

# 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.

Guerrero Aslla, Rosalba, Universidad de Piura, [rosalba.guerrero@udep.pe](mailto:rosalba.guerrero@udep.pe)

Cardoza Cazeneuve, Yajaira Jackeline, Universidad de Piura,  
[yajaira.cardoza@posgrado.udep.edu.pe](mailto:yajaira.cardoza@posgrado.udep.edu.pe)

**Resumen**— En los últimos años, la región norte del Perú ha experimentado un desarrollo industrial muy importante que, sin embargo, no ha ido de la mano con el crecimiento del sector metalmecánico y de fundición, verificándose que la demanda de las piezas fundidas generada en el norte del país es cubierta por las empresas de la capital o del exterior.

Por otro lado, el desarrollo de los materiales metálicos y los procesos para darles valor agregado es una de las líneas prioritarias definidas en el Programa Nacional de Materiales propuesto por CONCYTEC en su afán de mejorar la industria manufacturera de aleaciones. En este marco, el presente proyecto busca impulsar el desarrollo de la producción de aleaciones férreas en el norte del Perú apuntando hacia la fabricación de fundiciones esferoidales de calidad estandarizada.

Se ha conseguido la participación de 10 talleres de las principales regiones del norte del Perú, desde Piura hasta La Libertad. Los resultados del trabajo han permitido hacer un diagnóstico del estado actual de este sector, identificando las fortalezas y debilidades del proceso hasta evaluar la calidad final del producto. Asimismo, se plantean procesos de mejora para elevar el nivel tecnológico del sector, además de un plan de capacitación a los fundidores, tratando de implantarles la cultura de cumplimiento de estándares de calidad.

**Palabras clave**— *fundición gris, calidad.*

## 1. Introducción

Las fundiciones grises son uno de los materiales más utilizados en la industria, debido a la relativa facilidad de su fabricación y a sus propiedades intrínsecas que les permiten, en algunas aplicaciones, competir con los aceros [1]. Estos materiales ocupan el segundo lugar en la producción mundial de materiales metálicos (después de los aceros) [2], y, son objeto de continuos estudios y desarrollo en muchas empresas, universidades y centros de investigación del mundo, debido a sus características metalúrgicas y la posibilidad de mejora de sus propiedades mediante la introducción de elementos de aleación, aplicación de tratamientos térmicos adecuados y el desarrollo de la fundición nodular [3], [4].

Dentro de la actividad manufacturera, el sector de fundición es uno de los más importantes debido a que los productos que genera son utilizados como insumos de primer orden en

*Impulso de la industria manufacturera de aleaciones férreas en el norte del Perú con aportes de investigadores peruanos y colombianos.*

múltiples industrias, lo cual impacta directamente en el movimiento económico de un país [5]. En el contexto del desarrollo industrial, la manufactura de fundiciones férreas, tiene un impacto particular, porque constituye uno de los eslabones de la cadena siderúrgica que mantiene la dinámica económica de un país como lo demuestran estudios sobre la incidencia de la producción de acero sobre el PBI, desarrollados en países de economía emergente [6], [7], [8].

Actualmente, en el Perú, la industria nacional ofrece menos del 50% de la producción de aleaciones metálicas que se consumen. En el caso del acero, únicamente, se fabrica aceros estructurales de aplicaciones generales. Más del 30% que se consume en el mercado nacional es importado [9].

El Programa Nacional Transversal de Ciencia y Tecnología de Materiales – Promat, tras realizar un análisis de la situación actual del Perú, afirma que el escaso desarrollo de investigación en Materiales afecta el desarrollo industrial nacional [10].

Por otra parte, en los últimos años, la región norte del Perú (ver Figura 1), ha experimentado un desarrollo industrial sin precedentes, en casi todos los rubros: minero, petrolero, agroindustrial, pesquero, servicios, turístico, etc., que va demandando también un mayor soporte a la necesidad de sustitución y/o reparación de piezas y partes de componentes. Sin embargo, las empresas de metalmecánica y las fundidoras no han experimentado el mismo desarrollo que otras industrias y se han quedado en los mismos niveles de años anteriores en los que la demanda sólo era de piezas de pequeña envergadura y en las que no se necesitaba mayores niveles de calidad. La imposibilidad de conseguir piezas de calidad estándar en los talleres del norte del país, lleva a que los industriales de otros rubros busquen la solución de sus problemas de materiales en la capital o fuera del Perú.

