



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Escuela de Posgrado**

**Fundición acerada y nodular con residuos sólidos de acero - Metales Bernuy**  
**Lima 2022**

**Tesis**

**Para optar el Grado Académico de Maestro en Ecología y Gestión Ambiental**

**Autor**

**Ricardo Bernuy Casahuamán**

**Asesora**

**Dra. Jaqueline Victoria Aroni Mejía**

**Huacho – Perú**

**2024**



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



# UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

## LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Escuela de Posgrado

Maestría en Ecología y Gestión Ambiental

### METADATOS

<b>DATOS DEL AUTOR:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>
Ricardo Bernuy Casahuamán	08578021	21 de marzo de 2024
<b>DATOS DEL ASESOR:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
Jaqueline Victoria Aroni Mejía	15592693	0000-0002-6806-9552
<b>DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – POSGRADO-MAESTRÍA</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CODIGO ORCID</b>
José Vicente Nunja García	15447556	0000-0002-9633-8190
Algemiroy Julio Muñoz Vilela	15736557	0000-0001-7981-8531
Robert William Ocospoma Dueñas	15728953	0000-0002-8312-6359

# FUNDICIÓN ACERADA Y NODULAR CON RESIDUOS SÓLIDOS DE ACERO –METALES BERNUY LIMA 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unjfsc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>alfapublicaciones.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>patents.google.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Estefania Gonzalez Carbonell. "Advanced model of calculation of capital for operational risk: top-down approach", Anales del Instituto de Actuarios Españoles, 2020</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>

## **Dedicatoria**

A mis adorados padres Romualdo y Petronas  
quiénes habitaron este planeta, felices al lado de sus  
diez hijos.

*Ricardo Bernuy Casahuaman*

## **Agradecimiento**

La culminación de la maestría me sirvió de mucho para ser ordenado en mis creaciones sobre todo porque he tenido excelentes profesores de quienes he aprendido mucho; a todos sin excepción los tengo presente.

Mi mayor agradecimiento a la doctora Jaqueline Victoria Aroni Mejía, por su participación desinteresada en la elaboración de la presente tesis.

*Ricardo Bernuy Casahuaman*

# Índice

	Pág.
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento.....	6
Índice .....	7
Índice de Figuras.....	9
Índice de Tablas.....	10
Índice de Anexos .....	11
Resumen .....	12
Abstract.....	13
Introducción .....	14
Capítulo I. Planteamiento del Problema.....	18
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	18
1.2 Formulación del problema .....	21
1.2.1 Problema general .....	21
1.2.2 Problemas específicos.....	21
1.3 Objetivos de la investigación.....	22
1.3.1 Objetivo general .....	22
1.3.2 Objetivos específicos .....	22
1.4 Justificación de la investigación .....	22
1.5 Delimitación del estudio.....	23
Capítulo II. Marco Teórico .....	25
2.1 Antecedentes de la investigación .....	25
2.1.1 Investigaciones internacionales.....	27
2.1.2 Investigaciones nacionales .....	28
2.2 Bases teóricas.....	28
2.3 Bases filosóficas.....	31
2.4 Definición de términos básicos.....	33
2.5 Hipótesis de investigación .....	35
2.5.1 Hipótesis general .....	35
2.5.2 Hipótesis específicas.....	35
2.6 Operacionalización de las variables.....	35

Capítulo III. Metodología .....	36
3.1 Diseño metodológico .....	36
3.2 Población y muestra.....	38
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	38
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información .....	44
Capítulo IV. Resultados .....	46
4.1 Análisis de resultados .....	46
4.2 Contrastación de hipótesis .....	89
Capítulo V. Discusión .....	90
5.1 Discusión de resultados .....	90
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones .....	92
6.1 Conclusiones .....	92
6.2 Recomendaciones.....	94
Capítulo VII. Referencias.....	96
7.1 Fuentes documentales .....	96
7.2 Fuentes bibliográficas .....	96
7.3 Fuentes hemerográficas .....	96
7.4 Fuentes electrónicas.....	97
ANEXOS .....	98



## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la Empresa Metales Bernuy .....	23
Figura 2. Diseño no experimental transversal descriptivo .....	37
Figura 3. Horno de crisol .....	40
Figura 4. Diagrama MPD .....	47
Figura 5. Vista metalográfica de aleaciones hierro carbono .....	53
Figura 6. Callana horizontal .....	57
Figura 7. Reactor para producir hierro nodular .....	57
Figura 8. Otra vista del reactor para producir hierro nodular .....	58
Figura 9. Parte interna del reactor .....	81
Figura 10. Primera etapa de prueba del reactor .....	82
Figura 11. Encendido del reactor .....	83
Figura 12. Inicio del calentamiento del reactor .....	84
Figura 13. Calentamiento del reactor .....	86
Figura 14. Carga de hierro fundido al horno .....	87
Figura 15. Caja de Mg lista para cargarlo con función acerada .....	88
Figura 16. Unión del Fo. Fo. Con mg para producir hierro nodular .....	89

## Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables .....	35

## Índice de Anexos

Pág.

## Resumen

**Objetivo:** Realizar el análisis de la fundición acerada y nodular en la empresa Metales Bernuy. **Materiales y métodos:** estudio observacional, retrospectivo, transversal, descriptivo y aplicado; con un diseño no experimental transversal descriptivo; evaluándose los análisis químicos, metalográfico y resistencia a la tracción en las pruebas experimentales que dispone la empresa en la obtención de hierro nodular. **Resultados:** Se estudió la obtención de hierro fundido al 3,1 % de carbono a partir de residuos de acero al 0,1 % de carbono, así como la obtención de hierro nodular a partir de hierro fundido al 3,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy. **Conclusiones:** Se delineó un procedimiento para obtener hierro fundido al 3,1 % de carbono a partir de residuos de acero al 0,1 % de carbono, delineándose también de un procedimiento de obtención de hierro nodular a partir de hierro fundido al 3,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy.

**Palabras clave:** Fundición acerada, nodular, residuos sólidos de acero.

## Abstract

**Objective:** Carry out the analysis of steel casting and nodular cast iron in the company Metales Bernuy. **Materials and methods:** observational, retrospective, cross-sectional, descriptive and applied study; with a descriptive cross-sectional non-experimental design; evaluating the chemical, metallographic and tensile strength analyzes in the experimental tests available to the company in obtaining nodular iron. **Results:** Obtaining cast iron at 3.1% carbon from steel waste at 0.1% carbon was studied, as well as obtaining nodular iron from cast iron at 3.1% carbon in the company Metals Bernuy. **Conclusions:** A procedure was outlined to obtain cast iron at 3.1% carbon from steel waste at 0.1% carbon, also delineating a procedure for obtaining nodular iron from cast iron at 3.1 % of carbon in the company Metales Bernuy.

**Keywords:** Steel casting, nodular cast iron, solid steel waste.

## Introducción

En mi vida profesional ejercí la investigación, pero una investigación que terminaba en una invención por eso es que he creado muchas curiosidades porque me agradaban hacerlo o porque eran ha pedido. Esto significa que fui un investigador práctico tan igual como todo los pequeños o grandes inventores. Como toda persona pensante he pasado mi mente por la física cuántica desde las partículas elementales hasta la cosmología y eso me ha servido para crear mis propias teorías.

Por lo que se pone a disposición los pormenores de las invenciones realizadas en la Empresa Metales Bernuy, como un estudio retrospectivo, que servirá de motivación a los futuros profesionales del sector en el país.

La fundición acerada y la fundición nodular 10 BCC son unas de las tantas teorías que he realizado y las escogí porque se encuentran en el campo metalúrgico; y estoy seguro de que será de utilidad para mis alumnos exalumnos; y personas en general que se dedican a la fundición

En el Perú las fundiciones trabajaban con hornos rotativos y hornos de cubilote; los hornos rotativos trabajaban con arrabio y al desaparecer esta aleación del mercado dejaron sin trabajo a las fundiciones que utilizaban ese producto. En cambio los hornos de cubilote que obtenían entre 14 a 18 kg/mm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción habían incrementado su producción. Los hornos de cubilote obtenían esa resistencia porque trabajaban con chatarra de fierro fundido que se encuentra contaminado con azufre y fósforo elementos que producen rajaduras en las piezas.

Las fundiciones que trabajaban con material de SIDERPERU tenían dos opciones una era cerrar sus puertas y otra opción era reemplazar los hornos rotativos por hornos de

cubilote, pero había otra forma de solucionar el problema ¿Cuál? me dijeron ¡inventar!, todos pensaron que era una broma. Yo sabía o creía que lo podía hacer por que conocía lo más íntimo del alto horno, claro que el alto horno es un sistema que reduce al mineral en su primera etapa y funde y carburaba en una segunda etapa; esa era la parte que se parecía al horno de cubilote y que me podía ayudar en mi diseño. Ese conocimiento era muy pobre tenía que haber algo más fuerte, tenía que hacer pruebas físicas porque tenía que entregarle carbono al acero y tenía que ingresar de alguna manera. El acero tiene casi cero de carbono y lo que buscaba era un hierro fundido de 3,1 % de carbono. Quise asegurarme si el acero asimilaba carbono; para eso construí un horno de crisol donde llené el crisol con carbón molido y coloqué una varilla de acero de igual composición química del material que pretendía utilizar al entrar en producción. Esta muestra como es acero ante el golpe se dobla pero el hierro fundido ante el golpe se parte ; luego le di fuego hasta lograr 1 500 °C durante 45 minutos que es el tiempo que demora el material al pasar por el horno de cubilote, después de la prueba lo deje enfriar y le coloqué entre dos puntas y le di un golpe y se partió, esto quería decir que el acero si asimilaba carbono pero no sabía cuánto carbono asimilaba, pero como estuvimos muy apurados por fundir dije si no sale la composición que deseo lo vuelvo al horno y en una segunda pasada estaba seguro que conseguiría el carbono deseado.

Por todo lo que había visto leído y pensado me decidí empezar el trabajo. Traté claramente con la gerencia de lo que se iba a invertir y me aceptaron, empezamos la construcción del horno de cubilote con modificaciones, lo que más me interesaba era la temperatura por eso al diámetro del horno que era de 50 cm, en el extremo superior de la carga al que le llamamos tragante de 50 cm lo reduje a 40 cm de diámetro así crearía mayor presión en el horno y se elevaría la temperatura. Al otro extremo del horno me refiero al crisol le puse una altura de 1 m que a las finales creo yo, no me sirvió porque por esa parte no incrementaba carbono.

Para fundir hice un pedido de 10 toneladas de acero me trajeron el acero, pero en bolas de molino. Cuando empezamos a fundir el metal fluía muy bien, eso es lo que me alegró a primera vista; pero cuando hicimos la prueba de la cuña la fractura salía blanca; hicimos cinco picadas y en cada una de ellas iba incrementando silicio pero seguía blanca, así que mandé a bajar el horno y de inmediato mande las muestras para que se hiciera un análisis químico y los resultados nos alegró la vida me parecía que me encontraba levitando porque el carbono que era lo que más buscaba arrojaba 3,1% y lo que molestaba y volvía blanca a la pieza era el cromo que tenía 0,5% y esa era culpa nuestra porque toda bola de molino tiene cromo porque las bolas deben ser duras y eso lo sabíamos muy bien pero yo no me encontraba sereno porque pensaba tantas cosas una de ellas era si la temperatura no daba y se solidificaba el metal dentro del horno. Solo cuando salió el hierro fundido me alegró e iba bajando mi tensión, también me mantuvo incómodo el motivo por el cual la muestra salía blanco, no estuve sereno porque pensaba tantas cosas una de ellas era si la temperatura no daba y si se solidificaba el metal dentro del horno. Solo cuando salió el hierro fundido me alegró e iba bajando mi tensión, también me mantuvo incómodo el motivo por el cual la muestra salía blanco, no estuve tranquilo hasta que vi los análisis donde el carbono nos daba 3,1% Se mandó a moldear todo lo que se podía y salió fierro fundido aparentemente de buena calidad. Al desmoldar un tambor de freno salió con caída de tierra y para los tambores fallados se tenía una prensa donde partíamos los tamborea. Cuando pusimos el tambor malo de la última colada la prensa no lo podía romper regresaba al pistón de la prensa.

