.1. Proceso de encendido		
2.2. Proceso de calentamiento		
2.3. Operación del horno de cubilote		

Tabla 36. Programación de contenidos de proceso de fusión y colada en horno de cubilote  
(continuación)

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>3. Proceso de colada</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
3.1. Métodos de desescoriado		
3.2. Métodos de colada		
<b>Horas totales</b>	<b>9</b>	<b>11</b>

### g. Bibliografía

- Baquero, A. (2000). Diseño, Operación y Control del Cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS.
- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- American Foundrymen's Society (1985). El horno de cubilote y su operación.
- Guerrero (2018). Diagnóstico del sector de fundición de norte del Perú.
- Guerrero (2018). Manual de buenas prácticas para micro y pequeñas empresas de fundición.

### 4.3. Componente III: Metalurgia física de fundiciones grises

#### 4.3.1. Introducción a la metalurgia física de fundiciones grises

##### a. Descripción general

Curso: “Introducción a la metalurgia física de fundiciones grises”

Nº horas: 30 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### b. Sumilla

Este curso busca brindar un conocimiento básico referente a los diferentes tipos de fundiciones férreas, entendiendo las causas que determinan su comportamiento y propiedades químicas, mecánicas y microestructurales, tomando como referencia la metodología empleada por la metalurgia física.

### c. Fundamentación

La falta de conocimientos básicos de metalurgia de las fundiciones grises dificulta la posibilidad de conocer y entender los factores que determinan el comportamiento y propiedades de las piezas de fundición, así como el origen de los defectos microestructurales.

Además, el desconocimiento de metalurgia física de fundiciones impide entender las formas en que las propiedades del material se pueden mejorar para hacerlas más aptas para una aplicación específica.

### d. Objetivos

- Conocer y analizar los diagramas de equilibrio Fe-C estable y metaestable.
- Conocer los diversos constituyentes de una aleación Fe-C en condiciones de equilibrio.
- Deducir del diagrama de fases la evolución microestructural de aleaciones Fe-C desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente en condiciones de equilibrio.
- Estimar las propiedades de una aleación Fe-C en base a los constituyentes que presente a temperatura ambiente.
- Entender la influencia de la velocidad de enfriamiento y de los elementos de aleación en el diagrama Fe-C.
- Conocer los diferentes tipos de fundiciones férreas y entender sus propiedades y aplicaciones.
- Conocer las propiedades físicas, mecánicas, químicas y microestructurales de las fundiciones grises laminares.
- Analizar y entender el fenómeno de tendencia al blanqueo en fundiciones grises y la influencia del silicio.
- Identificar las causas de la heterogeneidad química de las piezas de fundición gris.

### e. Metodología

El contenido del curso es 25 h de estudio teórico y 5 h de sesiones prácticas. La parte práctica se realizará 2 h de ejercicios para analizar la evolución de la microestructura de aleaciones Fe-C desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente en condiciones de equilibrio. Además, 3 h son dedicadas a realizar prácticas de laboratorio desde el procedimiento de preparación metalográfica hasta la observación de la microestructura y microdefectos de los diferentes tipos de fundiciones grises.

### f. Plan de estudios

Tabla 37. Programación de contenidos de metalurgia física de las fundiciones grises

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Diagrama hierro - carbono</b>	<b>18</b>	<b>2</b>
1.1. Diagrama Fe-C estable		
1.1.1. Fases presentes en el diagrama estable		
1.1.2. Temperaturas y puntos críticos		
1.1.3. Características y propiedades de la perlita		
1.1.4. Evolución microestructural de aleaciones Fe-C desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente en condiciones de equilibrio		
1.2. Factores que modifican el diagrama Fe-C		
1.2.1. Influencia de la velocidad de enfriamiento		
1.2.2. Influencia de los elementos de aleación		
1.2.2.1. Elementos grafitizantes		
1.2.2.2. Elementos inoculantes		
1.2.2.3. Elementos carburígenos		
1.2.2.4. El silicio		
1.3. Eutéctica estable y tipos de grafito		
1.3.1. La eutéctica estable		
1.3.2. Tipos de grafito, laminar, de solidificación		
1.4. Compromiso entre solidificación estable y metaestable		
1.4.1. Composición y factor tamaño		
1.4.2. El "sobrecalentamiento"		
1.4.3. La steadita		
<b>2. Propiedades generales de las fundiciones grises</b>	<b>7</b>	<b>3</b>
2.1. Fundiciones blancas		
2.2. Fundiciones grises laminares		
2.3. Fundiciones maleables		
2.4. Fundiciones grises esferoidales		
<b>Horas totales</b>	<b>25</b>	<b>5</b>

## **g. Bibliografía**

- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- GuerreroAslla, Rosalba. Apuntes del curso introducción a la ciencia de los materiales.
- GuerreroAslla, Rosalba (2006). Syllabus del curso introducción a la ciencia de los materiales.
- Pero-Sanz, José (1994). Materiales para la ingeniería: fundiciones férreas.
- Pero-Sanz, José (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales.

## **4.4. Componente IV: Control de calidad**

### **4.4.1. Control de calidad de piezas de fundición gris**

#### **a. Descripción general**

Curso: “Control de calidad de piezas de fundición gris”

Nº horas: 22 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

#### **b. Sumilla**

Este curso busca dar a conocer las normas internacionales que se utilizan para caracterizar química, mecánica, micro y macroscópicamente, y evaluar la calidad de las piezas de fundición gris, tales como: Una Norma Española (UNE) y American Society for Testing and Materials (ASTM).

También, se busca brindar conocimientos para la correcta identificación de defectos macroscópicos y sus causas más probables y realizar correcciones al proceso con el fin de disminuir su incidencia, según la American Foundrymen’s Society (AFS).

### **c. Fundamentación**

La baja calidad de las piezas que fabrican los talleres de fundición gris está asociada a sus características químicas, mecánicas y microestructurales, y a los defectos que pueden tener su origen en diferentes partes del proceso productivo. Por lo tanto, es de gran importancia dar a conocer las normas internacionales, que determinan la calidad de las fundiciones grises.

### **d. Objetivos**

- Disminuir la tasa de fallas funcionales de las piezas de fundición.
- Conocer las características microestructurales de las piezas de fundición para cumplir con los estándares internacionales de calidad.
- Conocer la composición química de las piezas de fundición para cumplir con los estándares internacionales de calidad.
- Conocer las características mecánicas (tracción y dureza) de las piezas de fundición para cumplir con los estándares internacionales.
- Identificar y reconocer el origen de los defectos macroestructurales presentes en las piezas de fundición.

### **e. Metodología**

El contenido del curso es 14 h de fundamentos teóricos y 8 h de sesiones prácticas. Las sesiones prácticas (8 h) incluyen laboratorios de metalografía, ensayos mecánicos (tracción y dureza) y análisis macroscópico de las piezas de fundición gris que obtienen los talleres de fundición de la región norte del Perú.

## f. Plan de estudios

Tabla 38. Programación de contenidos de control de calidad de piezas de fundición gris

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Normativa técnica internacional. Uso y aplicación</b>	<b>2</b>	
<b>2. Verificación microestructural de piezas de fundición gris</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
2.1. Verificación del tipo, tamaño y distribución de grafito, según norma UNE 36117		
2.2. Verificación de las características microestructurales de la matriz		
2.3. Identificación y evaluación de inclusiones y defectos microestructurales		
<b>3. Verificación química de piezas de fundición gris</b>	<b>1</b>	
3.1. Verificación química según norma ASTM A159		
<b>4. Verificación mecánica de piezas de fundición gris</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
4.1. Ensayo de dureza		
4.2. Ensayo de tracción y caracterización mecánica según norma ASTM A48		
<b>5. Defectología de piezas de fundición gris</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
5.1. Atlas internacional de defectos de fundición		
5.2. Caracterización de defectos macroscópicos según la AFS		
5.3. Identificación del origen de los defectos macroscópicos según la AFS		
<b>6. Relación entre las propiedades mecánicas, características químicas, y micro y macroestructurales</b>	<b>2</b>	
<b>Horas totales</b>	<b>14</b>	<b>8</b>

## g. Bibliografía

- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- American Foundrymen's Society (1979). Cast Metals Institute.
- American Society of Materials. Atlas de defectos de fundición.
- UNE 36 – 117: Tipos, tamaño y distribución de grafito
- ASTM A48: Standard Specification for Gray Iron Casting.
- ASTM A159: Standard Specification for Automotive Gray Iron Castings.
- ASTM A247: Standard Test Method for evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Casting.

- ASTM A834: Standard Specification for Common Requirements for Iron Casting for General Industrial Use
- ASTM E8: Test Methods for Tension of Metallic Materials.
- ASMT E10: Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E30: Test Methods for Chemical Analysis of Steel, Cast Iron, Open –Hearth and Wrought Iron.
- Rueda, Luis Fernando. Curso de fundición. SENA.
- Pero-Sanz Elorz, José Antonio (1994). Materiales para la ingeniería: fundiciones férreas. Editorial Dossat.

#### **4.5.Componente V: Obtención de fundición de calidad mejorada**

##### **4.5.1.Aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades**

###### **a. Descripción general**

Curso: “Aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades”

Nº horas: 10 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

###### **b. Sumilla**

Este curso brinda conocimientos técnicos respecto a los tipos y procedimientos de los tratamientos térmicos, utilizados para mejorar las propiedades microestructurales y mecánicas de las piezas de fundición. Además, se proporcionan conceptos teóricos referentes a cómo los tratamientos térmicos modifican la microestructura y propiedades del material, con el objetivo que los estudiantes puedan seleccionar el tipo de tratamiento térmico según la aplicación y características requeridas.

Este curso tiene como finalidad incentivar la política de calidad en las MYPE de fundición. Sin embargo, para tener una política de calidad no sólo basta con conocer los tratamientos térmicos de las fundiciones grises, sino también contar con una planta piloto con hornos de tratamiento térmico para proporcionar los conocimientos prácticos respecto a los procedimientos estandarizados y obtención de piezas de calidad.