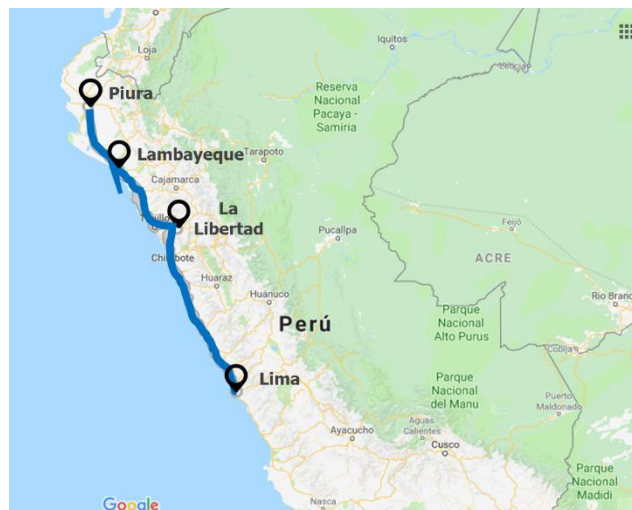


Figura 1. Ubicación de la región norte del Perú. Zona de estudio del proyecto.

Fuente: Elaboración propia en Google Maps.

En este marco, CONCYTEC está financiando 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, CON APORTES

DE INVESTIGADORES PERUANOS Y COLOMBIANOS” – (**CONVENIO Nro. 217-2015- FONDECYT-DE**), cuyo objetivo es impulsar a las micro y pequeñas empresas - MYPES de la fundición del norte del país, debido a que éstas son la base del tejido industrial del estado, en cuanto a su contribución al crecimiento económico del país. [11]

El equipo técnico conformado por investigadores de Universidad de Piura, cuenta, además, con la participación de profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín; así como, con una empresa de fundición de la ciudad de Sullana. A partir de la evaluación y diagnóstico de los procesos, infraestructura y nivel tecnológico empleado actualmente en talleres representativos de la región (Sullana, Piura, Chiclayo, Trujillo), se elaborará el diagnóstico del sector fundición del norte del Perú. Además, se hará la caracterización y clasificación de las materias primas y la evaluación de la calidad de los productos ofrecidos actualmente.

## **2. Materiales y Métodos**

El plan experimental de este proyecto está estructurado en 5 componentes, 4 de ellos, componentes tecnológicos y el quinto, relacionado con la gestión del mismo, como se muestra en la Tabla 1.

El primer componente se enfoca en el diagnóstico del estado tecnológico actual de los procesos de fundición empleados en el norte del Perú y de la calidad de las piezas obtenidas.

Para elaborar este diagnóstico, se evaluó todo el proceso de obtención de piezas de fundición gris, desde la adquisición de materia prima e insumos hasta la calidad del producto obtenido, pasando por la infraestructura y la gestión de las pequeñas empresas. Se consiguió la participación de 10 talleres, a los que se visitó frecuentemente para conocer sus procesos. Adicionalmente, se les pasó una encuesta de 38 preguntas sobre caracterización general, materias primas, insumos y calidad, moldeo y control de fusión y vaciado. Esta encuesta fue diseñada con apoyo de profesionales de la Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín.

Para evaluar la incidencia de la materia prima e insumos en la calidad de las piezas fundidas, se realizó la caracterización química de las chatarras y del carbono usado como combustible. Asimismo, se evaluaron las propiedades de arenas provenientes de las canteras más usadas por los fundidores. La caracterización y evaluación de la calidad de las piezas fundidas, se realizó sobre 30 muestras obtenidas de los talleres, mediante la determinación de la composición química, análisis metalográfico, análisis macrográfico para evaluación de defectos y ensayos mecánicos para determinar la Clase o Grado ASTM de las muestras.

Tabla 1. Componentes del plan experimental del proyecto.