Nosotros éramos conscientes de haber obtenido otro tipo de fundición al que le puse por nombre fundición acerada porque su origen era el acero. Para estar seguro de su resistencia lo llevamos a la UNI a realizarle unas pruebas de resistencia a la tracción y nos dimos con la sorpresa que tenía 38 kg/mm<sup>2</sup>. Según la teoría la máxima resistencia a la tracción que puede tener un fierro fundido sin alear es de 40 kg/mm<sup>2</sup> nosotros estuvimos



cerca a lo máximo y muy lejos del que se creía el mejor. Lo que pienso serenamente es que fundición acerada es el hierro fundido más fuerte del mundo.

Nosotros solo hicimos un trabajo práctico y no me sentí bien hasta que desarrollé la parte teórica. Ahora decimos que para hacer fierro nodular se tiene que:

- Tener fundición acerada porque esta fundición tiene solo 0.04% de fósforo.
- Tiene que tomar en cuenta que el magnesio desoxida desulfura y se queda en el metal entre 0,04 a 0,1 de magnesio.
- El hierro fundido tiene que tener como máximo 0,05 % de fósforo.

Actualmente se rebaja el magnesio para eso en un horno de crisol se calienta el fierro silicio solamente se lleva a la zona pastosa y ahí se agrega magnesio de 5 a 10 % de ferro silicio, por seguridad les digo que no es explosivo nosotros lo hemos producido. La fundición acerada es la ideal para fabricar fundición nodular, yo digo tanto nos ha podido regalar Dios.

Nos dio fundición acerada ideal para producir fundición nodular Nos regaló un principio: que el acero en contacto con el carbono a los 1 500 °C absorbe 3,1 % de C. que sirve para fabricar fierro fundido de 38 kg/mm<sup>2</sup> el más fuerte del mundo.

# Capítulo I

## Planteamiento del Problema

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

Ambientalmente lo que pasa en nuestro planeta es de preocupación, a tal punto que las Naciones Unidas afirmó que estamos muy cerca de sobrepasar la resiliencia del planeta, y que es necesario su cuidado y preservación para generaciones futuras (Naciones Unidas, 2021).

La industrialización que avanza en la sociedad afecta a las economías emergentes, si bien el nivel de vida puede estar en aumento, pero también genera un fuerte impacto hacia el medio ambiente; donde se tiene un fuerte impacto sobre el cambio climático, el consumo de recursos naturales, la eliminación de desechos y sustancias tóxicas (Voinea, Hoogenberg, Fratostiteanu, & Bin Azam Hashmi, 2020).

También, las empresas logran una sostenibilidad exitosa; entre varias causas, debido a cómo gestionan su capital y optimizando el uso de los recursos que se dispone, al tener un sistema dinámico, permite ajustarse a los cambios (Alzate-Ibáñez et al., 2018).

El acero que es de bajísimo carbono, casi cero, lo fundí en un horno de cubilote y me encontré con una ley de la naturaleza que yo no conocía que la interpreté así que todo acero en contacto con el carbono a 1 500 °C se convierte en un fierro fundido con 3,1 % de carbono; 0,04 % de fósforo y 38 kg/mm<sup>2</sup>. de resistencia a la tracción. Convirtiéndose la fundición, a la que le puse el nombre de fundición acerada debido a su origen que fue el acero, esta fundición es la más resistente del mundo.

Para obtener fundición nodular 10BCC es necesario fabricar un reactor que es muy simple en donde primero se carga el magnesio en una cajita que posee luego se tiene que cargar el reactor con fundición acerada porque con otro tipo de fierro fundido no tiene la

resistencia y la flexión que se busca. El reactor es redondo y tiene un seguro que al sacarlo el reactor da la vuelta, y la caja con magnesio se coloca debajo del metal y se produce una reacción fuerte por que el magnesio tiene 87 % de magnesio de donde sacaremos el fierro nodular; este método puede trabajar con cualquier cantidad de azufre solo es necesario que el fósforo tenga  $\leq 0,04$  % del metal.

En ese sentido, se explica dos procesos de aleaciones: Fundición acerada y fundición nodular 10BCC que se creó por necesidad de la fábrica en donde laboraba. Las fundiciones mencionadas son dos nuevos procesos o nuevos métodos de donde se pueden dividir en nuevas aleaciones.

Cuando llegué a trabajar a la fundición solo tenía cinco años de experiencia y encontré a una fundición trabajando relativamente bien. Fundían piezas de fierro fundido y piezas de fierro maleable, empleando hornos rotativos. El hierro fundido lo obtenían bien, para la época, estuvieron entre las mejores porque tenían de resistencia a la tracción 25 kg/mm<sup>2</sup> que era el valor promedio mundial; con el fierro maleable si tenían problemas. Pasaron dos años y el proveedor principal SIDERPERU dejó de vender arrabio que es un fierro fundido de alto carbono, materia prima para los hornos rotativos que se empleaba para fundir.

Son dos los problemas por los que atravesaban las pequeñas y medianas fundiciones en el Perú. La falta de materia prima para trabajar con hornos rotativos, debido que este horno trabajaba con arrabio (fierro fundido de alto contenido de carbono y bajo contenido de azufre y fósforo que son elementos nocivos). El único lugar donde se vendía este metal era en la ciudad de Chimbote más preciso en SIDERPERU. Esta empresa dejó de producir arrabio debido a que su horno, conocido como alto horno no contaba con combustible llamado coque. En las fundiciones solo existían dos tipos de hornos, los hornos rotativos y los hornos de cubilote; el primer horno solo podía trabajar con arrabio y acero; el segundo

horno conocido como horno de cubilote trabajaba con chatarra de hierro fundido que por su alto contenido de azufre y fósforo obtenía material de menor calidad. En otras palabras, el horno rotativo había llegado a su fin y los empresarios tenían que decidir si cerraban sus puertas o cambiaban de horno, al horno de cubilote y empezaban a fundir material de mala calidad.

La empresa SIDERPERÚ se encuentra ubicado en la ciudad de Chimbote en la zona denominada Laderas del norte y tiene que traer la materia prima como el pellets desde la ciudad de Arequipa usando para su traslado la vía marítima con una demora de dos días aproximadamente; de igual forma el coque que viene a ser el combustible, lo traen desde Corea del Sur y el tiempo que demora es casi de un mes aproximada mente debo aclarar que el coque está en vías de extinción; porque casi está agotado; el carbón bituminoso del que se fabrica coque, existe pero de mala calidad. La caliza y la cuarcita lo trasladan de las minas de Casma y el mineral de manganeso que lo utilizan eventualmente lo llevan desde la parte de sierra de Trujillo.

Los problemas que se encontraban para fabricar hierro maleable; cabe señalar en este punto que maleable es el material que se puede laminar y dúctil el material que se pueden hacer hilos o alambre. El llamado hierro maleable no se puede laminar si uno hiciera el intento, se partiría en pedacitos, por eso prefiero decirle el mal llamado hierro maleable. El mal llamado hierro maleable si puede flexionar algo como dos o tres grados, pero tiene un grave problema, uno que es muy exigente en su composición química y dos que requiere de un largo tratamiento térmico, para esto se tenía que introducirlo en cajas, a su vez estas cajas se tenían que introducir en unos hornos para el tratamiento térmico y calentarlo cinco días con sus noches, cuando no se tiene hornos eléctricos como era antes se tena que trabajar con quemadores a petróleo en este caso habían que hacer turnos de 8 horas y muchas veces el personal se quedaba dormido y todo se malograba. Los usuarios siempre llevaban los dos

materiales el hierro fundido y el mal llamado hierro maleable.

Las fundiciones marchaban muy bien porque toda la materia prima la podían obtener muy fácil de SIDERPERU que era el principal proveedor hasta que llegó el momento en que el alto horno que era el principal horno fue parado por escases de coque que es el combustible que se agotaba y subieron su precio y ya no era rentable, por eso dejaron de producir y con ello dejaron sin producción a las pequeñas y medianas empresas que utilizaban hornos rotativos. Al encontrarse estas empresas sin materia prima optaron por comprar material del extranjero, dándose con la sorpresa que el material que les vendían era de mala calidad, en cuanto a la composición química; de carbono solo tenían 3,1 % y de fósforo 1,5 %; prácticamente era un hierro fundido cualquiera.

En ese sentido, se planteó en su oportunidad el ¿Cómo reemplazar al arrabio? y ¿Cómo reemplazar al hierro maleable? en la fundición acerada y nodular con residuos sólidos de acero – Metales Bernuy Lima 2022.

El problema específico o concreto consiste en convertir acero en hierro fundido y el hierro fundido convertirlo en fundición nodular. Utilizando el hierro fundido y el hierro nodular listos para obtener piezas de dos tipos independientes.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo se realizó la fundición acerada y nodular en la empresa Metales Bernuy?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo se obtuvo hierro fundido al 3,1 % de carbono a partir de residuos de acero al 0,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy?
- ¿Cómo se obtuvo hierro nodular a partir de hierro fundido al 3,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el análisis de la fundición acerada y nodular en la empresa Metales Bernuy.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar la obtención de fierro fundido al 3,1 % de carbono a partir de residuos de acero al 0,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy.
- Analizar la obtención de fierro nodular a partir de fierro fundido al 3,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy.

### **1.4 Justificación de la investigación**

Ante la necesidad de materias primas y la mala calidad de algunos productos nos vimos obligados a crear nueva materia prima y otros tipos de materiales pre existentes.