### c. Fundamentación

Los tratamientos térmicos son calentamientos y enfriamientos controlados de metales para alterar sus propiedades físicas y mecánicas sin cambiar la forma del producto. Los procedimientos y tipos de tratamientos térmicos son muy numerosos y variados según las características microestructurales y mecánicas que se pretende conseguir y el tipo de aleación. En la mayoría de los casos, los tratamientos térmicos se asocian con el aumento de la resistencia mecánica del material, pero también puede ser empleado para mejorar la maquinabilidad de la pieza, mejorar la conformabilidad, restaurar la ductilidad después de una operación en trabajo en frío, entre otros.

Por lo tanto, el fundidor debe conocer y entender la forma como los tratamientos térmicos modifican las propiedades de las fundiciones y aprender a seleccionar el tratamiento térmico más adecuado para una aplicación específica.

### d. Objetivos

- Mejorar las propiedades mecánicas y microestructurales de las piezas de fundición.
- Entender la influencia de la velocidad de enfriamiento en las propiedades microestructurales y mecánicas de las piezas de fundición.
- Conocer y entender la forma de modificar las propiedades de una fundición mediante los tratamientos térmicos.
- Aprender a seleccionar el tratamiento térmico más adecuado para una aplicación específica.

### e. Metodología

La metodología del curso es sesiones teóricas (7 h) y prácticas (3 h). El desarrollo de la parte práctica son laboratorios de tratamientos térmicos, que incluyen desde la ejecución de los tratamientos térmicos en hornos eléctricos hasta la observación de las modificaciones que sufre la microestructura y dureza después de realizar los tratamientos térmicos.

## f. Plan de estudios

Tabla 39. Programación de contenidos de aplicación de tratamientos térmicos para mejora de propiedades

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Tratamientos térmicos en fundiciones grises</b>	<b>7</b>	<b>3</b>
1.1. Curvas de TTT de las fundiciones grises		
1.2. Tratamientos térmicos de las fundiciones de hierro		
1.2.1. Recocido de las fundiciones de hierro		
1.2.1.1. Recocido de alta temperatura o de grafitización		
1.2.1.2. Normalizado		
1.2.1.3. Recocidos de media temperatura		
1.2.2. Incremento de la resistencia a la tracción y desgaste		
1.2.2.1. Normalizado		
1.2.2.2. Endurecido por temple y revenido		
1.2.2.3. Temple en caliente		
1.2.3. Dureza y templabilidad		
1.2.4. Endurecimiento superficial de fundiciones grises y nodulares		
1.2.4.1. Temple a la llama		
1.2.4.2. Temple por inducción		
<b>Horas totales</b>	<b>7</b>	<b>3</b>

## g. Bibliografía

- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- American Foundrymen's Society (1979). Cast Metals Institute.
- Rueda, Luis Fernando. Curso de fundición. SENA.
- GuerreroAslla, Rosalba. Apuntes del curso introducción a la ciencia de los materiales.
- Pero-Sanz Elorz, José Antonio (1994). Materiales para la ingeniería: fundiciones férreas. Editorial Dossat.
- Metalografía y Tratamientos Térmicos. Tratamientos térmicos de las fundiciones de hierro.

#### **4.5.2. Producción de fundición nodular en horno de cubilote**

##### **a. Descripción general**

Curso: “Producción de fundición nodular en horno de cubilote”

Nº horas: 17 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### **b. Sumilla**

Este curso presenta un catálogo de piezas de fundición gris con alta demanda en el sector industrial norteño, con el objetivo de que los fundidores conozcan la extensión del mercado de fabricación de aleaciones e incentivarlos a la inversión para mejorar la calidad y propiedades de los materiales que actualmente producen.

Además, se indican las características metalúrgicas del caldo, adecuadas para el proceso de desulfuración, nodulización e inoculación, con la finalidad de obtener piezas de fundición nodular, en el largo plazo.

Este curso tiene como finalidad incentivar la política de calidad en las MYPE de fundición. Sin embargo, para tener una política de calidad no sólo basta con conocer los procesos y condiciones adecuadas para obtener fundición nodular, sino también contar con una planta piloto para proporcionar los conocimientos prácticos y métodos innovadores para la fabricación de piezas de mejores propiedades.

##### **c. Fundamentación**

Producir piezas de fundición nodular en la región norte del Perú supone un salto de calidad importante para los talleres de fundición, lo cual influye en la posibilidad de fabricar piezas de alta demanda en la zona norte y que actualmente, son enviadas a la capital por su mejor calidad.

El 80% del total de muestras de fundición gris laminar analizadas, presentan contenido de azufre por encima de 0,12%S admitido por la literatura técnica. En este contexto, una de las dificultades más grandes que tienen que afrontar los fundidores para la obtención de un metal fundido con buenas características para la nodulización y en consecuencia fundición nodular, es el exceso de azufre presente en sus piezas, pues el contenido de azufre máximo permitido en este tipo de aleaciones es 0,035%S.

A partir, del control de calidad metalúrgica del caldo, técnicas de desulfuración, nodulización y posterior inoculación, sumado a la vasta experiencia del fundidor norteño se puede lograr la producción de fundición nodular, en el largo plazo.

#### **d. Objetivos**

- Fomentar la inversión en otros materiales (fundición nodular).
- Difundir la alta demanda de piezas de fundición gris esferoidal de las industrias que radican en la zona norte del Perú.
- Mejorar las propiedades mecánicas y microestructurales de las piezas de fundición.
- Producir piezas de fundición gris nodular a largo plazo.
- Obtener un metal fundido con buenas características metalúrgicas para la desulfuración, nodulización e inoculación.
- Conocer las características metalúrgicas adecuadas del caldo para obtener fundición gris nodular.
- Incentivar a los talleres a adquirir combustible de mejor calidad (antracita con menor contenido de azufre o coque).
- Conocer los métodos de desulfuración del caldo para obtener fundición nodular.
- Conocer las técnicas de nodulización para obtener fundición nodular.
- Conocer las técnicas de inoculación para obtener fundición nodular.
- Producir piezas de fundición gris esferoidal, a largo plazo.

### e. Metodología

El contenido del curso es 13 h de parte teórica y 4 h de parte práctica. La parte práctica se realiza como complemento de las sesiones teóricas, la cual incluyen prácticas de laboratorio desde la observación de la microestructura de las fundiciones nodulares (2 h) hasta la ejecución de los tratamientos de desulfuración, nodulización e inoculación del caldo para obtener fundición nodular.

### f. Plan de estudios

Tabla 40. Programación de contenidos de producción de fundición nodular en horno de cubilote

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Mercado de piezas de fundición en el norte del Perú</b>	<b>4</b>	
1.1. Situación actual del mercado de fabricación de aleaciones en el norte del Perú		
1.2. Demanda de piezas de fundición gris y nodular en la región norte del Perú (Presentación del catálogo de piezas demandadas por las industrias)		
<b>2. Fundición nodular</b>	<b>5</b>	<b>2</b>
2.1. Características, propiedades y aplicaciones		
2.2. Composición del hierro base		
<b>3. Producción de fundición nodular</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
3.1. Desulfuración en cuchara		
3.2. Nodulización		
3.3. Tratamiento de inoculación		
3.4. Procedimiento de obtención de fundición nodular		
<b>Horas totales</b>	<b>13</b>	<b>4</b>

### g. Bibliografía

- ASM International (1992). ASM Handbook. Volume 15: Castings.
- American Foundrymen's Society (1979). Cast Metals Institute.
- Rueda, Luis Fernando. Curso de fundición. SENA.
- Proaño, Mario (2014). Desarrollo de la tecnología para la obtención del hierro dúctil a través del horno de cubilote artesanal según los requerimientos de la norma NTE INEN 2 499: 2009
- ASTM A247

- GuerreroAslla, Rosalba. Apuntes del curso introducción a la ciencia de los materiales.
- Pero-Sanz Elorz, José Antonio (1994). Materiales para la ingeniería: fundiciones férreas. Editorial Dossat.
- Universidad católica argentina (2008). Fundición nodular.
- Febles, Ruben. Obtención de hierro nodular.

#### **4.6.Componente VI: Gestión de las MYPE de fundición**

##### **4.6.1.Gestión microempresarial**

###### **a. Descripción general**

Curso: “Gestión microempresarial”

Nº horas: 36 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

###### **b. Sumilla**

Este curso de gerencia microempresarial tiene como finalidad mejorar la productividad y competitividad de las MYPE de fundición, brindando conceptos de estructura de costos, requisitos para la formalización, implementación de una política de calidad e inserción al sistema financiero.

Además, se realizan talleres y capacitaciones para desarrollar las habilidades gerenciales en los empresarios que dirigen las MYPE de fundición, en relación con liderazgo, mejora continua, trabajo en equipo, delegar funciones y toma de decisiones, resolución de conflictos, comunicación asertiva, entre otros.

### **c. Fundamentación**

El sector de fundición del norte del Perú se caracteriza por la escasa gestión empresarial de los fundidores, lo que se muestra en la falta de una política de calidad; alto grado de informalidad; falta de un sistema de costos; mano de obra poco calificada; falta a los derechos del trabajador; limitado acceso al sistema financiero; falta de planificación de la inversión; falta de habilidades gerenciales; falta de una cultura de seguridad, salud y medioambiente; entre otros.

Dentro de la educación financiera, se brinda información referente a en qué invertir, cuáles son los productos financieros a los que pueden acceder las MYPE, en qué entidades financieras adquirir estos productos, importancia de capitalizarse y su influencia en el crecimiento del negocio, etc.

En muchos casos, todos estos factores se deben al poco conocimiento en temas de administración, contabilidad y gerencia de los empresarios que dirigen las MYPE, lo cual se intenta mejorar con la capacitación en gestión microempresarial y desarrollo de habilidades gerenciales, así como la difusión del plan nacional para la productividad y competitividad de las MYPE realizado por el estado peruano.