<b>Componentes</b>	<b>Actividades</b>
<b>Componente 1: Diagnóstico del estado tecnológico actual de los procesos de fundición empleados en el norte del Perú y de la calidad de las piezas obtenidas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visita a los talleres de fundición para conocer el modo cómo realizan las etapas de su proceso de fundición y conocer los problemas tecnológicos que presentan.</li> <li>- Toma de muestras de piezas fundidas y de la materia prima para caracterización del material: análisis químico (C, S y otros elementos), análisis metalográfico (cualitativo y cuantitativo), determinación de propiedades mecánicas.</li> <li>- Caracterización de las arenas de moldeo y verificación del proceso de moldeo.</li> <li>- Verificación del proceso de fusión y vaciado de metal</li> </ul>
<b>Componente 2: Identificación de procesos de mejora en la fundición y calidad de piezas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño de procesos para mejorar: Manejo de arenas y procesos de moldeo.</li> <li>- El aprovisionamiento de materias primas e insumos para fundición.</li> <li>- Control de parámetros de operación de hornos y vaciado del metal.</li> <li>- Uso adecuado de insumos y aditivos.</li> <li>- Aplicación de control de calidad a las piezas obtenidas.</li> <li>- Costos de producción</li> </ul>
<b>Componente 3: Transferencia tecnológica.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edición y publicación del Informe de diagnóstico de la actividad manufacturera de fundiciones en el norte del Perú, a manera de libro.</li> <li>- Edición y publicación de un manual de buenas prácticas para fundidores.</li> <li>- Dictado de taller de capacitación a fundidores de la región.</li> </ul>
<b>Componente 4: Diseño y elaboración de planos de planta piloto para fundiciones, a nivel de ingeniería básica.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición de los requerimientos técnicos para propuesta de diseño de planta piloto para fundiciones esferoidales.</li> <li>- Diseño y elaboración de planos de la planta piloto a nivel de ingeniería básica.</li> </ul>
<b>Componente 5: Gestión y cierre del proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración y presentación de tesis.</li> <li>- Elaboración y presentación de ponencias.</li> <li>- Publicación de artículos en revistas especializadas.</li> <li>- Elaboración de informe técnico y financiero.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se resume la caracterización de los insumos, materia prima y piezas de fundición, así como los hornos de cubilote del norte del Perú.

Tabla 2. Caracterización de insumos, piezas y equipos del norte del Perú.

<b>CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA E INSUMOS</b>			
	<b>Objetivo</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Método/Norma empleada</b>
<b>CHATARRAS</b>	Determinación de la composición química y calidad metalúrgica de 11 piezas de chatarra más comunes del norte.	Análisis de carbono y azufre	Método de combustión – equipo LECO CS – 400.
		Caracterización microestructural	ASTM E03: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
			ASTM A247: Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.
	Determinación de las propiedades mecánicas.	Caracterización mecánica (dureza)	ASTM E07: Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
<b>ARENAS</b>	Determinación de las características y propiedades de 11 muestras de arenas empleadas en el moldeo.	Ensayo de humedad	Ensayos estándar descritos en el Manual de arenas de la American Foundrymen's Society – AFS.
		Ensayo de determinación de arcilla y sílice	
		Índice de finura	
		Ensayo de permeabilidad	Ensayo no estándar, descrito en el Manual de la American Foundrymen's Society - AFS.
		Ensayo de compresión y deformabilidad	
		Ensayo de corte	
<b>COMBUSTIBLES</b>	Caracterización de 02 muestras de combustible.	Análisis de carbono y azufre	Contraste de las características obtenidas con las propiedades del coque, en base a la norma ASTM D388.
		Humedad total	
		Cenizas	
		Materia volátil	
		Carbono fijo	
		Azufre	
		Poder calorífico	
<b>CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA FUNDICIÓN: HORNO DE CUBILOTE</b>			
	Evaluación de las zonas e instrumentos de control del horno	Diseño, operación y control del cubilote	Visitas técnicas a los talleres de fundición.

<b>CARACTERIZACIÓN DE 26 MUESTRAS DE FUNDICIÓN GRIS ENTREGADAS POR LOS TALLERES DEL NORTE</b>			
<b>MUESTRAS DE FUNDICIÓN GRIS LAMINAR</b>	Determinación de la composición química	Caracterización química	Método de combustión – equipo LECO CS – 400.
	Determinación de la calidad metalúrgica de las muestras: matriz, tamaño, tipo y distribución de grafito y presencia de defectos microscópicos, comparándola con las normas UNE 36117.	Caracterización metalográfica	Análisis microscópico a partir de la Norma UNE 36117.
	Determinación de la resistencia mecánica.	Caracterización mecánica	Ensayos de tracción y dureza, siguiendo la norma ASTM A48.
	Inspección y determinación de los defectos macroscópicos encontrados en las muestras.	Caracterización macrográfica	Inspección visual y comparación con el Atlas Internacional de defectos de fundición.