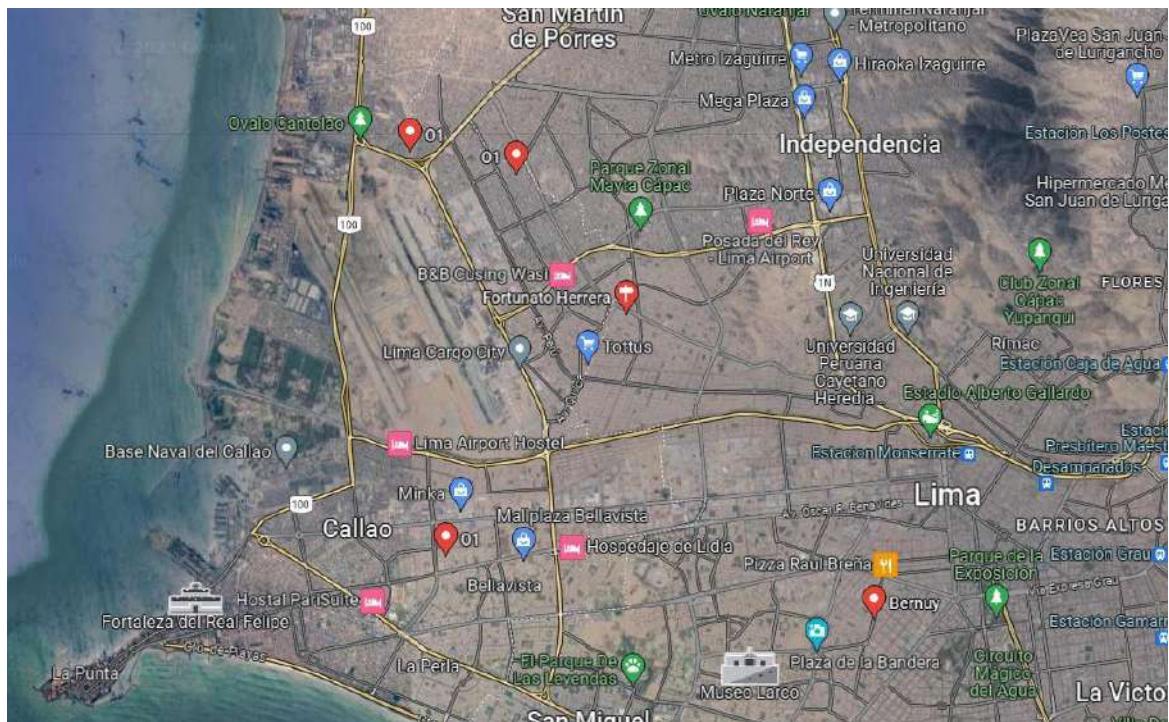
No teníamos materia prima para fundir fierro fundido de calidad; al hablar de calidad no es un término poético porque en ciencia nada tiene que ver la poesía, los que seguimos la ciencia hablamos con números. Cuando uno dice que la resistencia máxima de un material puede llegar a 40 y solamente se ha obtenido 25 quiere decir que se puede mejorar y si alguien obtiene 38 lo ha mejorado. Esa suerte la hemos tenido nosotros que lo explicamos muy claramente en la presente tesis y me parece que tiene doble mérito porque con eso llegamos a satisfacer nuestras necesidades de escocés y nuestra resistencia ganó por un cuerpo al mejor adversario. Ese fue el primer problema y el segundo problema no tuvo tanta suerte porque empezó con una explosión, nunca supe que uniendo el magnesio con el fierro fundido líquido era explosivo de la misma magnitud de la dinamita. Al agregar magnesio al fierro fundido se produjo una explosión en donde salí siendo el más afectado pero mi perseverancia no fue derrotada y posteriormente obtuvimos la fundición nodular 10 BCC.

En nuestro caso la importancia de la investigación es que se presenta una solución alterna ante la falta de materia prima común, por lo que al emplear distintos insumos es necesario modificar los equipos para adecuarlos a un nuevo proceso con el fin de seguir obteniendo un mismo producto final, lo cual se puede emplear en todo tipo de industria. Así mismo, este estudio se puede replicar y mejorar para situaciones similares en otras empresas.

## 1.5 Delimitación del estudio.

### a) Delimitación espacial

**Figura 1.** Ubicación de la Empresa Metales Bernuy



Nota. Adaptado de Google Maps (2022).

### b) Delimitación temporal

Diciembre del 2022.

### c) Delimitación teórica

Estudio desarrollado desde hace muchos años en las instalaciones de la empresa Metales Bernuy, estudiándose conceptos sobre:

- Fundición acerada.
- Fundición nodular.
- Residuos sólidos de acero.

De lo que tratamos es de materiales ferrosos entre los que se encuentran el acero el hierro nodular y el hierro fundido, un tipo de hierro fundido es la fundición acerada. Desde el punto de vista físico o mecánico diremos que:

- El acero es dúctil maleable, flexible; ante el golpe vibra, no parte.
- El hierro fundido, no es dúctil, no es maleable, no es flexible; y ante el golpe se parte, pero no vibra ni chilla.
- El hierro nodular, no es dúctil, no es maleable, es flexible ante el golpe no se dobla.
- Pero los metales se dividen en ferrosos y no ferrosos.

Entre los metales no ferrosos tenemos el cobre que aleado con el estaño nos da el bronce y aleado con el zinc tenemos los latones, aunque esta denominación es antigua el cobre se puede alear con níquel con manganeso y con otros elementos o todos juntos a la vez se les denominan bronces. ¿Ud. Sabe de qué metales están conformado los dos soles que usa diariamente? La parte amarilla es un latón en donde se ha aleado el cobre con el zinc 70-30; y la parte plateada se conoce como alpaca que en su aleación tiene cobre, estaño y níquel, 72-10-8.

Los dos procesos que presento son dos creaciones, curiosidades, o invenciones, como lo deseen llamar y ha sido probado por varios años e incluso se construyó un horno en la UNJFSC en donde se probó varias veces en el área de metalurgia y también lo podríamos probar en la empresa Fundición Universal. ubicada en la urbanización Alvino Herrera Mz. 01 lote 4, Callao, Lima.



## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Como el marco teórico es la base fundamental de la investigación se utiliza para dar respuesta al problema y estamos utilizando las variables cuantitativas cuando se refiere a las toneladas de productos acabados tanto de fundición acerada como de fundición nodular y a las variables cualitativas cuando nos referimos a la conversión del acero en fundición acerada; y a la fundición acerada en fundición nodular, También tratamos de los antecedentes de investigación del que nos hemos servido como la experiencia diálogos con personas conocedoras de la especialidad y de algunos libros pero que no tratan puntualmente de la investigación por que fundición acerada y fundición nodular 10BCC son temas nuevos; pero nuevos para los que recién nos escuchan. Porque casi diario lo hemos producido por varios años. Cuando hago clases digo que los fierros fundidos sin alear tienen  $25 \text{ kg/mm}^2$ ; Y que fundición acerada tiene  $38 \text{ kg/mm}^2$ , nunca les he dicho que fundición acerada es la fundición más fuerte del mundo, el que quiera entender que lo entienda, después nos juzgarán.

Al referirme al pasado de las dos variables, significa ver el pasado de fundición acerada y fundición nodular; esto parecerá raro porque a los peruanos nunca les ha interesado la creación nacional siempre se ha creído que solamente el europeo asiático o americano eran los inventores. Me da la impresión que solo el peruano se ha marginado. El hecho que seamos un País en vías de desarrollo no nos margina nada y hasta por rasa, porque somos descendientes del imperio de los incas y los incas fueron muy perseverantes porque así lo dice la historia y los restos incaicos que están a vista del mundo. Se creía que las líneas de Nazca lo habían hecho los extraterrestres, eso es solo para seguir humillando al peruano actual. Se debe saber que para inventar solamente se necesita tener inteligencia normal como

todos nosotros, pero eso si hay que ser perseverante y nosotros pertenecemos a una raza perseverante. Olvídense de decir genios a los inventores porque no lo son, aunque algunos podrán serlos.

Fundición acerada y fundición nodular se crearon por necesidad por la falta de materia prima en lo que respecta a fundición acerada y fundición nodular 10BCC se creó para cambiar una fundición que solo causaba pérdidas que fue fundición maleable. En los dos casos primero nos dedicamos a buscar información que por supuesto muy poco había por no decir nada. El resto fue perseverar y perseverar hasta encontrar lo que buscaba. Muchas veces hemos pasado horas y horas pensando y pensando a veces no nos comprendían ni siquiera la familia; tuvieron que ver resultados para recién comprendernos.

La fundición acerada se produjo a partir de acero que tiene casi cero de carbono y llegamos a obtener 3,1 % de carbono. pero mucho me gustaría saber cómo llegamos. En el diagrama hierro carbono nos dice que a partir de los 1 130 °C recién el fierro fundido se vuelve líquido esto quiere decir que hasta llegar a 1 130 °C el acero permanece igual a casi cero de carbono y llegado a esa temperatura se vuelve como orate y se dirige hacia la derecha y asimila carbono hasta 3,1 % o algo menos y al llegar a 1 500 °C completa todo su carbono hasta 3,1 %. O sería posible que el carbono por su pequeñez atómico se difunda y llegue hasta 1 130 °C en verdad no lo sé así como no sé por qué se ubica en 3,1 % de carbono. Eso lo dejo a otros investigadores o a lo mejor cuando tenga tiempo porque por el momento solo me interesa industrialmente que el acero se convierta en fierro fundido y ya se logró. El tiempo era muy importante porque teníamos que fabricar otro tipo de aleación que remplace a la mala llamada fundición maleable en donde a pesar del accidente que tuvimos después de siete meses ideamos un reactor que empezó a producir Fierro Nodular 10BCC.

### **2.1.1 Investigaciones internacionales**

Eduardo Capello en su libro *Tecnología de la fundición*, (1974) refiere:

Específicamente temas de modelería moldeo y fusión de metales ferrosos producidos en hornos de cubilote en donde señala los distintos tipos de hornos de cubilote. Se le utiliza mucho para la construcción de hornos de cubilote, además que cubre toda la tecnología de la fundición sobre todo el capítulo XII, cubilotes, en donde se desarrolla minuciosamente la construcción y puesta en marcha de un horno de cubilote.

Aránguren y Mallol en su libro *Siderurgia* (1963) menciona que es importante por la información sobre ferro aleaciones en los capítulos XVII. Trata sobre ferromanganesos. En el capítulo XVIII trata sobre ferroaleaciones Silicio-Aluminio y Silicio-Calcio y en el capítulo XIX Trata sobre hierro cromo.

Chaussin. –Hilli en su libro *Metalurgia* (1975) hace estudios tecnológicos del alto horno que tratan de la marcha del alto horno así mismo de la preparación del lecho de fusión y continua con la teoría de la carga e inyección del viento, toca también la colada del arrabio y colada de la escora y su utilización para terminar muy bien con el encendido y parada del alto horno.

Doméco Lucchesi en su libro *Tecnología de la fundición* (1973) refiere que:

Fundición de hierro hace un estudio del horno de cubilote con aire caliente con sistemas de recuperación de calor de distintos tipos. Como pocos relaciona el horno de cubilote de tal manera que demuestra la uniformidad del metal con un ante crisol Presenta sistema para desulfurar. Realza balance térmico del proceso de fusión.

Es una gran ventaja hacer su maestría y posterior doctorado estando viejo por que rápidamente uno encuentra los errores de estos libros será porque siempre trabaje en fundición y porque me dedique a la investigación y a la invención toda una vida.

### **2.1.2 Investigaciones nacionales**

Ricardo Bernuy en su libro Hornos Rotativos da detalles completos de hornos rotativos en cuanto a su producción y su construcción. También da detalles de la forma como se debe fundir en hornos rotativos. Así mismo da detalles sobre su reconstrucción porque esta técnica estaba casi perdida

Ricardo Bernuy en su libro Fundición de Metales para Ingenieros: realiza y divulga las etapas que comprende la fundición empezando por la modelería, moldeo, fusión; y acabado. En cada capítulo hace comparación con sus invenciones realizadas en la industria. Todo lo que escribe es porque lo ha realizado físicamente.

## **2.2 Bases teóricas**

Fundición acerada se elabora en la misma fábrica en la calle la calera s/n Lima y la materia prima como el carbón se compra en las carbonerías, que son depósitos ubicados en la ciudad de Trujillo, en nuestro país no se trabaja con coque en los hornos de cubilote a pesar de tener la mitad de cenizas y azufre que el carbón que utilizamos; la caliza se compra en agregados calcáreos en la avenida universitaria cuadra 41; la chatarra de acero se compra en varios depósitos de Lima según el precio y tamaño de los recortes de acero.