### **d. Objetivos**

- Mejorar la productividad y competitividad de las MYPE de fundición.
- Incentivar la implementación de una política de calidad en las MYPE de fundición.
- Fomentar la inversión en otros materiales y mejora de sus procesos.
- Aplicar técnicas de administración de empresas.
- Conocer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que afrontan las MYPE en el Perú.
- Incentivar a la formalización de las empresas, reconociendo las ventajas y beneficios, y el procedimiento para constituir una empresa.
- Conocer las obligaciones tributarias de las MYPE.
- Reconocer los requisitos para la inserción en el sistema financiero.
- Conocer los productos y entidades financieras a los que pueden acceder las MYPE de fundición.

- Reconocer la rentabilidad de su empresa a partir de una estructura de costos.
- Invertir en la mejora u optimización de sus procesos.
- Difundir los programas de capacitación y asesoría para las MYPE que ha implementado el estado peruano.

#### e. Metodología

El contenido del curso es 27 h de parte teórica y 9 h de parte práctica. La parte práctica se divide en 2 h de cálculo del costo laboral para las MYPE, 2h de aplicación de la estructura de costos a las MYPE de fundición con ejercicios reales y 5 h de talleres de habilidades gerenciales. Los talleres de habilidades gerenciales pueden tratar temas de liderazgo, mejora continua, trabajo en equipo, delegar funciones y toma de decisiones, resolución de conflictos, comunicación efectiva, entre otros; y se deben elegir un máximo de 5 talleres de 1 h cada uno.

#### f. Plan de estudios

Tabla 41. Programación de contenidos de gestión microempresarial

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Gestión microempresarial</b>	<b>17</b>	<b>2</b>
1.1. Normativa para las MYPE		
1.1.1. Definición de MYPE en el Perú		
1.1.2. Características, fortalezas y debilidades de las MYPE		
1.1.3. Ventajas y beneficios de la ley MYPE		
1.1.4. Requisitos y procedimientos para acogerse al REMYPE		
1.2. Política de calidad en las MYPE. Oportunidad de crecimiento		
1.3. Creación y formalización de una MYPE		
1.3.1. Ventajas de formalizar una MYPE		
1.3.2. Procedimiento para constituir una empresa: persona natural		
1.3.3. Procedimiento para constituir una empresa: persona jurídica		
1.4. Obligaciones tributarias		
1.4.1. Régimen MYPE tributario y otros regímenes		
1.4.2. Libros y registros contables		
1.4.3. Comprobantes de pago		

Tabla 41. Programación de contenidos de gestión microempresarial (continuación)

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
1.5. Impuesto general a las ventas - IGV		
1.5.1. Impuesto general a las ventas		
1.5.2. IGV justo para MYPE		
1.5.3. Sistema de recaudación anticipada		
1.6. Régimen laboral especial		
1.6.1. Tipos de contratos de trabajo para MYPE		
1.6.2. Beneficios laborales		
1.6.3. Seguridad social de salud		
1.6.4. Régimen pensionario		
1.6.5. Reducción de tasas		
1.7. Costo laboral para las MYPE		
1.7.1. Vacaciones		
1.7.2. Gratificaciones por fiestas patrias y navidad		
1.7.3 CTS		
1.7.4 Cálculo de beneficios sociales		
1.7.5. Cálculo de indemnización por despido arbitrario		
1.7.6. Casos prácticos para MYPE		
1.8. Sistema financiero formal para las MYPE.		
<b>2. Sistema de costos</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
2.1. El papel de las finanzas en la empresa		
2.2. Normas y principios contables generalmente aceptados		
2.3. Elaboración de estados financieros		
2.3.1. Balance general		
2.3.2. Estado de ganancias y pérdidas		
2.3.3. Flujo de caja		
2.4. Determinación de indicadores de la situación financiera y económica de una empresa		
2.4.1. Cálculo de indicadores de liquidez		
2.4.2. Cálculo de indicadores de endeudamiento y solvencia		
2.4.3. Cálculo de indicadores de rentabilidad		
2.5. Requerimientos de financiamiento de la empresa		
<b>3. Capacidades gerenciales</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
3.1. Técnicas y herramientas gerenciales		
3.2. Habilidades gerenciales		
<b>Horas totales</b>	<b>27</b>	<b>9</b>

### **g. Bibliografía**

- Silupú Garcés, Brenda Liz (2008 – 2010). Fortalecer para crecer. Casos de éxito del programa MYPE.
- Matute & Albújar (2008). Sistema nacional de capacitación para la MYPE peruana.
- Ministerio de la Producción (2011). Plan nacional para la productividad y competitividad de las MYPE 2011 – 2021.
- Ley 1086: Ley de promoción de la competitividad, formalización y desarrollo de la micro y pequeña empresa y del acceso al empleo decente.
- ISO 9001: Norma internacional de sistemas de gestión de la calidad.
- Centro de Apoyo al Sector Empresarial. Curso Beneficios Tributarios y Laborales MYPE

#### **4.6.2. Gestión de seguridad, salud y medioambiente**

##### **a. Descripción general**

Curso: “Gestión de seguridad, salud y medioambiente”

Nº horas: 18 h

Lugar: Universidad de Piura – Campus Piura

##### **b. Sumilla**

Este curso tiene como finalidad incentivar la cultura de salud y seguridad en el trabajo (SST), así como la responsabilidad medioambiental de los talleres de fundición, indicando los beneficios de la implementación de un sistema de seguridad basado en la prevención.

Además, se presentan los derechos y deberes de los empleados y trabajadores, y las políticas y normas nacionales e internacionales en materia de seguridad, salud y medioambiente.

### **c. Fundamentación**

En los talleres de fundición de la región norte del Perú existen un sinnúmero de peligros que van desde la manipulación de hornos y herramientas, hasta las emisiones tóxicas propias del proceso. Sin embargo, los trabajadores de los talleres no cuentan con una cultura de seguridad y salud en el trabajo (SST) que permita protegerlos de los peligros inherentes de la actividad que realizan.

Asimismo, se ha observado que en el aspecto ambiental las empresas de fundición tampoco cuentan con una política medioambiental que permita controlar las emisiones del horno de cubilote, mitigar la generación de polvo en la etapa de moldeo, limpieza de la chatarra evitando derramamiento de aceites sobre la tierra y su consecuente contaminación, almacenamiento de la materia prima que puede no sólo contaminar el proceso sino también fomentar la reproducción de roedores, y generación y clasificación adecuada de los desechos.

En este contexto, se ha planteado el curso de gestión de seguridad, salud y medioambiente para impulsar la implementación de una cultura de seguridad, salud y medioambiente en todos los trabajadores y propietarios de las MYPE de fundición, con el objeto de reducir los índices de accidentabilidad, incidencia de enfermedades ocupacionales y desarrollar una industria más amigable con el medioambiente.

### **d. Objetivos**

- Incentivar la cultura de seguridad, salud y medioambiente en las MYPE de fundición.
- Implementar un sistema de gestión de seguridad, salud y medioambiente en las MYPE de fundición.
- Desarrollar una industria más amigable con el medioambiente.
- Conocer los derechos y deberes de los empleadores y empleados en materia de seguridad, salud y medioambiente.
- Evitar accidentes de trabajo en el sector fundición.
- Mejorar y estandarizar el procedimiento de fabricación de fundición de hierro gris.
- Identificar los peligros inherentes a la actividad de fundición.

- Evaluar los riesgos inherentes a la actividad de fundición.
- Mitigar y/o eliminar las fuentes de contaminación de la actividad de fundición.
- Implementar medidas de seguridad para eliminar o disminuir los riesgos asociados.

#### e. Metodología

El contenido del curso 10 h de fundamentos teóricos y 8 h de sesiones prácticas. Las sesiones prácticas incluyen 2 h de entrenamiento de los trabajadores de fundición ante accidentes de trabajo, desastres naturales o primeros auxilios. Además, se realizan 3 h de aplicación prácticas de la identificación de peligros, evaluación de riesgos y mapas de riesgos para un proceso de la fabricación de fundición gris en horno de cubilote.

Asimismo, se dedican 3 h para realizar un procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS) para una etapa del proceso de fabricación de fundiciones grises. En el apéndice A, se presenta una propuesta de PETS para el proceso de fusión y colada en horno de cubilote, el cual se puede tomar como referencia para la elaboración del PETS de las etapas del proceso de fabricación de fundición gris.

#### f. Plan de estudios

Tabla 42. Programación de contenidos de gestión de seguridad, salud y medioambiente

Tema	Sesiones teóricas (h)	Sesiones prácticas (h)
<b>1. Cultura de prevención</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
1.1. Importancia de una cultura de seguridad, salud y medioambiente		
1.2. Prevención en los ambientes de trabajo		
1.3. Identificación de peligros, evaluación de riesgos y el mapa de riesgos en ambiente laborales		
1.4. Estandarización de los procesos de producción		
<b>2. Gestión de seguridad, salud y medioambiente</b>	<b>5</b>	
2.1. Derechos y deberes del empleador y empleado en materia de seguridad, según la Ley 29783		
2.2. Políticas nacionales e internacionales en materia de SST		
2.3. Políticas nacionales e internacionales en materia de medioambiente		
<b>Horas totales</b>	<b>10</b>	<b>8</b>

### g. Bibliografía

- Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. (2014). Salud y seguridad en el trabajo (SST).
- Programa urbano desco (2011). Manual de salud y seguridad ocupacional para las MYPE del sector comercial de muebles.
- ISO 14001: Norma internacional de sistemas de gestión ambiental
- ISO 9001: Norma internacional de sistemas de gestión de la calidad
- Ley 29783: Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).