Fuente: Elaboración propia.

### **3. Resultados y Discusión**

Hasta la fecha, en el proyecto se ha concluido con el diagnóstico del sector fundición. Se han identificado los problemas prioritarios de cada una de las etapas del proceso de fundición, y se han diseñado propuestas de mejora para los micro y pequeños fundidores del norte del Perú. Además, se está editando un Manual de buenas prácticas para pequeños talleres de fundición.

Estos resultados se detallan a continuación:

#### **3.1 Diagnóstico del estado tecnológico actual de los procesos de fundición empleados y de la calidad metalúrgica de las piezas obtenidas en el norte del Perú.**

Se han identificado una serie de problemas tecnológicos, así como de gestión que afectan a la industria de la fundición de la zona norte del país que, una vez identificados se pueden convertir en oportunidades de desarrollo para la región.

En la Tabla 3 se resumen los puntos críticos identificados en los procesos, equipos, calidad de sus productos y gestión de las empresas.

Tabla 3. Puntos críticos identificados en el sector fundición del norte.

	<b>Puntos críticos identificados</b>	<b>Impacto en la calidad</b>
<b>Etapa de moldeo</b>	Inadecuada preparación de las arenas de moldeo, uso de arenas vírgenes desconociendo sus propiedades y características, preparación empírica de los sistemas de alimentación y distribución.	Incidencia de defectos macroscópicos en las piezas, que disminuyen la calidad de las mismas y generan rechazo por parte de los clientes.
<b>Etapa de fusión y colada</b>	Deficiente selección de la chatarra empleada, uso de carbón de baja calidad como combustible e inadecuado cálculo de la proporción de carga que ingresa al horno.	Desconocimiento de la calidad metalúrgica del caldo que impide su ajuste y control para obtener piezas sanas, lo que repercute en la incidencia de defectos microscópicos y, por ende, baja calidad de las piezas.
	Falta de control de temperatura del horno.	Disminución de la colabilidad del caldo cuando la temperatura es muy baja y oxidación de la escoria, a temperaturas muy altas.
<b>EQUIPOS</b>		
<b>Diseño de los cubilotes</b>	Deficiencia en los parámetros básicos del cubilote: altura, sistema de ventilación (toberas, tuberías, caja de viento) y refractarios. Los cubilotes del norte no presentan orificio de escoriado.	Alturas inferiores a las recomendadas causan deficiencia en el precalentamiento de la carga metálica. En cuanto al sistema de ventilación, se sabe que, su diseño inadecuado no permite la llegada de aire necesario para la combustión. Esto genera disminución de la capacidad de producción del cubilote y en las piezas, la presencia de escoria en el caldo de colada, incide en defectos (inclusiones de escoria, sedimento o fundente). Por su parte, el uso de refractario inadecuado aumenta los costos de mantenimiento del horno.
<b>CALIDAD</b>		
<b>Calidad de las piezas</b>	Piezas fundidas no estandarizadas y de resistencia moderada, presencia de defectos y falta de repetitividad	Genera rechazo por parte de los clientes, disminuyendo su mercado. Producción mayoritariamente “empírica”, de prueba y error, no estandarizada.
<b>GESTIÓN DE LAS EMPRESAS</b>		
<b>Gestión de las empresas.</b>	Desconocimiento de la estructura de costos de la empresa, informalidad en el sistema de compra y venta, falta de cultura de prevención de accidentes debido a la distribución inadecuada del área de trabajo.  Falta de capacitación de obreros, profesionales y supervisores de la empresa.	La ineficiente gestión de sus empresas impide su crecimiento. Esto impide que puedan invertir en insumos y materias de mejor calidad, equipos y tecnologías que mejoren su producción.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Propuestas de mejora para el sector fundición del norte del Perú.

A partir de los puntos críticos, se han diseñado las propuestas de mejora tecnológica en las diversas etapas del proceso de producción, llevados a cabo en los talleres de fundición del norte del Perú.

#### a. Etapa de moldeo.

En la Tabla 4, se resumen las propuestas de mejora de esta etapa, a partir de la identificación de puntos críticos y problemas encontrados en el diagnóstico del sector.