Para la fabricación de fierro nodular el magnesio utilizado es la carcasa del motor de VW que se compra en la misma chatarrería donde se compra los recortes de acero. Mientras que, para fabricar fundición acerada y fierro nodular 10BCC existe materia prima por mucho tiempo y como nosotros mismos lo fabricamos no tenemos problemas de abastecimiento. Actualmente se funde dejando un día y su producción mensual es de 80 Ton, incluyendo fundición acerada y fundición nodular 10BCC.

Como dijimos la falta de material de fierro fundido o arrabio, en el mercado nos dio como resultado muchos beneficios como las dos aleaciones mencionadas, que hasta

empezamos a vender fierro fundido sin fósforo a otras fundiciones para que fabriquen fierro nodular que nosotros mismos enseñábamos a fabricar para que nos compren nuestros productos.

Con la fundición nodular pusimos fin a la fundición maleable que se había convertido en un problema para la fundición, entonces cuando SIDERPERU cerró sus puertas de venta de arrabio que en forma más clara le debemos llamar fierro fundido, basado en el diagrama hierro carbono meta estable. Se comenzó a notar la falta de materia prima para la fabricación de fierro fundido, porque SIDERPERÚ cerró sus puertas a las fundiciones, sabiendo que proveía de un buen material. A la actualidad no se encuentra una técnica en las fundiciones para extraer fósforo que es un elemento que fragiliza a las piezas fundidas. Extraer fósforo en fundición es un reto de invención para un Ing. Metalurgista. El material de SIDERPERÚ tenía muy poco fósforo por eso las piezas salían mejores.

Por otro parte solo los hornos de cubilote como el que se encuentra construido en la universidad José Faustino Sánchez Carrión en la ciudad de Huacho puede trabajar con chatarra de fierro fundido porque este es un horno que aumenta el carbono; en cambio el horno competidor de este horno es el horno rotativo que disminuye el carbono, por lo tanto, no puede trabajar solo con chatarra se le tiene que incrementar carbono y para eso servía el material que vendía SIDERPERÚ. Esa ha sido unas de las causas para casi desaparecer al horno rotativo que producía material superior al horno de cubilote. Las fundiciones en su afán de trabajar con material de alto carbono y bajo fósforo empezaron a buscarlo en el extranjero y otros como nosotros a intentar de fabricarlo.

El arrabio o fierro fundido era de mucha importancia para la fabricación de nuestras aleaciones hierro carbono, pero esto que creíamos que era una desgracia: después de seis meses se pudo superar la calidad de las aleaciones hierro carbono en nuestro País.

Las ideas se concentraron en el trabajo que se hacía en SIDERPERU en la planta de hierro. Después de mucho tiempo se tuvo que hacer un recuento de las ideas para el trabajo que nos habíamos propuesto. Antes de seis meses de haberse ideado la fundición acerada nadie sabía cómo se podía elevar la cantidad de carbono en los hornos rotativos y hornos de cubilote, y todavía existía en el medio metalúrgico la idea que cantidades muy pequeñas de acero malograban la aleación llevando a la aleación a la fragilidad dureza y sobre coladas.

Lo único que se movió en el diseño del horno de cubilote fue la altura del crisol con la intención de dar más tiempo de reposo al metal sumergido en el carbón; no se le puso a la altura del crisol la altura recomendada. Lo recomendable era 0,6 veces el diámetro interno del horno se le dio 2,2 veces la altura del crisol. El horno tenía 0,50 m de diámetro quería decir que las toberas se encontrarían a 1,10 m sobre la altura del crisol. Se le dio esa altura porque una vez en la ciudad de Chimbote vi a un fundidor artesanal que la altura de sus toberas tenía casi esa relación y fundía muy bien; obtenía material caliente. A si mismo también se le aumentó la presión al horno para eso se le redujo el diámetro del cubilote solamente en la parte alta antes de la entrada de la carga se le dejó a 45 cm porque a mayor presión mayor temperatura, esa idea se cogió del alto horno y da buen resultado, de esa manera deberían de trabajar todos los cubilotes en general.

Esas fueron las únicas modificaciones físicas que se hicieron al horno de cubilote el resto fue todo de características químicas. En el horno de cubilote todo el cuerpo mejor dicho todo el tubo se dedica a fundir y carburar que me sirvió para compararlo con el etalaje y crisol del alto horno, aunque esta zona sea tres veces más grande que el horno de cubilote, por eso es que se pensó que solo se podría sacar fierro fundido de 2,5 de carbono, esto es, si salía del horno, porque lo que más temíamos es que se atore el horno y allí hubiera quedado todo el asunto. Algunas pruebas adicionales también nos convencieron que la prueba iba a salir bien entre otras es la que continuación describo:

Se construyó un horno de crisol y en el crisol le agregamos carbón medio molido; aparte por el centro del horno pusimos una varilla de acero para que se caliente. Enseguida prendimos el horno; con la varilla introducida en el crisol que tenía el carbón medio molido teniendo caliente el crisol a 1 500 °C aproximadamente y por consiguiente la varilla de acero también; lo mantuve a esa temperatura unos 45 minutos y al sacar la varilla la punta salió frágil y su fractura distinta a la fractura de acero. La punta tenía todas las características de fierro fundido. Lo que significaba que el acero podía asimilar carbono rápidamente. Estos ensayos dieron la fuerza para intentar fundir acero en el horno de cubilote.

### **2.3 Bases filosóficas**

“Cuando se va a crear algo es necesario que exista algo que le llame a pensar”. Puede ser el gusto que uno mismo tenga por algún tema o que de por medio exista una remuneración muy tentadora porque hacer algo nuevo lo va a llevar por un largo tiempo a pensar a veces hasta 15 o 20 horas diarias hasta conseguir el propósito en el que está empeñado. La investigación es también una forma de trabajo por lo cual debe ser remunerado. La perseverancia ocupa tiempos deliciosos cuando está en proceso de investigación, pero durante ese tiempo de que se alimenta la familia.

Una vez llegó a mi oficina un señor con varios pedazos de cuero pequeño, me parecía que era lo que le sobraba del curtido de pieles se tenían que pegar entre ellos y con eso hacer un pequeño cilindro, lo que quería era que de esa masa lo convierta en un rollo parecido a un rollo de papel higiénico. Le dije que estaba interesante y me gustaría hacer la máquina que haga esa conversión pero que le iba a costar 12 mil dólares y como adelanto me tendría que dar el 50 % del precio. El Sr. aceptó pero que lo terminaría en tres meses.

Busqué primero toda la información que pude, pregunté a algunos amigos para tener un punto de partida. A las tres semanas tenía desarrollada la máquina, pero solo en mi

cabeza. Luego tenía que desarrollarlo en el papel, elaborado todo el diseño me puse a construirlo y la máquina no producía lo que buscaba. El espesor del cuero daba, pero cada tramo de un metro se rompía eso me preocupó mucho tuve que analizar el ángulo de inclinación de las tuercas y pernos en donde se producía el movimiento, recién a los cuatro meses la máquina funcionaba, le llamé al señor para que recoja su máquina y lo que me respondió era que ya se había pasado la moda porque era para unos forros de tacos que se usaba y daba la apariencia que todo el taco era de cuero, me pagó la diferencia con bienes y allí quedó todo. Lo que quiero decir que se deben hacer buenos contratos escritos.

La investigación es muy importante; la recolección de datos; también conversar con personas que uno cree que conocen algo de la materia, uno tiene que conocer mucho de química física y matemáticas euclidianas a lo que le llaman álgebra, geometría y trigonometría, así también un poco de cálculo diferencial e integral y ser “Un cholo terco” Quiero decir un ser perseverante. Para inventar no hay que ser un sabio es suficiente ser un ser normal como todos, pero de mucha perseverancia.

A mi parecer existen dos tipos de creadores o inventores, uno que solo necesitan una mesa con su silla; ahora modernamente es necesario una computadora; estos son los creadores teóricos. Y dos el creador teórico práctico es el que crea teóricamente, pero lo completa con la construcción hasta optimizar el invento; este señor requiere de más área aparte de su oficina.

Por otro lado, el MINAM (2009) indica sobre la ecoeficiencia empresarial, como una filosofía administrativa, motivadora a las empresas hacia incrementar sus beneficios económicos menorando el cuidado del medio ambiente, permitiéndoles ser más rentables y con responsabilidad ambiental.



## 2.4 Definición de términos básicos

Son los términos fundamentales que se emplean en la industria. Si uno no conoce la industria es posible tener que buscar su significado. Definiéndose:

- **Alto horno:** Es un horno de gran altura que se utiliza para transformar el mineral de hierro, constituido por óxidos de hierro. En metal de hierro conocido como arrabio.
- **Horno de cubilote:** Es un horno de acero en forma de tubo revestido interiormente con ladrillo refractario en cuyo interior se funde hierro fundido, cuya altura es siete veces su diámetro.
- **Fundición:** Es el proceso por el cual los metales mediante la fusión pueden convertirse en piezas, para lo cual se utiliza un modelo y un molde.
- **Maleable:** Es el metal que puede convertirse en láminas.
- **Dúctil:** metal del cual se pueden hacer hilos o alambres.
- **Aleación:** Es la unión por fusión de dos o más elementos, en donde por lo menos uno de ellos es un metal.
- **Fierro esponja:** Es una esfera aproximada mente de 5/8 de pulgada que en sus inicios fue mineral de hierro al que se le sinterizó, luego tratado en hornos que contienen carbono y producen CO; sin perder la forma se convirtieron en unas esponjitas de hierro.
- **Colada:** vertido del metal dentro de los moldes mediante una callana.
- **Sangrado:** vertido de metal del horno a la callana.
- **Callana:** Recipiente para trasladar metal fundido, se encuentra revestido con tierra de molde. Puede tener distintas formas, como balde como cilindro horizontal.
- **Matemáticas euclidianas:** aritmética, álgebra, geometría, trigonometría.
- **Matemáticas infinitesimales:** Integrales, derivadas, límites.

- **Horno rotativo:** Construcción metalúrgica hecha de acero y revestida por dentro con material refractario. Es de trabajo horizontal. El largo sin contar los conos es tres veces su diámetro sin contar el refractario.
- **Modelo:** Es la reproducción de la pieza más sus excesos por mecanizado y más su contracción; si la pieza lleva huecos estas son reemplazadas por estampas para que se pueda colocar un alma.
- **Molde:** Cavidad formada por el modelo en la tierra. La tierra tiene que ser permeable y resistir las altas temperaturas (refracteriedad).
- **Fusión:** Llevar al metal al estado líquido en donde tenga la temperatura óptima para que las piezas salgan sanas.
- **Estampa:** Parte adicional que se le agrega al modelo para que sirva en el molde como sostén del alma.
- **Alma:** Parte del molde que se elabora por separado para formar los huecos en la pieza
- **Contaminación ambiental.** MINAM (2012) “Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente” (p. 61).
- **Impacto Ambiental.** Camacho y Ariosa (2000) “Repercusión en el medio ambiente provocada por la acción antrópica o un elemento ajeno a dicho medio, que genera consecuencias notables en él” (p. 42).
- **Uso sostenible.** Camacho y Ariosa (2000) “Utilización que se hace de un organismo, ecosistema u otro recurso renovable dentro de los límites de la capacidad de renovación” (p. 60).

## 2.5 Hipótesis de investigación

### 2.5.1 Hipótesis general

Se realizó el análisis de la fundición acerada y fundición nodular en la empresa Metales Bernuy.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- Se delineó un procedimiento para obtener fierro fundido al 3,1 % de carbono a partir de residuos de acero al 0,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy.
- Se delineó un procedimiento para obtener de fierro nodular a partir de fierro fundido al 3,1 % de carbono en la empresa Metales Bernuy.