## **Conclusiones**

Después de realizar el diagnóstico del sector fundición de la región norte del Perú, referente a los procesos de fusión y colada y gestión de empresas, se han identificado una serie de puntos críticos tanto técnicos como de gestión, que afectan a la industria. A partir de los puntos críticos y objetivos del presente trabajo de investigación se enumeran las conclusiones en dos aspectos: etapa de fusión y colada, y gestión de empresas.

### **Referente a la etapa de fusión y colada:**

1. El 40% de los defectos encontrados en las piezas de fundición están asociados al inadecuado proceso de fusión y colada y falta de control de parámetros, lo cual, genera costos adicionales por la reposición de una pieza defectuosa y pérdida de la imagen de la empresa.
2. El uso de combustible inapropiado para la fusión en horno de cubilote merma la calidad del caldo, principalmente por el alto contenido de azufre presente en el combustible ( $>1,7\%S$ ) y, por ende, ganado por el hierro fundido.
3. El alto contenido de azufre en las fundiciones grises disminuye la calidad de las piezas fabricadas debido a que disminuye la fluidez del caldo, limita el crecimiento del grafito, favorece la tendencia al blanqueo, promueve la generación de defectos de fusión y dificulta la fabricación de fundición nodular.

4. El elevado porcentaje de piezas rechazadas o defectuosas tienen su origen en los defectos de fusión que son responsables de las bajas propiedades mecánicas de las piezas fabricadas en la región norte del Perú.
5. La catalogación adecuada de las chatarras disponibles en la región norte del Perú, junto con la adecuada selección de combustible permite obtener materiales cuya composición química esté dentro de los rangos establecidos por las normas técnicas internacionales.
6. El desconocimiento de las características y propiedades de las piezas fabricadas es consecuencia de la falta de catalogación de la chatarra, inadecuado o inexistente uso de aditivos y deficiente cálculo de cargas.
7. La aplicación de un correcto diseño de cargas permitiría conseguir caldos de composición química cercana a los estándares y ajustarlos mediante el uso de aditivos.
8. El adecuado proceso de recepción, almacenamiento e industrialización de la materia prima metálica permite disminuir la heterogeneidad química del caldo y la aparición de defectos macroscópicos.
9. Los fundidores de la región norte del Perú no utilizan aditivos para mejorar la calidad del metal fundido, en algunos casos por desconocimiento de los beneficios, del procedimiento y la cantidad a añadir.
10. Existen métodos empíricos para estimar y ajustar los parámetros de operación del cubilote, que permiten mejorar la calidad de las piezas fabricadas sin incurrir en gastos adicionales.
11. El ensayo de tendencia al blanqueo (método de cuña) es una herramienta sencilla que se puede realizar al pie del horno para medir el blanqueo total y estimar el porcentaje de silicio presente en la pieza, y ajustarlo a través del uso de ferroaleaciones.

12. La falta de capacitación de los trabajadores de fundición en aspectos técnicos de todo el proceso de producción limita la capacidad de mejorar la calidad de las piezas obtenidas y/o fabricar otros materiales de mejores prestaciones y, por ende, el crecimiento sostenido de la industria.
13. La implementación de laboratorios que certifiquen la calidad de las piezas fundidas y una planta piloto son indispensables para el desarrollo de esta industria en la región norte del Perú.

**Referente a la gestión de empresas:**

14. La falta de una política de calidad en los talleres de fundición del norte del Perú impide tomar acciones para mejorar y optimizar los procesos de producción de aleaciones con el fin de obtener piezas de clase estándar.
15. La metrología, normalización y certificación de la calidad son herramientas de competitividad en el mercado para las MYPE, pues les permiten caracterizar sus productos y procesos y su estandarización, y controlar la calidad de las mediciones.
16. La optimización y estandarización de los procesos incide en la disminución de los costos de producción por piezas defectuosas o rechazadas por los clientes, además permite aprovechar mejor los recursos humanos y materiales disponibles en la planta.
17. A mayor capacitación en gestión microempresarial, mayor conocimiento de los derechos y deberes del empleador y empleado y, por ende, cumplimiento de los mismo. Esto incide en el mejoramiento de las condiciones de trabajo del sector fundición.
18. La falta de formalización e inserción al sistema financiero de las MYPE de fundición limita la capacidad de inversión, impide el crecimiento sostenido del negocio, y disminuye la competitiva de la empresa en el mercado.

19. La implementación de un sistema de costos permite a las MYPE de fundición permite optimizar el manejo de los recursos (humanos, materiales, financieros, entre otros) a través del ordenamiento de la estructura de costos y gastos; identificar las actividades claves, actividades donde se realizan gastos innecesarios o actividades que requieren mayor inversión; y tomar mejores decisiones respecto a qué piezas y materiales vender, a qué precio venderlas y qué piezas hay que dejar de vender.
20. El sistema de costos de los talleres de fundición gris es bastante deficiente, lo cual imposibilita el conocimiento de la rentabilidad del negocio y la posibilidad de invertir en la mejora de proceso y la obtención de otros materiales de alta demanda.
21. Existen factores que limitan la implementación de un sistema de costos en las MYPE de fundición, los cuales afectan negativamente el crecimiento de las empresas. Los factores más relevantes son: la falta de instrucción y de personal capacitado en temas de gestión microempresarial, la falta de una total formalización, y la perspectiva del empresario de una MYPE formal que sólo ve la contabilidad como una obligación tributaria.
22. La falta de conocimiento y desarrollo de técnicas, herramientas y habilidades gerenciales dificultan el crecimiento sostenido de las MYPE de fundición, debido a problemas humanos dentro de la empresa.
23. La falta de una cultura de seguridad, salud y medioambiente en los trabajadores de fundición incrementa el riesgo de sufrir incidentes, accidentes o enfermedades ocupacionales, y disminuye el trato humanizado a los trabajadores de fundición.
24. La inadecuada gestión de contaminación en los talleres de fundición incide de forma negativa en la salud de los trabajadores y ciudadanos de los alrededores, y en el cuidado del medioambiente.

## Recomendaciones

En base a los puntos críticos identificados en las etapas de fusión y colada, se han planteado una serie de recomendaciones dirigidas a los propietarios de las MYPE de fundición y a todos los trabajadores de este sector industrial, las cuales se muestran en la tabla 43.

Tabla 43. Recomendaciones para las etapas de fusión y colada

Puntos críticos	Recomendaciones
<b>Etapas de fusión y colada</b>	
Falta de control de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la medida de lo posible, realizar la caracterización completa de las piezas producidas, para evaluar la calidad de sus productos.</li> </ul>
Falta de selección de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir carbón tipo antracita de mejor calidad (&lt; 1% S) disponible en el mercado interno, cuya fuente más cercana se encuentra en el departamento de La Libertad.</li> </ul>
Falta de catalogación de chatarras en el norte del Perú.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificar la chatarra de acuerdo a su origen, tamaño y composición química estimada.</li> <li>• Elaborar un catálogo detallado de la chatarra de fundición gris y acero de la región norte del Perú, a través de la identificación del componente de máquina y su fabricante.</li> <li>• En los casos que se requiera, realizar análisis químico de las piezas de chatarra más representativas.</li> </ul>
Incorrecto almacenamiento y limpieza de la chatarra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar un correcto almacenamiento y limpieza de la materia prima, separando los accesorios o piezas altamente contaminadas u oxidadas, así como chatarra de alta aleación, lo cual puede generar defectos en los productos finales.</li> </ul>

Tabla 43. Recomendaciones para las etapas de fusión y colada (continuación)

Puntos críticos	Recomendaciones
Etapa de fusión y colada	
Falta de control de parámetros de fusión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el método empírico para estimar la temperatura del caldo, verificando el color y fluidez del caldo, y su permanencia en el horno, evitando incurrir en costos por la adquisición de pirómetros y el personal especializado para utilizarlo y calibrarlo.</li> <li>Observar el aspecto de la escoria para verificar la correcta marcha del cubilote.</li> <li>Realizar el ensayo de tendencia al blanqueo (método de cuña) para relacionar el blanqueo total con el porcentaje de silicio, con el objetivo de ajustar la composición química del caldo evitando la aparición de fundición blanca o atruchada.</li> </ul>
No se utilizan aditivos para mejorar la calidad de caldo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usar ferrosilicio y ferromanganeso para ajustar la composición química del metal fundido. Además, emplear carburo de calcio para desulfurar el caldo sin desgastar el refractario ácido del horno.</li> </ul>
Falta de aplicación del cálculo de cargas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el cálculo de cargas, para estimar y ajustar la composición química del caldo.</li> </ul>
Mano de obra poco calificada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se recomienda a los empresarios de fundición capacitar al personal de acuerdo a sus funciones y responsabilidades dentro de la empresa, cubriendo todas las etapas del proceso productivo y entrenamiento en la aplicación de normas técnicas.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia los puntos críticos identificados en la gestión de empresas, se han planteado una serie de propuestas de mejora dirigidas a los empresarios de las MYPE de fundición, las cuales se muestran en la tabla 44.