**Tabla 4.** Puntos críticos y problemas prioritarios de la etapa de moldeo del norte.

<b>Punto crítico</b>	<b>Problemas prioritarios</b>	<b>Propuestas de mejora</b>
<i>Inadecuado manejo y control de las arenas</i>	Selección y dosificación de arenas. Exceso de reutilización	Capacitar a los fundidores en la elaboración y uso de arenas de moldeo; así como, en ensayos de caracterización de arena básicos (porcentaje de arcilla en arenas, índice de finura (IF) a la arena silíceas).
		Utilizar arenas beneficiadas o sintéticas (mezcla de arena silíceas y arcilla –bentonita y agua).
		Controlar la reutilización de las arenas de moldeo. Ésta debe usarse sólo como relleno, previamente caracterizada y beneficiada.
		Tener en cuenta las formulaciones propuestas para la preparación de la mezcla y cantidad de agua adecuada.
<i>Uso de cajas de moldeo de características no adecuadas</i>	Las cajas se fabrican de acuerdo a criterio del moldeador, sin considerar los sistemas de alimentación.	Capacitación en técnicas para el diseño de sistemas de alimentación (mazarotas) y distribución (bebedero, respiradero y canales de colada, canales de ataque, etc.), así como, en las técnicas de fabricación y uso de cajas, modelos y moldes.

Fuente: Elaboración propia.

#### b. Etapa de fusión y colada.

En la Tabla 5, se resumen las propuestas de mejora de esta etapa, a partir de los problemas encontrados en el diagnóstico del sector.

**Tabla 5.** Puntos críticos y problemas prioritarios de la etapa de fusión y colada del norte.

<b>Punto crítico</b>	<b>Problemas prioritarios</b>	<b>Propuestas de mejora</b>
<i>Diseño del horno de cubilote</i>	El diseño empírico de los hornos de cubilote no considera los mínimos parámetros que garanticen la eficiencia y rendimiento adecuados del horno.	Mejorar la estructura de sus cubilotes. Implementar chimenea atrapa gases.
<i>Operación y mantenimiento del cubilote no adecuados.</i>	No se utilizan EPP's para manipular el horno y los productos obtenidos. No se realiza mantenimiento a la zona interna del cubilote, a	Capacitación en cuanto al mantenimiento del horno: contar con un plan de mantenimiento en el que se incluyan mejores materiales para el revestimiento del horno (uso



*Impulso de la industria manufacturera de aleaciones férreas en el norte del Perú con aportes de investigadores peruanos y colombianos.*

	menos que, esté completamente desgastada.	de recubrimientos básicos, por ejemplo).
		Concientizar sobre los potenciales riesgos de manipulación y operación del horno y metal fundido.
<i>Proporción de carga que ingresa al horno</i>	No se hace diseño de carga que ingresa al horno.	Hacer el cálculo de cargas (sobre la base de 100Kg) en función de la calidad o norma que se desea.
<i>Falta de control sobre tratamiento, composición y temperatura del caldo.</i>	Defectos por falta de control de temperatura del caldo (baja temperatura produce juntas frías, alta temperatura poros y rechupes) y desulfuración.	Capacitación sobre medición de temperatura del caldo a partir de métodos empíricos o con equipos de medición (pirómetros de inmersión, termocuplas, etc.) y otras técnicas, como: aumentar la cama de combustible si se necesita mayor temperatura.
<i>Escasa calidad metalúrgica del caldo de colada.</i>	La composición química del caldo de colada no es la adecuada. Se encuentra exceso de azufre en las piezas, lo que disminuye la resistencia mecánica de las mismas.	Emplear ferroaleaciones para ajustar la composición química del caldo de colada.

Fuente: Elaboración propia.

**c. Calidad de piezas de fundición gris laminar.**

En la Tabla 6 se muestra el resumen de los puntos críticos y las acciones recomendables para mejorar la calidad de los productos.

**Tabla 6.** Puntos críticos y problemas prioritarios de la calidad de piezas y de la materia prima metálica e insumos del norte del Perú.

<b>Punto crítico</b>	<b>Problemas prioritarios</b>	<b>Propuestas de mejora</b>
<b>PIEZAS DE FUNDICIÓN</b>		
<i>Falta de aplicación de normas técnicas</i>	Ninguna de las piezas fundidas caracterizadas es estándar según la ASTM A48. En algunos casos, por tracción sólo para piezas de resistencia moderada (clase 30). No hay repetibilidad entre una y otra colada.	Capacitar al gerente y personal en general sobre la importancia del cumplimiento de los estándares de calidad y verificación de la composición química.
		Aprender sobre la aplicación de pruebas normalizadas y técnicas empíricas para hacer control de calidad química, mecánica y metalúrgica. Controlar el contenido de azufre de la aleación.