## 2.6 Operacionalización de las variables

Córdova (2017) indica que se operacionaliza una variable, en dimensiones, subdimensiones e indicadores según sea necesario. Se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES						
FUNDICION NODULAR						
ELEMENTO	PROBLEMAS	VARIABLES				INDICADORES
Fundición modular	Escases de materiales (de buena calidad). Mediante Mg.	CUALITATIVAS		CUANTITATIVAS		ANALISIS QUIMICO ANALISIS METALOGRAFICO RESISTENCIA A LA TRACCION
		NOMINALES	ORDINALES	DISCRETAS	CONTINUAS	
		El fierro fundido se convierte en Fo No.	Primero al fofo se introduce Mg y se convierte en Fo No.	Se produce entre 8 a 10 tn.	Se produce en 7.5 tn.	

## Capítulo III

### Metodología

#### 3.1 Diseño metodológico

Es la forma como he llevado la investigación puede ser teórica o práctica o de las dos formas. Fundición acerada tuvo como antecedente la práctica de varias aleaciones en distintos hornos, para fabricar este proceso de fundición estuve en lo mejor de mi profesión con capacidad para desarrollar cualquier problema por eso decidí tomar este problema Esto quiere decir que tenía mucha experiencia y yo mismo me analicé que era un tipo perseverante, estudioso y arriesgado lo único que me faltaba era la oportunidad; hasta que se presentó y lo tomé al problema como un león que no deja su presa hasta que se lo come. De igual forma ocurrió con fundición nodular pero no esperaba una explosión, pero me sobrepuse y lo logré como he logrado muchas cosas más que no son motivo para expresarla en esta tesis.

##### 3.1.1 Tipo de investigación

El estudio observacional, debido a que se buscó la información existente en la empresa, sobre la dosificación de insumos para la obtención de hierro nodular.

Por otro lado, el estudio es *retrospectivo*, al haberse recopilado los datos de las corridas experimentales realizadas en la Empresa Metales Bernuy.

Asimismo, el estudio es *transversal*, debido a que las experimentaciones fueron realizadas en un solo momento para determinar las propiedades del hierro nodular requerida.

También, el estudio es *descriptivo*, por tratarse de tratamiento de datos y corridas experimentales ya realizados en la empresa, que se pone a disposición de los lectores.

Estudio de naturaleza *aplicada*, que en base a la información existente se fundamenta lo obtenido en la práctica con la información y-o base teórica existente en su oportunidad.

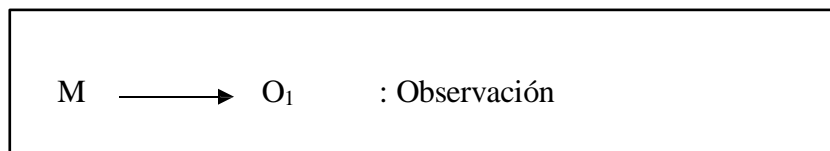
### 3.1.2 Nivel de investigación

Si bien, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indica que ningún nivel de investigación es mejor que el otro, estas tienen su propósito. En ese sentido el estudio es de nivel descriptivo.

### 3.1.3 Diseño de investigación

También, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) sobre los diseños expresan que son los planes o estrategias a desarrollar para recopilar datos de una investigación, respondiendo a las preguntas del planteamiento del problema. Por ello, se tiene el diseño no experimental transversal descriptivo, representándose en la Figura 2.

**Figura 2.** *Diseño no experimental transversal descriptivo*



### 3.1.4 Enfoque de investigación

A la vez, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), considera tres rutas de investigación. El estudio presenta un enfoque mixto, un enfoque cualitativo en el uso de nuestros sentidos entrenados para verificar en campo el avance de la experimentación. Y cuantitativa al procesar el análisis de la calidad de producto final obtenido en las corridas experimentales.

## **3.2 Población y muestra**

En nuestro caso no necesitábamos de muchas personas, como se intentaba crear un proceso solo se requería de mi persona quien utilizando la investigación lograba ir avanzando, primero que tenía que tener abundancia en antecedentes pero esto lo había logrado a través de los años, lo que me ayudó mucho fue que yo tenía todo a la mano; lo teórico lo podía ir ensayando y ver si iba por buen camino mejor dicho centraba lo que iba haciendo en otras palabras mi marco teórico me ayudaba mucho en otras palabras fui solo a descubrir tanto la fundición acerada como el hierro nodular 10 BCC.

### **3.2.1 Población**

Inicialmente, se precisa conocer a la población. Al respecto, Córdova (2017) indica que la población corresponde a todas las unidades de observación que tienen características comunes y a la vez son observables, estando bien definidas si se delimita temporal y espacialmente. Para el estudio la población es la Empresa Metales Bernuy en 2022.

### **3.2.2 Muestra**

Por el estudio realizado en la empresa, esta constituye la muestra, que según Córdova (2017) expresa que la muestra es una parte de la población. En este caso se trata de un censo.

## **3.3 Técnicas de recolección de datos**

### **3.3.1 Técnicas a emplear**

Solo se tenía la experiencia de SIDERPERÚ que justamente me tocó trabajar en el alto horno de donde obteníamos el arrabio o hierro fundido también conocido como hierro cochino por su alto contenido de carbono que para obtener acero en los convertidores LD a este elemento lo consideraban como una suciedad porque para obtener acero al arrabio solo

le tenemos que extraer carbono, el manganeso casi no existe, el silicio podrían quitar del 1 a 2 % y extraer lo máximo de azufre y fósforo. En cambio el carbono para obtener fierro fundido es indispensable, en este sector nunca he escuchado que al arrabio le digan fierro cochino, si por la ausencia de arrabio hicieron desaparecer a los hornos rotativos.

Al haberse realizado las experimentaciones durante varios años en la Empresa Metales Bernuy, se utilizó la técnica documental, que al respecto (Pino, 2018) sostiene que es una revisión documentada de un tema de interés del investigador, comparándolos con otros escritos previamente seleccionados.

### **3.3.2 Descripción de los instrumentos**

Si bien, Córdova (2017) indica que la calidad de información que se obtiene en una investigación está muy relacionada a la calidad de los instrumentos utilizados en las mediciones. Por lo que los equipos a utilizar deben ser válidos y confiables.

Análisis Químicos.

Analizador metalográfico.

Resistencia a la tracción.

### **3.3.3 Procedimiento**

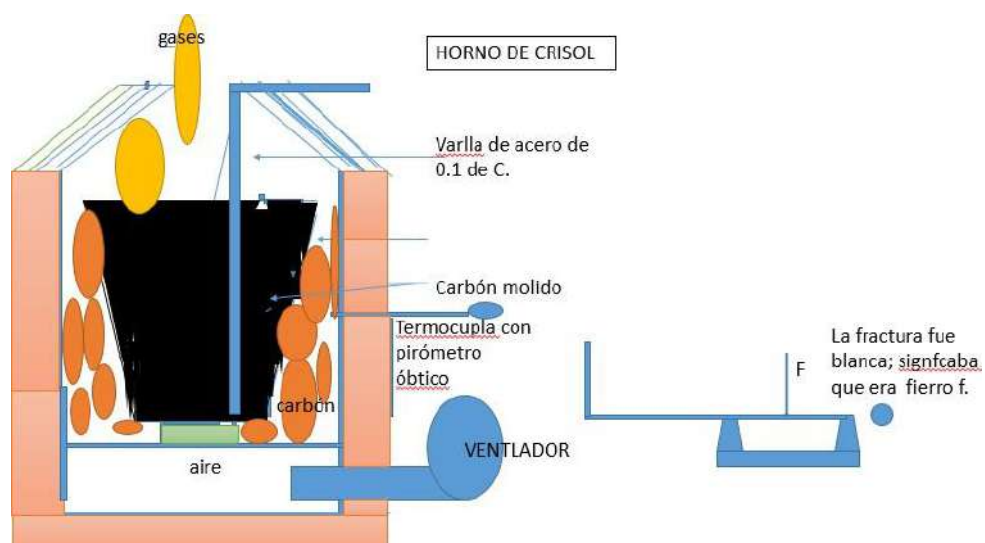
Al no contar con arrabio solo quedaban dos caminos para seguir fundiendo uno de ellos era cambiar a los hornos rotativos por hornos de cubilote, sabiendo que nuestra calidad iba a bajar y la otra aceptar la propuesta que se estaba realizando, probar un método nuevo producto de una creación.

El ingeniero jefe de planta tenía un bosquejo para la posible fabricación de fierro fundido que consistía en partir de acero e incrementar el carbono en un horno de cubilote para eso se tenía experiencia en el alto horno cuyas partes como son el vientre, la cuba y

crisol del alto horno, tienen un parecido con el horno de cubilote. Este parecido es solo químico. Si comparamos a los dos hornos el vientre del alto horno se encuentra a 1 600 °C y equivaldría al tragante del horno de cubilote que se encuentra a la temperatura del medio ambiente. El etalaje del alto horno equivale al cuerpo del horno de cubilote estas zonas son las que se parecen más porque ambas zonas carburan muy rápidamente e incrementan de temperatura. El crisol de ambos hornos solo cumple la labor de recipientes, pero en algunos altos Hornos, se almacena el hierro fundido, por eso el material que sale conocida como arrabio tiene alrededor de 4 a 4,2% de carbono, esta comparación era lo único con lo que contábamos.

Pero queríamos más información y eso era la cantidad máxima de carbono que podría absorber el acero, para eso hicimos una prueba que me harían ver las cosas más claras o por lo menos me haría conocer si el acero asimilaba carbono en cantidades considerables. Para eso debería saber el diagrama hierro carbono y este diagrama me dice que el acero absorbe carbono entre casi cero de carbono hasta 2 % de carbono y el fierro fundido de 2 a 6,66 % de carbono, además conocía que el acero es flexible y el ferro fundido ante el golpe se parte, esa prueba la describo líneas abajo.

**Figura 3. Horno de crisol**





Prueba para determinar si el acero asimilaba carbono:

- Después de haber tenido la varilla sumergida en carbono 45 minutos a 1 500 °C.
- Si se hubiera doblado: Seguiría siendo acero (todo hubiera fracasado) no me hubiera arriesgado a realizar la prueba.
- Si se hubiera quebrado: Significaba que era un fierro fundido de 2 a 3,2 % de carbono; no se analizó porque necesitaba un resultado bastante rápido y en Lima los análisis de fierro fundido no eran certeros. Nuestros ojos son más precisos, pero en fractura blanca ni los ojos son precisos.

Parece que no se puede comprender lo que es una investigación con la creación de un proceso. La creación de un proceso se tiene que valer de la investigación. La creación es como un rompecabezas en donde se tiene que armar todos sus elementos para quedar conformes. En la creación se tiene que agarrarse de todo; luego concentrarlo y por último se tiene que concretar con ideas y demostrar teóricamente que el proceso va a dar resultados. Luego se tiene que construir un prototipo en donde se hagan las modificaciones convenientes hasta que el proceso o la construcción de un equipo se encuentre en perfecto estado como para entrar en producción.