Tabla 44. Recomendaciones para gestión de empresas

Puntos críticos	Recomendaciones
Gestión de empresas	
Falta de una política de calidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover una política de calidad en los talleres de fundición, mediante la aplicación de normas técnicas, y mejoramiento y estandarización de procesos.</li> <li>Medir y controlar la calidad de sus productos.</li> <li>Controlar los parámetros de operación.</li> </ul>
Mano de obra poco calificada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitarse y capacitar a su personal administrativo en temas tanto de gestión microempresarial como de gestión de seguridad, salud y medioambiente.</li> <li>Difundir los programas de ayuda y fortalecimiento de las MYPE que ha implementado el gobierno.</li> </ul>

Tabla 44. Recomendaciones para gestión de empresas (continuación)

Puntos críticos	Recomendaciones
Gestión de empresas	
Limitado acceso al sistema financiero.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formarse en educación financiera y desconfianza a las entidades financieras formales.</li> <li>• Conocer la alta demanda de aleaciones de la industria regional, mediante la elaboración de un catálogo de las piezas con alta demanda del sector industrial de la región norte del Perú.</li> <li>• Asociarse con las grandes industrias para que las MYPE de fundición sean las proveedoras de sus productos.</li> </ul>
Falta de un sistema de costos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prepararse en relación a la implementación de un sistema de costos.</li> <li>• Elaborar una estructura de costos que se ajuste a su realidad.</li> <li>• Elaborar el estado de ganancias y pérdidas.</li> <li>• Realizar el cálculo de indicadores de liquidez y rentabilidad.</li> <li>• Realizar el balance de ganancias y pérdidas, y flujo de caja.</li> </ul>
Alto grado de informalidad de las MYPE.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitarse en temas de formalización requisitos y beneficios.</li> </ul>
Limitadas capacidades gerenciales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formarse y formar a su personal en técnicas, herramientas y habilidades gerenciales</li> </ul>
Falta de una cultura de seguridad, salud y medioambiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitarse y capacitar a su personal en la importancia de una cultura de seguridad, salud y medioambiente.</li> <li>• Elaborar un reglamento interno de seguridad y salud en el trabajo.</li> <li>• Elaborar procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS) para la estandarización de sus procesos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Además, se realizan propuestas de mejora dirigidas a las entidades que tienen como objetivo incrementar la productividad de las MYPE, y el crecimiento del sector industrial tales como: MEF, MTPE, PRODUCE, SUNAT, entre otros. Así como a las universidades e institutos tecnológicos que aportan con conocimientos técnicos a este desarrollo.

- Proporcionar una capacitación y/o asistencia personalizada a las empresas de fundición en aspectos tales como aplicación de normas técnicas, caracterización de piezas, importancia de la calidad de la materia prima, control de parámetros de operación del horno, etc.

- Proporcionar una capacitación y/o asistencia personalizada a las empresas de fundición en temas de gestión de empresas tales como sistema de costos, educación financiera, gestión de seguridad, salud y medioambiente, formalización de las MYPE, habilidades gerenciales, etc.
- Formar personal calificado que pueda brindar las capacitaciones a los fundidores.
- Adquirir infraestructura, planta piloto, que aplique la ciencia metalúrgica y métodos innovadores para la fabricación de piezas de alta demanda.
- Implementar laboratorios que certifiquen la calidad de los productos de las MYPE de fundición.



## Referencias bibliográficas

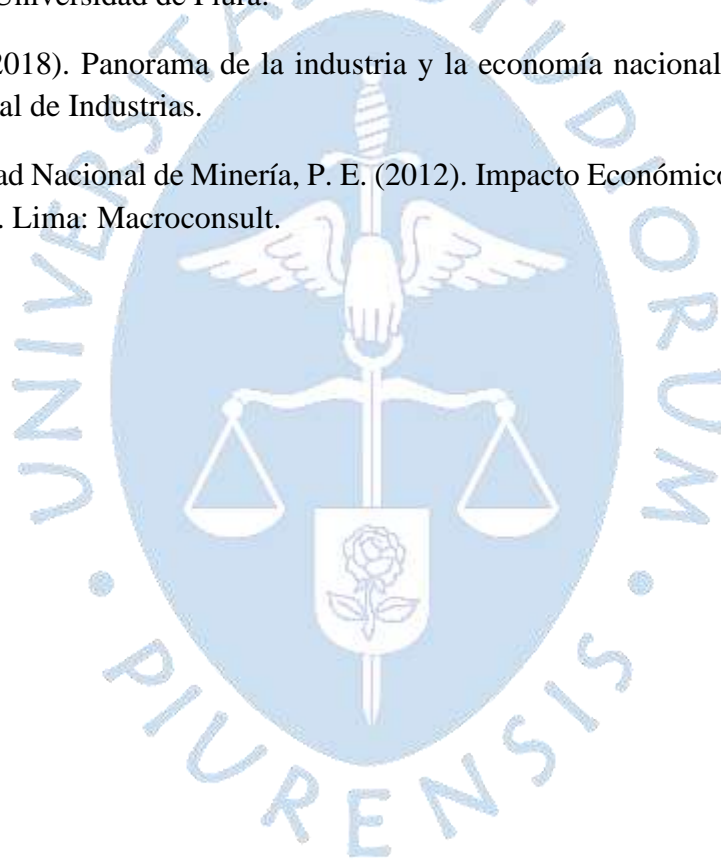
1. Ministerio de la producción. (2014). Plan Nacional de Diversificación productiva. Lima: Ministerio de la producción.
2. ASM International. (1992). ASM Handbook Volume 15: Castings. EE.UU: ASM Publications.
3. Avolio, B., Mesones, A., & Roca, E. (2007). Factores que limitan el crecimiento de las micro y pequeñas empresas en el Perú. Lima: CENTRUM Católica.
4. Baquero, A. (2000). Diseño, Operación y Control del Cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS.
5. BCRP. (2013). Informe Económico y Social, Región La Libertad. Trujillo: Banco Central de Reserva del Perú.
6. BCRP. (2013). Síntesis económica de Lambayeque, enero 2013. Piura: Banco Central de Reserva del Perú.
7. BCRP. (2016). Memoria 2016. Lima: Banco central de reserva del Perú.
8. BCRP. (2017). Caracterización del departamento de Piura. Piura: Banco Central de Reserva del Perú.
9. BCRP. (2017). Caracterización del departamento de Piura. Piura: Banco Central de Reserva del Perú.
10. BCRP. (2017). Informe Económico y Social, Región Lambayeque. Lambayeque: Banco Central de Reserva del Perú.
11. BCRP. (2018). Guía metodológica de la nota semanal. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
12. BID. (s.f.). Seguridad, Salud en el Trabajo en América Latina y el Caribe: Análisis, temas y recomendaciones de política. Banco Interamericano de Desarrollo.
13. Burneo, K. (2017). Calidad en la MYPES. INACAL, 4-5.

14. Cárdenas, G. J. (2009). ¿Existe aún la industria manufacturera en el Perú? *Pensamiento Crítico* N°11, 11-32.
15. Carhuavilca, D. (2013). *Analizando el panorama industrial. Por el desarrollo de la industria*, 12-14.
16. CONCYTEC. (2016). *Programa Nacional Transversal de Ciencia y Tecnología de Materiales*. Lima: Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
17. Cruz, E. (2014). *Mercado de fundiciones avanza de la mano de la minería. Rumbo minero* N°83.
18. Delgado, F., & Mendieta, C. (2015). *La informalidad y el crecimiento económico de las MYPE en el distrito de Acobamba*. Huancavelica: Escuela profesional de administración.
19. Deloitte. (2016). *Análisis Económico y de Industrias Latinoamérica*. Deloitte LATCO.
20. DGI. (2011). *Análisis Regional de Empresas Industriales. La Libertad*: Dirección General de Industria.
21. DGI. (2011). *Análisis Regional de Empresas Industriales. Piura*: Dirección General de Industria.
22. Díaz, C., & Zimmermann, M. (2010). *Actividades económicas con mayor siniestralidad, penosidad y peligrosidad: Sector del Metal*. España: Departamento de Investigación e Información.
23. Dirección de Estudios Económicos. (2017). *Informe de Actividad Industrial Mundial*. Uruguay: Dirección de Estudios Económicos.
24. Farlex. (s.f.). *The free library*. Recuperado el 5 de Junio de 2019, de The free library: <https://www.thefreelibrary.com>
25. Frás, Górnny, & Lopez. (2009). *Mechanism of the silicon influence on absolute chilling tendency and chill of cast iron*. *Metallurgy and materials*.
26. Gerencia Central de Estudios Económicos. (s.f.). *BCRP DATA*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de BCRP DATA: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados>
27. Gerencia Central de Estudios Económicos. (s.f.). *BCRP DATA*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de BCRP DATA: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/cuadros/memoria>

28. Grupo Banco Mundial. (s.f.). Datos Banco Mundial. Recuperado el 01 de Noviembre de 2018, de sitio web de Datos Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.TOTL.KD.ZG>
29. Guerrero, Calderón, & Roncal. (2019). Identification of iron sulphides in gray iron. Piura: Universidad de Piura.
30. Guerrero, R. (2018). Diagnóstico del sector de fundición en el norte del Perú. Piura: Universidad de Piura.
31. Guzman, H. (1996). Análisis metalográfico y mecánico de hierros grises. San Nicolas de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León.
32. I.Asenjo, P. J. (2011). Influencia de la composición química de diferentes chatarras de acero sobre las propiedades mecánicas de la fundición de grafito esferoidal. Revista de metalurgia, 47, 308.
33. INEI. (2017). Panorama de la Economía Peruana 1950-2016. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
34. ISAT. (2011). Diagnóstico Situacional en Seguridad y Salud en el Trabajo: Perú. Lima: Instituto Salud y Trabajo.
35. Jiménez, G. M. (2015). Tamaño de la empresa e infomalidad: Un análisis para las Micro y Pequeñas empresas del sector Manufacturero de Chiclayo. Lambayeque.
36. Lara, F., & Salao, M. (2007). Estudio experimental de la desulfuración para fundición gris con agitación de gas inerte. Quito: Escuela politécnica nacional.
37. León, J. (2017). Inclusión financiera de las micro, pequeñas y medianas empresas en el Perú. Santiago: Naciones Unidas.
38. Levi. (1947). W.W. Controlling carbon in the cupola. American Foundryman.
39. MEF. (2009). Marco Macroeconómico Multianual 2007 -2009. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.
40. Mendiola, A., Aguirre, C., Chero, Y., Churampi, N., Quispe, J., & Sedano, R. (2013). Explotación del carbón antracita: viabilidad del yacimiento Huaday - Ambara. Lima: Universidad ESAN.
41. Metalografía y tratamientos térmicos. (s.f.). Tratamiento de fundiciones de hierro.
42. MINCETUR. (2015). Plan Estratégico Nacional Exportador 2025. Lima: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.
43. MINCETUR. (2016). Informe anual de exportaciones 2016. Lima: Servicios al Exportador.