<i>Alta incidencia de defectos.</i>	Defectos a nivel macro y microscópicos, micro-segregaciones y tendencia al blanqueo.	Capacitar técnicamente al personal sobre los aspectos involucrados en la incidencia de defectos. Contar con un manual de buenas prácticas y normas traducidas para que sirvan de guía en su proceso de fundición.
<b>MATERIA PRIMA METÁLICA E INSUMOS</b>		
<i>Falta de catalogación de chatarras en el norte del Perú</i>	Desconocimiento sobre el tipo de materia prima metálica que ingresa al cubilote de acuerdo a su composición química.	Elaborar un catálogo de materia prima metálica representativa en el norte.
<i>Selección de chatarra empleada</i>	La chatarra es seleccionada empíricamente	Capacitación en cuanto a la selección de materia prima utilizando el catálogo de chatarra representativa del norte.
		Tener siempre retornos del mismo material que se va a fundir con el fin de obtener una composición química pura, en la medida de lo posible.
<i>Adquisición de carbón como combustible</i>	Exceso de azufre en carbón.	Emplear antracita con menor contenido de azufre.

Fuente: Elaboración propia.

#### **d. Gestión de la empresa.**

Los talleres visitados muestran características similares en cuanto al personal, instalaciones, distribución de áreas de trabajo y la seguridad industrial, asimismo, todas las dificultades que presentan las micro y pequeñas empresas, tales como:

- Baja productividad, debido a la correlación positiva entre tamaño de la empresa y productividad.
- Bajo volumen de ventas, el cual, de acuerdo a SUNAT, también sigue una correlación positiva respecto al tamaño de las empresas.
- Escasa inserción en el mercado externo.
- Empleo de baja calidad.
- Mala utilización de la tecnología y débil gestión empresarial.

Las recomendaciones están dirigidas, principalmente, a la concientización a través de la capacitación de los gerentes y trabajadores de las empresas.

Por lo general, los fundidores del norte del Perú desconocen cómo estructurar sus costos y los gerentes no determinan la rentabilidad de su negocio. Además, el temor a la formalización les impide insertarse en el sistema financiero, por lo que no pueden acceder a créditos para invertir en mejoras para sus talleres.

La falta de cultura de prevención en los talleres es un peligro para la salud de los trabajadores, quienes no emplean equipos de protección personal para el desarrollo de las actividades.

Es imprescindible capacitar a los dueños de los talleres en cuanto a temas de gestión empresarial y a los operarios, en general, en la importancia del uso de equipos de protección personal, así como, en el modo de realizar el proceso de fundición y su incidencia en la calidad de las piezas obtenidas.

### **3.3 Diseño de cursos de capacitación para los micro, pequeño y medianos empresarios del sector fundición.**

Uno de los principales problemas encontrados ha sido la falta de capacitación en muchos de los procesos, por ello se ha elaborado un Programa de Capacitación, estructurado en seis componentes diseñados a manera de módulos independientes, de tal forma que se facilite el dictado de los contenidos como cursos independientes.

Los componentes del curso general se han establecido a partir de los puntos críticos y problemas prioritarios de las etapas del proceso de fundición, identificados en el diagnóstico del sector.

El primer componente se refiere al manejo de arenas de fundición y moldeo y consta de tres cursos con los temas: preparación de arenas de moldeo, moldeo (incluyendo la preparación de las cajas de moldeo) y diseño de sistemas de alimentación y distribución.

El segundo componente se enfoca en el proceso de fusión y colada en horno de cubilote y se tratan temas relacionados al precalentamiento del horno, materia prima, insumos utilizados, diseño y cálculo de cagas y proceso de fusión, en general; así como, la adición de ferroaleaciones en la cuchara, cálculo de las mismas, uso de equipos para medir la temperatura, desulfuración, etc.

El tercer componente, trata los aspectos básicos sobre metalurgia física de fundiciones grises que el fundidor debe conocer.

El cuarto componente, se centra en el control de calidad, y consta de tres cursos, referidos a: la evaluación de la calidad microestructural, control de calidad de las propiedades mecánicas y defectología de piezas de fundición.