Como al alto horno no se podía ver por dentro solo tenía imaginaciones de su proceso de fundición. Imaginariamente dividí al horno en dos partes una superior que lo formaban el tragante y la cuba lo consideré como zona de reducción y el etalaje con el crisol como una zona de calentamiento y carburación. La primera zona la descarté solo me quedé con el etalaje y el crisol que a mi parecer lo consideré como un horno de cubilote. Claro que existía una gran diferencia porque en alto horno el material estaría a 1 600 °C y la altura sería de 10m. pero me conformaba que del cubilote obtenga fierro fundido de 2,5 % de C. que en tal caso lo pasaría el metal dos veces por el mismo horno. Allí quedó esa comparación y

tuve otra idea que consistía en calentar un crisol con carbón molido y por el centro del horno colocar una varilla tipo barreta larga que en el momento que se caliente el carbón a unos 1 500 °C Introduzca la varilla dentro del carbón un tiempo de unos cuarenta y cinco minutos, la varilla tenía 0,2 % de carbono, eso significaba que la varilla no se podía templar con el aire ni con el agua; luego saque la varilla y le di un golpe con un martillo y la varilla se partió, eso significaba que el acero se había convertido en fierro fundido, la fractura era blanca como esperaba. Eso me hizo pensar que la prueba con el horno de cubilote era viable y me quitó en gran parte las dudas que tenía, y así fue; cargué con acero al cubilote y en un tiempo de 45 minutos obtuve fierro fundido; y lo más importante todavía el carbono tenía 3,1 % de carbono esa si fue una sorpresa a la que le puse por nombre fundición acerada de 38 kg/mm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción.

Se utiliza el horno de cubilote para fundir fierro fundido (aleación hierro carbono de 2 a 6,66. % de carbono, normalmente se utiliza 3,1 % de C) Lo que pensamos es cargar el 100% de acero; solamente cuidando que no ingrese acero inoxidable y en el sangrado (fierro fundido que sale del horno) se agregue ferro silicio al 75 %. También se adicionó en la carga antracita que es un carbón que común mente es llamado carbón de piedra. También se le agregue carbonato de calcio llamado también piedra caliza.

Calculamos que nos demoraríamos seis meses para crear la fundición acerada. Este trabajo no es solamente una investigación es una creación en donde se tuvo que ser muy perseverante y arriesgado.

Con respecto a la carga se debe tener mucho cuidado de no agregar fundición de acero inoxidable debido al cromo que contiene; porque el acero inoxidable es un material que carbura y es muy potente que es difícil neutralizarlo salvo que se trabaje en la misma proporción con níquel.

Un horno para fundir metales es una construcción metalúrgica hecha de acero, revestida interiormente con ladrillo refractario para conservar el calor, las formas pueden ser diferentes de acuerdo a sus necesidades. El horno de cubilote debe tener siete veces su diámetro solo en horno de cubilote. Si se hace muy alto se quema el carbón antes de tiempo y si se diseña muy bajo se pierde mucho calor; en ambos casos puede salir el metal frío por lo tanto se tendrán piezas malogradas. El cubilote que se quiere que funda fundición acerada tiene pocas diferencias con los cubilotes tradicionales solo se diferencian en la altura del crisol y que tenga un buen recuperador de calor. Además, como ya lo dijimos se debe trabajar a presión y esto se consigue reduciendo la boca de entrada del horno. La diferencia más importante radica en el combustible que hasta el fundidor más experimentado puede fallar. Lo que más debemos de cuidar es el aspecto químico y la inoculación (adición de ferro silicio en el momento del sangrado) que ya explicamos. Una cosa es construir un cubilote y otra cosa es crear procesos nuevos.

Para el diseño lo primero que se debe tomar en cuenta es la cantidad de fierro fundido y fierro nodular que se quiere producir; con esos datos calculamos el diámetro del cubilote esa cantidad la multiplicamos por siete y ya tenemos el tubo central; para calcular el diámetro hay que tomar en cuenta las dimensiones de los ladrillos. La altura del crisol es igual al diámetro del horno. La altura del excoriado está por encima del crisol de 5 a 10 cm. y el ingreso de toberas se encuentra de 5 a 10 cm. sobre el excoriado. La tapa del fondo del horno es postiza y solamente debe ser sostenida por una madera gruesa, puede ser una de las leñas que se utilizan para prender el horno ¿Por qué debe ser así? Porque es una zona de peligro para el horno, si hubiera un atracón se debe tener un palo más grande para botar la carga de lo contrario se solidificaría en el horno y eso es muy fastidioso para desatorarlo.

Nosotros obtuvimos la fundición acerada en base a que pudimos lograr incrementar carbono al acero en donde predominó nuestra perseverancia y el descubrimiento del

principio MPD con gran satisfacción; nos dimos cuenta de que la altura teórica que se dio sobre el crisol del horno de cubilote no es necesario.

### **3.4 Técnicas para el procesamiento de la información**

Para informarse sobre el procedimiento a utilizar: Uno tiene que basarse en antecedentes asimilados en diferentes épocas yo soy contrario a que la información valderrama es solo de cinco años. Si no se conociera lo que sucedió desde 1700 no podríamos avanzar, si no conociéramos al horno de reverbero no hubiéramos podido fabricar los hornos Siemens Martin y si no hubiéramos conocido a este horno ahora la industria del acero fierro fundido y fierro nodular no hubiera adelantado como lo está ahora. Yo construí la fundición acerada, fundición nodular gracias que el año 1550 se creó el horno de cubilote.

En el caso de fundición acerada la información fue la observación detallada de un alto horno en la que imaginaria mente mantuve la idea que el horno se podía dividir en dos partes; una era la parte superior que se podía pensar que hasta el vientre se le podía considerar como zona de reducción que era no útil para nuestro proceso y la parte inferior que lo formaban el etalaje y el crisol ya se había convertido en fierro con cero de carbono equivalente a un horno de cubilote que se cargue con acero. Eso fue lo que saqué del alto horno. Luego fueron las pruebas que realicé con un horno de crisol en donde introduje una varilla de acero de bajo carbono que también esta graficado en la presente tesis. Luego todo fue perseverancia.

En el caso de fundición nodular. Me informé en una reunión que tuve con dos ingenieros metalurgistas me dijeron que en Alemania estaban fabricando una fundición flexible a partir de fierro fundido mediante la adición de magnesio; como estaba deseoso de fabricar una fundición flexible que reemplacé a la fundición maleable así que empecé a probar la adición de magnesio a una callana que contenía fierro fundido en eso explotó

hiriendo a varias personas uno de ellos fui yo. Nunca supe de esa propiedad del magnesio con el hierro fundido, como a mí me gustan los retos analicé minuciosamente lo que pasó y lo que podría pasar. Las conclusiones fueron que había que cuidarse únicamente de la explosión, para diseñar ese reactor me demoré siete meses a las finales lo logré; todo el proceso lo describo en la presente tesis.

## **Capítulo IV**

### **Resultados**

#### **4.1 Análisis de resultados**

Los objetivos son obtener la fundición acerada y si todo sale bien obtener la fundición nodular, el trabajo es bastante largo y conseguir los objetivos en trabajos que se están ideando son aún más intensos porque se camina por una ruta que nadie ha caminado y ver la luz al final del túnel es lo más satisfactorio.

Fundición acerada se obtuvo y con ello vencimos la idea del atracción del material dentro del horno. Pero me parece que un descubrimiento trae consigo otro descubrimiento. Después de un análisis muy bien elaborado llegamos a la siguiente conclusión.

#### **Según el diagrama MPD**

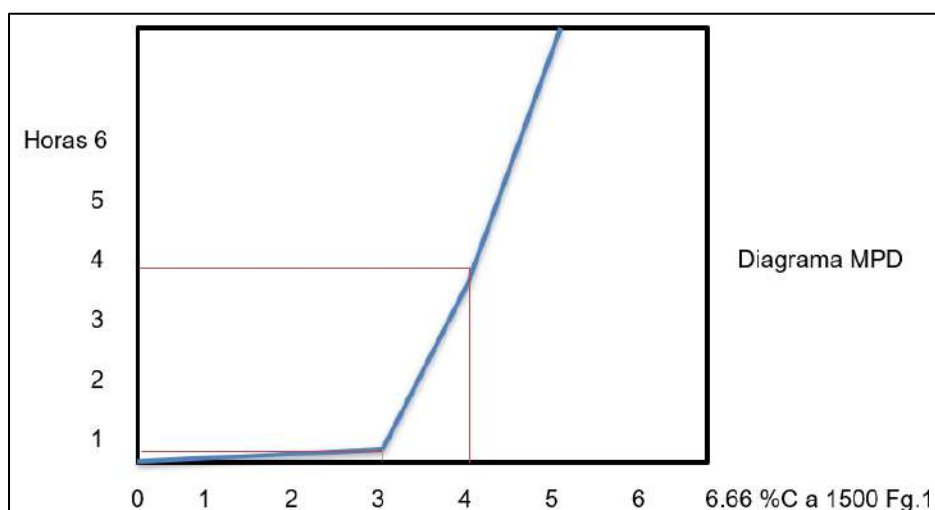
Asimilación de carbono por el hierro a través del tiempo desde 20 °C a 1 500 °C.

Solo los puntos (3,1 – 0,4 h) y (4,2 – 3 h) fueron comprobados, no así, 4,2 a 6,66 % C solo son proyecciones.

El punto (3,1 – 0,4 h) se obtuvo del horno de cubilote cuando se estuvieron haciendo ensayos para obtener fundición acerada.

El punto (4,2 – 4 h) se obtuvo del alto horno en Chimbote Esto quiere decir que en 25 minutos desde que cargamos el acero al horno. El acero se convierte en hierro fundido

**Figura 4. Diagrama MPD**



Se descubrió al crear fundición acerada y quiere decir que el acero en contacto con el C. a 1 500 °C se convierte en hierro fundido de 3,1 % de C. y en el alto horno en 4 h. se convierte en hierro fundido de 4 % de C. valor tomado personalmente.

Por tratar de conseguir fundición acerada encontramos este diagrama que es la base científica que fundición acerada es realizable.

**¿Quién podría creer que el horno de cubilote trabajando con restos de hierro fundido aumenta en su contenido de carbono solo 0,1 %?**

Pero cuando trabaja con acero desde 0,1 % en cuestión de segundos se va hasta 3,1% de carbono.

Fundición acerada tuvo éxito porque encontramos ese diagrama en nuestros análisis; nosotros no conocíamos ese principio ni creo que lo haya conocido alguien más; de lo contrario ya hubiera existido fundición acerada, seguramente con otro nombre.

Que pasando por distintas etapas lleguemos a lo que queremos; empezando por la lectura de muchos libros que más se acerquen al tema que vendrán a ser los antecedentes

que como es una creación no existe ninguno igual ni parecido; los que, si hay cercanos, nosotros lo comparamos como un río que no tiene puente y queremos construir un puente para extraer oro del otro lado del río; el objetivo general será el oro que todavía será necesario buscar la forma de extraerlo.

En nuestro caso nosotros tenemos acero y debemos de buscar la forma de convertirlo en hierro fundido, nuestro objetivo general será de buscar la forma de transformar mediante las herramientas que tenemos en hierro fundido y posteriormente obtenido el hierro fundido convertirlo en hierro nodular después de reaccionar con magnesio.

Siendo nuestros objetivos o metas concretas que buscamos son dos:

1. Convertir acero en hierro fundido.
2. Convertir hierro fundido en hierro nodular.

Solo como información: al elemento hierro solo cuando se encuentra puro se le denomina hierro, pero cuando está acompañado de milésimas de carbono toma el nombre de acero, y se le denomina acero hasta cuando tenga 2 % de carbono. De allí en adelante se le incrementa de carbono hasta 6,666 se le conoce como hierro fundido.

Esto se consigue determinando los parámetros de control relacionados con los materiales que deben considerar para el diseño y construcción de un horno de cubilote modificado para fundición acerada en donde se varió la altura del crisol y el diámetro de salida de 50 cm a 40 cm de salida.