44. MINCETUR. (2017). Reporte regional de comercio Lambayeque. Lambayeque: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.
45. Ministerio de la Producción. (2016). Estudio de la situación actual de las empresas peruanas. Lima: Ministerio de la Producción.
46. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. (2014). Salud y seguridad en el trabajo (SST). Buenos Aires: Construir futuro con trabajo decente.
47. Molina, A., & Castro, A. (2015). Analisis de eficiencia del sector industrial manufacturero en cinco países suramericanos, 1995-2008. Cali: Civilizar, Ciencias Sociales y Humas.
48. Morales, J. (2019). Impacto del diseño del cubilote y uso del combustible en la calidad de las fundiciones grises del norte peruano. Piura: Universidad de Piura.
49. MTPE. (2007). Informe sobre las condiciones de trabajo, seguridad y salud de los asalariados privados de Lima Metropolitana. Lima: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.
50. MTPE. (2018). Anuario estadístico sectorial 2018. Lima: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.
51. MTPE. (2019). Notificaciones de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales. Lima: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.
52. Muhammad, H. (2014). On the inoculation and graphite morphologies of cast iron. Stockholm.
53. Núñez, G. J. (2009). ¿Existe aún la industria manufacturera en el Perú? Pensamiento Crítico N°11, 11-32.
54. Núñez, G. J. (2009). ¿Existe aún la industria manufacturera en el Perú?
55. OIT. (2003). La seguridad en cifras. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
56. Paredes, M. (2017). Habilidades gerenciales en las MYPE de calzado Paredes, Gianpierre y Contiex en el distrito El Porvenir, Trujillo. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
57. Parkin, M., & Loría, E. (2015). Macroeconomía: Versión para latinoamérica. México: PEARSON EDUCACIÓN.
58. Parra, J. (1994). Manual técnico sobre preparación de cargas para la fusión de metales. Bogotá: Centro nacional de metalurgia.
59. Peñaherrera, R., & Loarte, L. (2018). Efectos de la implementación de un sistema de costeo para MYPE del sector textil de prendas de vestir en Gamarra. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

60. Pérez, P. (2007). Evaluación experimental de los perfiles de composición química del metal en un horno de cubilote y comparación con algunos modelos matemáticos. Medellín: Universidad de Antioquia.
61. Portilla, M. (s.f.). Elaboración de un procedimiento para fundir acero de medio carbono en el horno de inducción para el laboratorio de fundición. Escuela politécnica nacional.
62. Quintana, C. (Noviembre de 2009). MundoMYPE. Recuperado el 9 de Junio de 2019, de MundoMYPE: <http://www.mundomype.com>
63. Ramírez, W. (s.f.). Costo de la No calidad. INACAL, 12.
64. Silupú, B. (2011). Fortalecer para crecer. Casos de éxito del programa MYPE. Piura: Universidad de Piura.
65. SNI. (2018). Panorama de la industria y la economía nacional. Lima: Sociedad Nacional de Industrias.
66. Sociedad Nacional de Minería, P. E. (2012). Impacto Económico de la Minería en el Perú. Lima: Macroconsult.





## Apéndices





**Apéndice A: Propuesta del Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) para el proceso de fusión y colada en horno de cubilote**

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 1 de 12

Copia controlada N°	<b>COPIA NO CONTROLADA</b>
Asignada	

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Autorizado por:
Nombre(s):	Nombre(s):	Nombre(s):	Nombre(s):
Cargo(s):	Cargo(s):	Cargo(s):	Cargo(s):
Firma(s):	Firma(s):	Firma(s):	Firma(s):
			Fecha de vigencia

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 2 de 12

<b>ÍNDICE DE REVISIONES</b>		
<b>Índice de revisión</b>	<b>Fecha de vigencia</b>	<b>Modificaciones</b>
0	11/06/2019	Se genera el procedimiento.
1		Se actualiza todo el procedimiento.



<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 3 de 12

<b>Objetivo</b>	
Establecer una secuencia correcta aplicable a la ejecución de las actividades fusión y colada del metal fundido en horno de cubilote, identificando los peligros e implementando las medidas de control para minimizar los riesgos y cumplir con las normas de seguridad y medioambiente establecidos.	
<b>Alcance</b>	
El presente procedimiento es aplicable a todo el personal de la empresa que esté involucrado directa o indirectamente en las actividades de fusión y colada del metal fundido.	
<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
El Supervisor coordina la manipulación y transporte de la materia prima a la puerta de carga del horno de cubilote.	Apagado del ventilador centrífugo.
<b>Participantes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisor de taller</li> <li>• Supervisor de seguridad</li> <li>• Personal técnico</li> </ul>	
<b>Responsabilidades</b>	
<p><b>Supervisor de taller:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velar por la protección de la vida, salud e integridad física de todos los trabajadores.</li> <li>• Responsable de capacitar, difundir, cumplir y hacer cumplir el presente estándar.</li> <li>• Proveer al personal técnico todos los recursos, equipos y herramientas necesarios para la aplicación de presente PETS.</li> <li>• Realizar mejoras y actualizar el estándar de acuerdo con las innovaciones tecnológicas.</li> </ul> <p><b>Supervisor de seguridad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacer cumplir las disposiciones indicadas en el presente procedimiento, informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo, verificando y analizando que se haya dado cumplimiento a la IPERC.</li> </ul> <p><b>Personal técnico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir estrictamente con lo señalado en el presente estándar.</li> <li>• Inspeccionar diariamente el estado de los equipos, las herramientas, los materiales y el área de trabajo en temas de orden y limpieza al inicio de cada jornada.</li> <li>• Reportar al supervisor de taller o de seguridad cualquier anomalía que pueda presentar un riesgo.</li> <li>• Realizar toda acción que conduzca a prevenir los incidentes y accidentes.</li> <li>• Reportar de forma inmediata la ocurrencia de incidentes y/o accidentes.</li> </ul>	

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 4 de 12

<b>Equipos de Protección Personal (EPP) básico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco de seguridad.</li> <li>• Guantes de seguridad de cuero o lona.</li> <li>• Zapatos de seguridad con punta de acero.</li> <li>• Lentes de seguridad con contra proyección de partículas.</li> <li>• Tapones auditivos y/o orejeras.</li> <li>• Chaleco de seguridad.</li> <li>• Bloqueador solar.</li> </ul>
<b>Equipos de Protección Personal (EPP) específico para actividad a altas temperaturas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco de seguridad.</li> <li>• Pantallas faciales con cristales filtrantes normalizados.</li> <li>• Protectores auditivos diseño de copa de protección.</li> <li>• Trajes aluminizados reflectivos.</li> <li>• Zapatos de seguridad con punta de acero.</li> <li>• Guantes de seguridad de tela aluminizada.</li> <li>• Respirador de media cara con filtro tipo CO (exposición a monóxido de carbono).</li> <li>• Respirador de media cara con filtro tipo E (exposición a óxidos de azufre).</li> <li>• Monogafas con ventilación indirecta.</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 5 de 12

### Consideraciones

- Todas las operaciones de fusión y colada requieren previa autorización por parte del supervisor de taller.
- El supervisor de taller debe haber realizado las coordinaciones correspondientes con el resto del personal, de tal forma que todos tengan pleno conocimiento del proceso de fusión y colada a realizar.
- Verificar que la chatarra (fundición y acero), el combustible sólido y los aditivos estén pesados y distribuidos correctamente para su uso.
- El personal técnico asignado y ayudantes que vayan a efectuar labores de fusión y colada deben utilizar el equipo de protección personal necesario y certificado por el proveedor o fabricante.
- Verificar que el lugar de trabajo cumpla con las condiciones de orden y limpieza de tal manera que facilite la correcta operación de fusión y colada, y evitar incidentes y/o accidentes.
- Contar con un extinguidor clase D, junto con una pala y arena limpia y seca para combatir incendios.
- Usar materia prima libres de pinturas, plásticos, lubricantes, recubrimientos o aditivos de plomo, níquel o cromo que desprenden gran cantidad de gases que son peligrosos para la salud.


### Restricciones

- Se analizará la tarea identificando los peligros que esta genera, con la finalidad de controlarlos evitando que se generen riesgos a las personas, medioambiente y/o la propiedad. La evaluación se realizará con la participación de todo el personal involucrado en la tarea, el que llenará y firmará el formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS).
- No realizar ninguna clase de trabajos de fusión y colada, bajo condiciones climatológicas de lluvia.
- Se prohíbe ingresar agua al horno o a las cucharas de colada, cualquier residuo de agua puede ocasionar una explosión peligrosa.
- Se prohíbe la ejecución y participación en el proceso de fusión y colada al personal que no esté debidamente capacitado y autorizado para la ejecución de dichos trabajos. De existir personal sin capacitar notificar a la supervisión inmediata para que imparta la capacitación requerida.
- El personal adoptará postura para evitar problemas de ergonomía, levantando en cualquier caso un peso no mayor de 25 kg.
- El ingreso al área de trabajo se encontrará restringido, delimitando y señalizando previamente el área. El ingreso sólo será autorizado de ser requerido por el supervisor encargado de los trabajos.
- No se permitirá realizar trabajos bajo los efectos de alcohol y drogas, narcóticos o medicamentos que pueda afectar la habilidad de las personas que intervengan en la tarea.
- Ante cualquier situación que genere un riesgo inminente se paralizará los trabajos, hasta aplicar medidas de control que lo minimicen.
- Se reportará cualquier incidente, acto y condición subestándar de forma inmediata a la supervisión.