El quinto componente explica la obtención de fundiciones de calidad mejorada, mediante la aplicación de tratamientos térmicos para mejora de las propiedades de las fundiciones y Producción de fundición nodular.

El sexto componente, se enfoca en la gestión de la micro y pequeña empresa de fundición.

### **3.4 Planta piloto para obtención de fundiciones esferoidales.**

Se plantea el diseño de una planta piloto para obtención de piezas de fundición esferoidal y aleaciones metálicas, en general; así como, de un laboratorio de análisis que brinde soporte técnico que los pequeños fundidores necesitan.

## **4. Conclusiones y recomendaciones.**

- En los últimos años, la región norte del Perú ha experimentado un desarrollo industrial muy importante que, sin embargo, no ha ido de la mano con el crecimiento del sector metalmeccánico y de fundición, soportado sólo en la actividad de micro y pequeñas empresas fundidoras. La producción de fundiciones que cumplan estándares de calidad, requiere de ciertas condiciones

que son difíciles de alcanzar en las pequeñas empresas, debido a su deficiente infraestructura y falta de conocimiento técnico, generando que la demanda de las piezas fundidas del norte del país sea cubierta, mayoritariamente, por las empresas de la capital o del exterior.

- La mejora de la calidad y desarrollo de esta actividad en el norte del Perú, no se basa sólo en la obtención de equipos y tecnologías modernas, sino también, en una adecuada capacitación técnica que permita a los fundidores obtener piezas de calidad estándar competitivas con las de la capital. Junto con el acompañamiento tecnológico, es necesario mejorar su capacidad de gestión para que puedan aprovechar mejor todas las posibilidades de crecimiento que les brinda el entorno y los propios programas de ayuda a las pequeñas y micro empresas que ha implementado el gobierno desde hace años.
- Aunque pudiera contarse con empresas de mayor envergadura, es importante, fortalecer a las pequeñas y medianas empresas que aún, con sus dificultades han enfrentado el reto de dedicarse a esta actividad y atender parte de la demanda de piezas de fundición gris requeridas por las industrias del norte del país. En este sentido, es recomendable favorecer la asociatividad y/o agremiación de los talleres de toda la región, esto facilitaría la canalización de ayuda para los talleres y que los programas que los benefician tengan mayor cobertura.
- El desarrollo de esta actividad en el norte del país, necesita el apoyo y respaldo técnico de instituciones especializadas que impartan la capacitación técnica requerida a las personas dedicadas a esta actividad industrial y que permita su mejora continua.

## **5. Referencias.**

[1] Basso, A. M. Caldera, Rivera, G. Sikora, J (2012). *High silicon ductile iron: possible uses in the production of parts with “dual phase ADI” microstructure*. ISIJ International 52(6), pp. 1130 – 1134.

[2] ASM International (1992). *Castings*. Handbook

[3] Lacaze, J, Larranaga, P. Asenjo, I, Suarez, R. Sertucha, J (2012). *Influence of 1 wt-% addition of Ni on structural and mechanical properties of ferritic ductile irons*. Material Science and Technology 30(12). pp. 1425- 1431

[4] Ojo, S. Riposan, I (2012). *Alloy selection for in mould inoculation to control chill width in ductile iron*. Materials Science and Technology 28(5), pp. 576 – 581.

[5] ODES (2005). *Diagnóstico Integral del Sector fundición en el departamento del Atlántico*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico, pp. 8 – 12.

[6] Dobrota, G. Caruntu, C (2013). *The analysis of the correlation between the economic growth and crude steel production in the period 1991-2011*. Metalurgija 52 (3), pp. 425 – 428.

[7] Ghosh, S. (2006). *Steel consumption and economic growth: Evidence from India*.

Resources Policy 31(1), pp. 7 – 11.

[8] Kwang – Sook Huh. *Steel consumption and economic growth in Korea: Long-term and short-term evidence*. Resources Policy 36(2), pp, 107 – 113.

[9] Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC (2016). *Programa Nacional Transversal de Ciencia y Tecnología de Materiales 2016 – 2021*. Pp. 7 – 33.

[10] SCImago, (nd). SJR – SCImago Journal & Country Rank [Portal]. Visto en <http://www.scimagojr.com>, el día: 11 de junio del 2018.

[11] Ibarra Cisneros, M. González Torres, L. Demuner Flores, M. *Competitividad empresarial de las pequeñas y medianas empresas manufactureras de Baja California*. Estudios Fronterizos 18(35).