Cuando todo marchaba bien SIDERPERU lo único que vendía a la pequeñas y medianas fundiciones era arrabio cuyo nombre técnico es hierro fundido. Como existían fundiciones que fundían con hornos rotativos usaban en su carga 70 % de arrabio de



SIDERPERÚ y había otras fundiciones que fundían con horno de cubilote y solamente usaban el 10% de arrabio. Las fundiciones que utilizaban hornos rotativos no podían seguir fundiendo, las fundiciones que utilizaban hornos de cubilote empezaron a trabajar con el 100% de fierro fundido provenientes de las chatarrerías por lo tanto empeoraban aún más la calidad de sus materiales debido a que se incrementaban de azufre y fósforo en los productos que sacaban al mercado. La empresa en la que trabajaba era particular no pertenecía al estado y por lo tanto no era su obligación enseñarle su manera de trabajar a la competencia. Al obtener fundición acerada se mantuvo en reserva un largo tiempo y nuestra clientela aumento, a pesar que se aprovechó para aumentar de precio. En qué consistía nuestro cambio que ya no se fundía en horno rotativo y la carga de nuestro horno consistía en 75 % de retazos de acero, el 25 % restante era retorno de las mismas planchas de acero; esto quiere decir que no agregábamos ni un gramo de fierro fundido de las casas que venden chatarras. Acompañaba a los retazos de acero caliza del tamaño de un níspero a todo eso lo acompañábamos con antracita de buena calidad; y la antracita de buena calidad es la que proviene de la parte de sierra de Trujillo.

En nuestro proceso todo nos basamos en un residuo sólido conocido como chatarra que es más conocido como acero este es el centro de todas las operaciones este material al juntarse con el carbono a una temperatura de 1500 °C, en un tiempo menor a los 10 minutos el acero asimila tan rápido el carbono que lo convierte en un fierro fundido de 3,1 % de carbono

Una fundición tradicional utiliza como materia prima fierro fundido (fofo) cuya composición química (CQ) es aproximadamente:

$C=3,2\%$  ,  $Si=1,8\%$  ,  $Mn=0,7\%$  ,  $S\leq 1\%$  ,  $P\leq 1,5\%$

Y produce fofo de CQ: C=3,3% , Si=1,6% , Mn=0,7% , S≤1,2% , P≤1,5%

Fundición acerada utiliza acero de composición química:

C=0,1% Si=0,5% , Mn=0,2% , S≤0,04% , P≤0,04%

Y produce fofo de CQ: C=3,1% , Si=1,8% , Mn=0,5% , S≤1,2% , P≤0,04%

Los elementos dañinos son: azufre y fósforo; cómo se puede observar, fundición acerada tiene mucho menos S y P que la fundición tradicional, estos elementos producen fragilidad al fierro fundido por lo tanto tiene menos resistencia a la tracción (RT) que fundición acerada. Y esto se manifiesta en los ensayos de ambas fundiciones:

1. Fundición tradicional tiene 25 kg/mm<sup>2</sup> de RT
2. Fundición acerada tiene 38 kg/mm<sup>2</sup> de RT.
3. Fundición tradicional aumenta su carbono por fusión en 0,1 %

Porque fundición acerada incrementa su carbono por fusión en 3,1 %; solo al inicio luego aumente en 0.1%.

Fundición tradicional tiene P≤2%

Fundición acerada tiene P≤0,04%

Para la fabricación de fierro nodular el metal base en este caso fierro fundido el contenido de P no debe pasar de 0,05%.

El fósforo en fundición no se puede extraer; para hacerlo el metal no tiene que tener carbono; el fósforo en la aleación se presente como Fe P al inyectarse oxígeno se forma PO en esas circunstancias es atacado por el CaO con intención de llevárselo a la escoria pero interviene el C y anula esta unión por eso solo se puede extraer fósforo en acería mediante

los convertidores Thomas, que extraen carbono pero también se llevan algo de hierro; y un hierro sin carbono es acero no hierro fundido que es lo que se quiere. Extraer fósforo en fundición sin perder carbono sería grandioso; es un reto para las siguientes generaciones en mi caso que no soy un joven, pero muy entusiasta en seguir investigando. Horno de cubilote que convierte el acero de carga en hierro fundido. El hierro fundido que se extrae, sirve para fabricar piezas de hierro fundido. También el hierro fundido que se extrae se utiliza para fabricar piezas de hierro nodular; en ese caso se tiene que utilizar un reactor cargado de magnesio. Al costado izquierdo del horno de cubilote se encuentra un pre calentador de aire de esa manera el aire que recibe el horno de cubilote es caliente 400 °C.

### **Fundiciones de hierro fundido**

La creación de fundición acerada es una gran contribución a la ciencia porque a su vez se descubrió que el hierro puro al llegar a los 1 130 °C (temperatura eutéctica) absorbe casi instantáneamente el carbono y lo lleva a 3,1% de carbono al llegar a 1 500 °C en un tiempo menor a los 45 minutos. Era algo que no se conocía; conocido con anterioridad este descubrimiento las fundiciones hubieran avanzado mucho más, se hubiera conocido fundición acerada y con ello fundición nodular por lo menos el año 1850 que fue la etapa de los adelantos en fundición por que se empezó a fabricar acero en forma industrial dejando a un lado lo artesanal. Por esas épocas los hornos Siemens Martin y los convertidores Bessemer empezaron a producir grandes volúmenes de acero.

### **Desde el punto de vista químico**

Las aleaciones hierro carbono tienen como elementos químicos: hierro, carbono, silicio, manganeso, como buenos elementos, pero siempre se encuentran acompañados por malos elementos estos son azufre, fósforo; y oxígeno, también existen otros elementos,

pero en mínima cantidad que no afectan sus propiedades de las aleaciones hierro carbono.

Las aleaciones hierro carbono están formados por: aceros, hierro fundido y hierro nodular Los aceros tienen carbono entre 0,03 a 2 % de carbono.

Los fierros fundidos tienen carbono entre 2 a 6,666%

Los fierros nodulares tienen carbono igual al hierro fundido más magnesio entre 0,04 a 0,1 %.

### **Desde el punto de vista metalográfico**

Tal como lo muestran las tres vistas metalográficas presentan tres granos en cada vista.

El acero no tiene carbono segregado.

El hierro fundido (fofo) tiene carbono segregado en forma laminar.

El hierro nodular (fono) tiene carbono segregado en forma de bolitas.

### **Desde el punto de vista físico. (resistencia a la tracción =RT)**

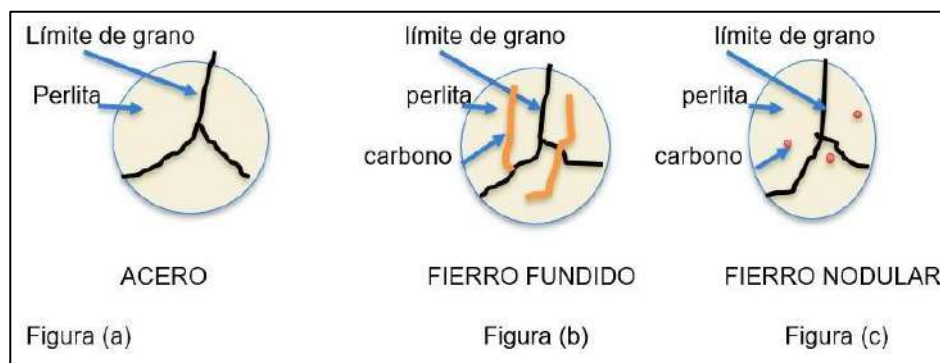
RT del acero es alrededor de 70  $kg/mm^2$ .

La RT del hierro fundido tradicional es alrededor de 14 a 25  $kg/mm^2$ . La RT del fofo (fundición acerada) es alrededor de 38  $kg/mm^2$ .

La RT del hierro nodular es alrededor de 60  $kg/mm^2$ .

Las diferencias entre el hierro tradicional y la fundición acerada se deben a que la fundición acerada tiene menos azufre y menos fósforo que son elementos contaminantes y debilitan al metal porque se ubican en los límites de grano y son fáciles de partir por esa zona. Metalográficamente el carbono segregado de la fundición acerada es laminar, pero de tramos cortos. En cambio, el hierro fundido tradicional también puede ser laminar pero sus láminas son largas. En cuanto a la RT la fundición acerada llega a  $38 \text{ kg/mm}^2$  mientras el hierro fundido tradicional solo llega a  $25 \text{ kg/mm}^2$ .

**Figura 5.** Vista metalográfica de aleaciones hierro carbono



**Comparación de la fundición nodular con la mal llamada fundición maleable y otras fundiciones.**

Los metales se valoran en base a tres propiedades, estas son químicas metalográficas y físicas. Quiere decir si yo quisiera diferenciar o comparar dos o más metales debo de recurrir a las características mencionadas

**Diferencias entre la fundición acerada y la fundición nodular.**

Químicamente ambas fundiciones tienen el mismo contenido de carbono, de la misma forma se podría decir del silicio y manganeso, en donde existe una gran diferencia es en el contenido de azufre fósforo y oxígeno, si en la fundición nodular llegaran a cero en

estos elementos contaminantes sería excelente y si pudiéramos introducir 0.1% de magnesio lograríamos el mejor nodular del mundo.

### **Metalográficamente**

El carbono segregado en la fundición acerada se encuentra en forma de láminas cortas, mientras en la fundición nodular se encuentran en forma de bolitas. La fundición acerada ante el golpe se parte. La fundición nodular ante el golpe se dobla

La fundición acerada es la materia prima para la fabricación del hierro nodular.

### **Diferencias entre la fundición nodular. Y la fundición maleable**

Existen dos tipos de fundiciones maleable, fundición maleable de núcleo blanco (FOB) y fundición maleable de núcleo negro (FON). Los dos tipos de fundiciones tenían que partir de fierros blancos. El FOB tenía que partir con 2,5 % de carbono, el FON se iniciaba con 3.0% de carbono, las dos aleaciones requerían ser cubiertas con cajones de hierro fundido para su tratamiento térmico. Al FOB en la caja se le agregaba viruta de hierro para que el óxido reaccione con el carbono sacándolo del metal y deje una lámina parecida al acero. En cambio, al FON se le cubría con arena de la tal manera que pueda haber difusión del carbono y formar una especie de rosetas con el carbono. Lo penosa era que después se tenía que hacer tratamiento térmico de 5 días las 24 horas del día. Se imaginan Uds. la cantidad de combustible que gastarían teniendo los hornos a 1000 °C para que las piezas se mantengan a 850 °C y el término del trabajo arroje solo un 50 % de rendimiento.

La necesidad de este material era porque se requiera que algunas piezas tengan cierta flexibilidad y estos materiales lo tenían. Solo alcanzó de RT de 40 kg/mm<sup>2</sup>

A este material que lo llamo fundición mediocre porque desde el nombre lo bautizaron mal porque maleable es un material que se puede laminar y dúctil es el material del cual se puede transformar en hilos. Con esta crítica no quiero irme contra los autores porque ellos hicieron algo que otros ni siquiera lo podían imaginar, a veces nos ponemos intolerantes sin pensar que el mundo tiene que ser así porque cada día que pasa el mundo tiene que ir avanzando

La fundición nodular reemplazó a la fundición maleable llegando alcanzar 60 kg/mm<sup>2</sup>, pero no solo por eso si no también porque no se requería de tratamiento térmico que era sumamente caro y la materia prima se fabricaba en la misma fundición, con fundición nodular podíamos fabricar piezas mucho más grandes porque a los hornos rotativos lo convertimos en reactores y se podían fundir piezas de 2 000 kg de ferro nodular.