<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 6 de 12

Desarrollo			
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE			
N°	Pasos	Riesgos	Medidas de control
1.	Preparación, manipulación y traslado de la materia prima a la puerta de carga		
	Pesar la materia prima (combustible y chatarra), de acuerdo a lo calculado en el balance de cargas.	Posiciones ergonómicas inadecuadas. 	Posicionarse adecuadamente para levantar peso.
		Lumbalgia, dolor cervical, por las posturas repetitivas.	Adoptar posturas correctas al momento de cargar peso o al realizar un paso de la tarea. Realizar pausas activas. No cargar más de 25 kg por persona.
		Atrapamiento de mano entre la materia prima metálica. 	No exponer la mano en puntos de aprisionamiento. Uso de EPP básico.
	Traslado de la materia prima a la base del cubilote	Atrapamiento de mano entre la materia prima metálica.	No exponer la mano en puntos de aprisionamiento. Uso de EPP básico.
		Caídas al mismo nivel con o sobre elementos y restos de material.	Realizar el correcto proceso de orden y limpieza del área de trabajo antes de iniciar la tarea. Uso de EPP básico.



<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 7 de 12

	Subir la materia prima hacia la plataforma de la puerta de carga.	Posiciones ergonómicas inadecuadas.	Posicionarse adecuadamente para levantar peso.
		Lumbalgia, dolor cervical, por las posturas repetitivas.	Adoptar posturas correctas al momento de cargar peso o al realizar un paso de la tarea. Realizar pausas activas. No cargar más de 25 kg por persona.
		Caídas a desnivel. 	Mantener los tres puntos de apoyo al subir y bajar el material. Inspeccionar la escalera. Uso de EPP básico.
2.	Preparación del horno de cubilote		
	Cerrar la puerta de fondo de cubilote, después de la reparación del revestimiento refractario del horno.	Atrición de dedos con el cerrojo de la puerta de carga. Atrapamiento de mano con el puntal de la puerta de carga.	Uso de EPP básico. No exponer la mano en puntos de aprisionamiento.
	Apisonar sobre el fondo de cubilote una capa de arena seca (solera) con pendiente hacia el orificio de colada, a través de la puerta lateral de encendido y limpieza.	Golpes y cortes por uso de herramientas de apisonamiento.	Uso de guantes. No exponer la mano en la línea de fuego.

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 8 de 12

3.	Encendido y precalentamiento del horno de cubilote	
<p>Introducir leña seca y suave sobre la solera formado un cono invertido, para que pueda.</p> <p>Dejar abiertos el orificio de colada, las tapas de toberas y pico de colada.</p>	<p>Atrapamiento de mano entre la madera y/o leña.</p>	<p>No exponer la mano en puntos de aprisionamiento.</p> <p>Uso de EPP básico.</p>
<p>Encender la leña con ayuda de gasolina u otro elemento inflamable.</p>	<p>Irritación de la piel por contacto directo con el elemento inflamable.</p> 	<p>Contar con hojas MSDS del elemento inflamable.</p> <p>Uso de guantes de látex.</p> <p>Capacitar al personal en manejo de productos químicos y peligrosos.</p> <p>Uso de hojas MSDS.</p> 
	<p>Riesgo de amago de incendio por derrame y liberación de gases inflamables.</p> 	<p>Garantizar una ventilación adecuada en lugares cerrados para disipar vapores.</p> <p>Prohibición de fumar.</p> <p>Capacitar al personal en uso de extintores.</p> <p>En caso de incendio, uso de extintores tipo B.</p>

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 9 de 12

<p>Añadir un tercio o la mitad de la carga total de la cama de combustible sólido por la puerta de carga, en el momento en que la leña esté ardiendo.</p>	<p>Caída de objetos pesados de combustible y contenedores del combustible desde la plataforma de carga.</p> 	<p>Mantener el orden y limpieza. Colocar objetos pesados y contenedores en una bandeja. Señalizar el área de trabajo con altas probabilidades de caída de objetos. Concentrarse en la tarea. Usar casco de seguridad.</p>
<p>Nivelar la cama de combustible hasta la altura predeterminada, midiendo con una varilla introducida por la puerta de carga.</p> <p>El encendido de la cama prosigue hasta que todo el combustible esté caliente y adquiera un color uniforme rojo cereza, brillante y parejo; mantenimiento todos los orificios abiertos.</p>	<p>Enfermedades por estrés térmico debido a la radiación infrarroja procedente del horno.</p>	<p>Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar las enfermedades por estrés térmico. Proporcionar e incentivar la hidratación adecuada con cantidades y tipos de líquidos apropiados. Limitar el tiempo de exposición.</p>
<p>Asegurarse que la cama de combustible arda uniformemente y tenga la altura predeterminada.</p>	<p>Quemaduras por contacto con la superficie del horno y humos que salen por la puerta de carga.</p> 	<p>Señalizar superficies calientes. Limitar el tiempo de exposición. Utilizar EPP para altas temperaturas.</p>

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 10 de 12

4.	Carga del horno de cubilote		
	<p>Agregar el fundente igual a dos o cuatro veces la empleada en cada carga, en el centro de la columna de carga sobre la cama de combustible, por la puerta de carga.</p> <p>Agregar al horno de cubilote la primera carga metálica por la puerta de carga., correctamente seleccionada, limpia y pesada.</p> <p>Introducir la segunda carga de combustible, fundente y materia prima metálica, hasta llegar a la puerta de carga.</p> <p>Mantener el horno lleno con cargas alternas, a medida que las otras van descendiendo.</p>	<p>Enfermedades por estrés térmico debido a la radiación infrarroja procedente del horno y el metal fundido.</p> <p>Quemaduras por contacto con la superficie del horno y humos que salen por la puerta de carga.</p> <p>Caída de objetos pesados de la materia prima y contenedores desde la plataforma de carga.</p> <p>Intoxicación por emanaciones de monóxido de carbono en el horno de cubilote.</p>	<p>Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar las enfermedades por estrés térmico. Proporcionar e incentivar la hidratación adecuada con cantidades y tipos de líquidos apropiados. Limitar el tiempo de exposición.</p> <p>Señalizar superficies calientes. Limitar el tiempo de exposición. Utilizar EPP para altas temperaturas.</p> <p>Mantener el orden y limpieza. Colocar objetos pesados y contenedores en una bandeja. Señalizar el área de trabajo con altas probabilidades de caída de objetos. Concentrarse en la tarea. Usar casco de seguridad.</p> <p>Limitar el tiempo de exposición. Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar la intoxicación por CO. Uso de respirador de media cara con filtro tipo CO. En caso de intoxicación, se dispondrá de un equipo de respiración y reanimación. Capacitar al personal en el manejo del equipo.</p>

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 11 de 12

5.	Proceso de fusión		
	<p>Cerrar las tapas de toberas.</p> <p>Encender el ventilador centrífugo.</p> <p>Esperar de 8 a 10 min para la aparición del primer hierro en pico de colada.</p> <p>Mantener el orificio de pico de colada hasta que el metal fundido salga lo suficientemente fluido y caliente del horno.</p> <p>Cerrar el orificio del pico de colada con un tapón de forma cónica.</p> <p>Realizar limpiezas periódicas por medio de barras puntiagudas para deshacer el atascamiento.</p> <p>Dejar que se acumule el metal fundido en el horno de cubilote hasta que empiece a salir escoria fluida por el orificio de escoriado.</p>	<p>Intoxicación por emanaciones de monóxido de carbono en el horno de cubilote.</p> <p>Intoxicación por emanaciones de óxidos de azufre en el horno de cubilote.</p> <p>Daños auditivos por el funcionamiento del ventilador centrífugo.</p> <p>Quemaduras por contacto con la superficie del horno y humos que salen por la puerta de carga.</p>	<p>Limitar el tiempo de exposición.</p> <p>Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar la intoxicación por CO.</p> <p>Uso de respirador de media cara con filtro tipo CO.</p> <p>En caso de intoxicación, se dispondrá de un equipo de respiración y reanimación.</p> <p>Capacitar al personal en el manejo del equipo.</p> <p>Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar la intoxicación por óxidos de azufre.</p> <p>Señalizar las áreas de riesgo de intoxicación por emanaciones de óxidos de azufre.</p> <p>Uso de respirador de media cara con filtro tipo E.</p> <p>Colocar sombrero chino sobre el horno de cubilote lavando con una cortina de agua para diluir los gases contaminantes.</p> <p>Mantener las áreas de trabajo correctamente ventiladas.</p> <p>Limitar el tiempo de exposición.</p> <p>Implementar un programa de conservación auditiva.</p> <p>Inspección de estado de EPP.</p> <p>Uso de orejeras.</p> <p>Señalizar superficies calientes.</p> <p>Limitar el tiempo de exposición.</p> <p>Utilizar EPP para altas temperaturas.</p>

<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO</b>	
PROCESO DE FUSIÓN Y COLADA EN HORNO DE CUBILOTE	Código: XXXX Versión: 00 Página : 12 de 12

6.	Proceso de colada	
<p>Sangrar el horno retirando el tapón con una barra firme y, si es necesario, utilizar una comba para golpear.</p> <p>Seguir agregando cargas alternadas de materia prima para reemplazar el metal fundido, hasta el fin de la colada.</p> <p>Verificar la cantidad de moldes que restan por llenar, e introducir la última carga.</p> <p>Dejar de cargar el horno, manteniendo el aire soplado hasta que la carga alcanza el nivel de las toberas.</p> <p>Apagar el ventilador centrífugo.</p>	<p>Intoxicación por desprendimiento de vapores durante la colada.</p> <p>Explosión por contacto entre el agua y el metal o los restos de escoria.</p> <p>Explosión o incendio por contacto de las chispas con un medio donde hay acumulación de gases inflamables.</p> <p>Quemaduras por proyección de material fundido o por contacto con la escoria.</p>	<p>Capacitar al personal en prevenir, reconocer y tratar la intoxicación por vapores. Limitar el tiempo de exposición. Señalizar las áreas de riesgo de intoxicación por vapores. Mantener las áreas de trabajo correctamente ventiladas.</p> <p>Evitar que la humedad de los revestimientos del horno y cucharas de colada. Prohibir el ingreso de agua al horno o cucharas de colada. Usar EPP para alta temperatura.</p> <p>Mantener el orden y la limpieza. Evitar la acumulación de materiales de desperdicio inflamables. Instalar un extintor en las proximidades del área de trabajo. Una vez terminada la tarea, se debe revisar el lugar de trabajo y los alrededores por si quedasen proyecciones incandescentes que pudiesen provocar un incendio posterior.</p> <p>Usar EPP para alta temperatura.</p>

**Anexos**





## Anexo A: Formato de encuesta dirigida a empresas de fundición del norte del Perú

### ENCUESTA DIRIGIDA A EMPRESAS DE FUNDICIÓN DEL NORTE DE PERÚ

Con esta encuesta se espera caracterizar el entorno y la manera como operan las Fundiciones del Norte del Perú con respecto a: **I)** Aprovisionamiento de materias primas e insumos y el seguimiento hecho a su calidad; **II)** Procedimiento de moldeo y, manejo y control de las arenas de moldeo; **III)** Proceso de fusión y vaciado de metal.

Esta encuesta es adelantada por la Universidad de Piura con la colaboración de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

De antemano agradecemos su colaboración.

#### CARACTERIZACIÓN GENERAL

1. Fecha: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_
2. Nombre de la empresa: \_\_\_\_\_
3. Nombre de la persona que responde la encuesta: \_\_\_\_\_
4. Cargo en la empresa: \_\_\_\_\_
5. Nivel de formación alcanzado: \_\_\_\_\_
6. ¿La empresa está afiliada a alguna cámara industrial o sectorial?  
SI \_\_, NO \_\_; ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
7. Según la cantidad producida, indique los tipos de piezas más representativos que fabrican:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
8. Mencione las aleaciones con las cuales trabajan, si recurren a alguna norma indicarlas también, y los kg mensuales promedio producidos de cada una: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
9. ¿Número de operarios en su empresa? \_\_\_\_\_.

10. Nivel de formación promedio del personal. Indicar porcentaje o número:

Empírico \_\_\_; Bachiller \_\_\_; Técnico \_\_\_; Tecnólogo \_\_\_; Ingeniero \_\_\_.

11. En orden de importancia, mencione los sectores o clientes comunes para los cuales trabaja su empresa:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

### MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y SU CALIDAD

12. De los productos relacionados en la tabla, indique cuales son utilizados en su empresa; si aplica alguna normatividad o criterio para controlar la calidad a la recepción; o al inicio, cuando está en proceso de definir un nuevo proveedor.

Materia prima o insumo	Controla calidad a la recepción	Controla calidad al seleccionar nuevo proveedor	Norma aplicada y/o criterio seguido.
Coque			
Refractarios			
Alta alúmina			
Magnesita			
Sílice			
Otros			
Chatarra de hierro			
Chatarra de acero			
Ferro aleaciones			
Chatarra de aluminio			
Aluminio aleaciones			
Chatarra de cobre			
Cupro aleaciones			
Arena de sílice			
Arena de cromita			
Arena de olivina			
Bentonita			
Silicato de sodio			
Resinas de moldeo			
Dextrina (Cereal)			
Carbonilla (Polvo de carbón)			
Pinturas refractarias			
Fundentes			
Exotérmicos			
Otros _____			

### MOLDEO Y CONTROL DE LAS ARENAS

13. Mencione las granulometrías de la arena utilizada para los moldes destinados a vaciar piezas en fundición de hierro: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
14. Mencione las granulometrías de la arena empleada para los moldes destinados a vaciar no ferrosos. ¿Cómo las elije? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
15. ¿Realiza controles rutinarios a las arenas de moldeo en “verde”?  
SI \_\_\_\_, NO \_\_\_\_;  
¿Cuáles?  
\_\_\_\_\_.
16. Mencione los procesos de moldeo utilizados. Para cada uno de ellos, indique de, manera abreviada, el procedimiento seguido: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
17. ¿Qué tipo de equipo y/o herramientas utiliza para el mezclado de las arenas en “verde”?  
\_\_\_\_\_.
18. Describa el procedimiento seguido en la preparación de las arenas de moldeo en “verde” nuevas. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
19. Describa el procedimiento seguido en la preparación de las arenas de moldeo en “verde” de recirculación. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
20. Mencione las resinas y/o agente aglutinante empleados en la fabricación de matachos. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
21. Mencione los equipos y/o herramientas utilizadas en la fabricación de matachos. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
22. Describa el procedimiento seguido para la preparación de las mezclas de arena para matachos. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

## FUSIÓN Y VACIADO

23. Porcentaje de rechazos del total vaciado en su Empresa: \_\_\_\_\_.
24. Enumere los tipos de defectos que generan rechazo a las piezas producidas en su empresa y las causas que las provocan.

Tipo de Defecto	Posibles Causas
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

25. ¿Realiza tratamientos térmicos a las piezas que funden?  
SI\_\_\_; NO\_\_\_.
26. Si su respuesta es afirmativa, mencione dichos tratamientos. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
27. ¿Calcula el sistema de solidificación de la pieza a vaciar (¿canales de alimentación, mazarotas, enfriadores?)?  
SI\_\_\_; NO\_\_\_.
28. Si su respuesta es afirmativa: mencione el procedimiento seguido. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
29. ¿Realiza controles a la sanidad externa e interna de la pieza fundida?  
SI\_\_\_; NO\_\_\_.
30. Si su respuesta es afirmativa: indique dichos controles. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

31. Mencione los tipos de hornos que utiliza para fundir sus aleaciones con la respectiva capacidad. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

32. Indique los tipos de cucharas empleados para repartir el metal a los moldes. \_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

33. ¿Desoxida o desgasifica el metal previo al vaciado?

SI \_\_\_\_; NO \_\_\_\_.

34. Si su respuesta es afirmativa, mencione cómo lo hace según el tipo de aleación.  
\_\_\_\_\_.

35. ¿Mide la temperatura antes de vaciar el metal?

SI \_\_\_\_; NO \_\_\_\_.

36. Si su respuesta es afirmativa, ¿Con qué tipo de instrumento lo hace? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

37. ¿Realiza análisis de composición antes y después del vaciado?

SI \_\_\_\_; NO \_\_\_\_.

38. Según el diseño del molde, ¿conoce Usted cuál es el rendimiento metalúrgico según el tipo de aleación?

SI \_\_\_\_; NO \_\_\_\_.

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

**Anexo B: Hoja de datos de seguridad de materiales MSDS nivel usuario**

<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES MSDS NIVEL USUARIO</b>			
<b>Identificación del producto</b>	<b>Datos del fabricante</b>	<b>HMIS</b>	
Carburo de Calcio - CaC <sub>2</sub>	-		
<b>Sinónimos</b>	Carburo, Acetilnógeno, Dicarburo de calcio, Acetiluro de calcio		
<b>Aplicación</b>	Desulfurante en cuchara de colada		
<b>Peligro físico</b>	<b>EPP (Equipo de Protección Personal)</b>		
Estable bajo condiciones normales. Evitar oxidantes fuertes, ácidos, agua o soluciones acuosas	Respiratoria	No requiere en áreas abiertas y con buena ventilación, caso contrario usar respirador de media cara con filtro P100 para polvo.	
	Visual	Lentes de seguridad	
	Manos	Guantes de nitrilo	
	Pies	Zapatos de seguridad con punta de acero	
	Trajes	Normal, evitar contacto con la piel	
<b>Efectos a la salud (toxicidad)</b>			
Por ingestión	Puede causar quemaduras, inflamación de la garganta, dolor abdominal, diarrea, vómito y dolores de cabeza		
Por inhalación	Puede causar irritación en el sistema respiratorio, quemaduras seria en la membrana de la mucosa		
En contacto con los ojos	Puede causar quemaduras, ulceración y opacado de la cornea		
En contacto con la piel	Puede causar ulceración, enrojecimiento y quemaduras		
<b>Primeros auxilios</b>			
Por ingestión	De tratamiento según los síntomas, acudir inmediatamente al médico		
Por inhalación	Trasladar a la víctima al aire fresco, administrar respiración artificial si es necesario, mantener a la víctima abrigada y en reposo. Acudir inmediatamente al médico.		
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua, durante al menos 15 min. Acudir inmediatamente al médico.		
Contacto con la piel	Lávese inmediatamente con agua y jabón, quítese la ropa contaminada. Acudir inmediatamente al médico.		
<b>Duchas de emergencia</b>	No	<b>Lavaojos</b>	Enjuáguese en una fuente con agua potable, por lo menos unos 15 min
<b>En caso de incendio</b>		<b>Almacenamiento</b>	
Polvo químico seco. Ahogar con arena seca, arcilla, o bicarbonato de sodio. NO USE AGUA		Almacenar, en área ventilada, dentro de recipiente cerrado, separado de sustancias combustibles y reductoras. EPP Almacén: EPP básico y guantes de nitrilo	

<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES MSDS NIVEL USUARIO</b>
<b>Medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental</b>
¡Cuidado! Este producto en contacto con la humedad libera gases inflamables. Elimine las fuentes de ignición. No toque el material derramado. No use agua en el material derramado o dentro del recipiente. Para pequeños derrames, con una pala, coloque el material en un recipiente seco y cúbralo. Retire los recipientes del área de derrame. En grandes derrames, contenga el material para descartarlo posteriormente. Cubre el material derramado con material plástico para disminuir la extensión del mismo. Aísle el área de riesgo y prohíba la entrada
<b>Consideraciones sobre la eliminación</b>
Disponer los desechos y envases como residuo peligroso
<b>Informaciones ecológicas</b>
No se espera ningún efecto ecológico cuando el material se encuentra seco. El carburo de calcio no contiene ningún material químico de clase I o II (destruidores de la capa de ozono). Evitar el contacto del producto con la humedad.

Fuente: GOLDFIELDS (2018)