Ejemplo para obtener 200 kg de fundición nodular a partir de fundición acerada.

#### **Composición química de fundición acerada**

C=3,1%, Mn=0,6%, Si=1,8%, S=0,12% P=0,04%, O=0,01%.

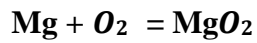
#### **Fundición nodular**

C=3,1%, Mn=0,4%, Si=1,8%, S=0,001%, P=0,04%, O=0,01%.

El magnesio en contacto con el fierro fundido derretido es explosivo, pero se puede controlar con el método fierro nodular 10BCC en donde al mismo tiempo se extrae oxígeno y azufre; se pierde 0,6 % de silicio que se tiene que recuperar adicionado ferro silicio al 75% ya sea por inoculación en otra callana o adicionando en la caja de reacción. En ese mismo instante se debe quedar en el nuevo metal entre 0,04 a 0,1% de Mg.

Oxígeno contenido en los 200 kg de fundición acerada

$$(0,01/100)200=0,02 \text{ kg de oxígeno}$$

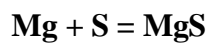


$$24 + 32 = 56 \text{ Pesos moleculares}$$

$$X=(0,02 \times 24) = 0,015 \text{ kg de Mg}$$

Azufre contenido en 200 kg de fundición acerada

$$(0,12/100)200=0,24 \text{ kg de azufre}$$



$$24 + 32 = 56 \text{ Pesos moleculares}$$

$$Y = 0,24Y=(0,24 \times 24)/32 = 0,18 \text{ kg de Mg}$$

Magnesio puro que debe quedar en el hierro nodular:

$$(0,1/100)200 = 0,2 \text{ kg de magnesio}$$

Considerando 90 % el rendimiento de Mg,

$$\text{El Mg total utilizado será: } (0,15+0,18+0,20)(90/100)=0,356 \text{ kg}$$

### **Consideraciones**

Con el hierro fundido tradicional se puede hacer comparaciones con la fundición acerada, ya lo hemos analizado y la fundición acerada duplica las propiedades de la fundición tradicional. Con la fundición tradicional no se debe fabricar hierro nodular porque sale frágil



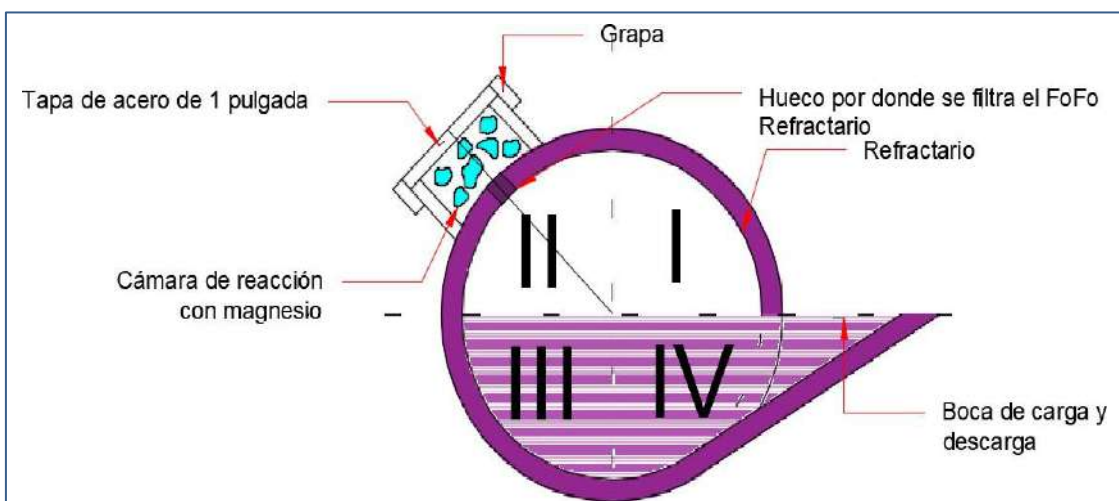
la pieza, debido al exceso de fósforo que contiene; la fundición. acerada es la materia prima ideal para fabricar hierro nodular. A continuación, les presento gráficamente el proceso de fabricación del hierro nodular: Callana cilíndrica (recipiente para transportar metal líquido) que sirvió como punto de partida para idear el reactor.

**Figura 6.** *Callana horizontal*

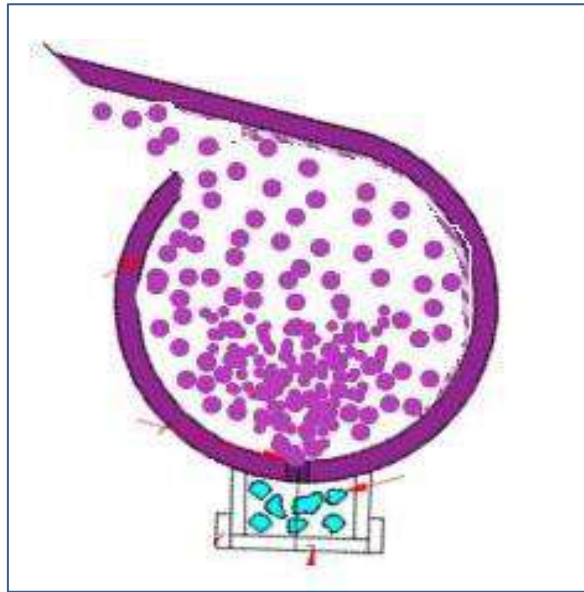


Después de siete meses; se produce la primera idealización del reactor. Estando en Chimbote de inmediato se trasladó a Lima para construirlo.

**Figura 7.** *Reactor para producir hierro nodular*



**Figura 8.** Reactor para producir hierro nodular



La explosión siempre se produce, pero dentro del hierro fundido y ha sido todo en forma muy pasiva por la forma del reactor. El Mg desoxida, desulfura y se queda dentro del hierro fundido (fofo) de 0,04 a 0,1 %. También explosiona con una fuerza equivalente a 10 llantas de camión, eso se debe a su bajo punto de fusión y ebullición. También hay gran desprendimiento de luz blanca debido al Mg. Esto quiere decir que los electrones del Mg se alejan rápidamente a niveles de energía más apartados del núcleo del átomo, creando espectros blancos que manifiestan esa luz blanca intensa que ha sido transportada por fotones. En el gráfico 2 se presenta la primera imaginación que se tuvo cuando después de siete meses todavía no habíamos conseguido nada estas dos vistas lo desarrollé mentalmente sin ningún gráfico manual eso se consigue en la industria porque todas las máquinas son cuerpos vistos en volumen y uno se acostumbra pensar en volumen por eso siempre sugiero a las personas que enseñan, que los estudiantes tengan prácticas para desarrollar problemas en volumen, todo se debe hacer empleando las tres dimensiones, en un salón de clase solo se piensa en dos dimensiones eso se comprueba cuando al alumno se les hace preguntas de geometría del espacio en un examen de geometría del espacio casi todos desapruueba, yo creo

hasta el profesor. Sigamos con nuestro reactor que lo tuve en la cabeza dando vueltas. Concebida la idea lo giraba para todos lados para saber si algo fallaba y por fin en mi cabeza todo estaba bien nada fallaba así que me alegré mucho luego lo dibujé en volumen y posteriormente le saqué las vistas necesarias para poderlo construir. Era sábado y me encontraba en Chimbote recién había llegado de Lima así que nuevamente hice mi maleta para regresar nuevamente a Lima. Así que el domingo tempranito estuve con las dos personas más colaboradoras.

### **Manera de la forma como se creó fundición nodular**

Ya dijimos las deficiencias por la que pasaba la llamada fundición maleable; tenía cierta flexibilidad, pero había dificultades para obtener su composición química y mucho más los gastos que se tenía que hacer por su largo tiempo de tratamiento térmico eran 5 días con sus noches.

Un día en una reunión de ingenieros metalurgistas de la UNI me enteré que en Alemania estaban fabricando un material flexible a partir de fierro fundido. Esto quería decir que estaban fabricando un competidor de la mal llamada fierro maleable que al comienzo lo hacían con cerio y que después lo cambiaron por magnesio que daba mejores resultados.

Esa fue una noticia clave para nosotros porque yo conocía casi todo lo referente al magnesio porque en la UNI en el curso de físico química me habían designado para realizar un estudio del magnesio y pensaba que todo lo sabía con respecto al magnesio pero no fue así; porque cuando corté un pedacito de magnesio para agregar a una callana llena de metal produjo la desgracia que jamás pude pensar; explotó tan fuerte como si fuera una dinamita el más afectado fu yo. Ahora lo que tenía que combatir era una sola cosa la explosión que lo conseguí después de siete meses, para esto me sirvió de inspiración dos callanas

cilíndricas. Lo idealicé en la ciudad de Chimbote en la tierra que nací, luego me dirigí a Lima a encontrarme con el Sr. Vargas y el Sr Torres y nos pusimos a trabajar llegando a terminar el reactor, Al día siguiente el Sr Torres quedó en revestir el reactor con masa refractaria. En la tarde estuvimos fundiendo. Sacadas las piezas del molde lo probamos y en el primer impacto se rompió, la fractura era blanca lo único que esperábamos era que se doble. Estando un poco desmoralizados hice que se sometiera a tratamiento térmico de recocido durante dos horas porque la pieza tenía dos pulgadas de espesor al día siguiente lo fuimos a probar y al agarrarlo a golpes se dobló eso significaba que ya habíamos obtenido fierro nodular, era la primera vez que conocía la fractura de un fierro nodular era muy parecido al acero. Todos nos alegramos y algunos no podían controlar las lágrimas. Nos sentimos muy capaces de crear nuevas cosas es algo indescriptible. Ya no quiero seguir recordando.

#### **Fundición nodular para bajo contenido de azufre.**

La explosión se puede evitar aleando ferro silicio al 75 % con magnesio dependiendo de la cantidad de magnesio que se quiera utilizar; a mayor magnesio más fuerte es la reacción. Para obtener la aleación conocida también como ALEACIÓN. Primero se funde el ferro silicio hasta llegar a la zona pastosa, no es necesario llegar a la zona líquida, porque es una reacción sumamente exotérmica. Luego se agrega magnesio de VW y se mezcla sin explosionar; la cantidad de magnesio por adicionar puede ser de 5 a 10%. Estas aleaciones no se utilizan para fierros fundidos de alto contenido de azufre porque el magnesio no alcanza para desoxidar, desulfurar y quedarse en el metal de 0,04 a 0,1 % de magnesio en el metal. La reacción es suave, pero sigue desprendiendo alta luz blanca. En forma Industrial a partir de la arena de sílice y acero y utilizando horno eléctrico de arco se obtiene ferro silicio de 75 % al que se le agrega magnesio y obtenemos ALEANTE. Se

debe tener presente que, una vez producida la reacción del magnesio con el hierro fundido, esto quiere decir formado el hierro nodular, a los 15 minutos se empieza a evaporar el magnesio que no se encuentra cubierto con tierra de moldeo seca.

### **Alto horno**

El hierro en la naturaleza se encuentra como óxido de hierro, nunca se encuentran como hierro puro. Existe la necesidad de quitarle el oxígeno que se encuentra unido al hierro para que quede el hierro solo. Existen muchos métodos para separar el oxígeno del hierro pero el que se impuso en el Perú fue utilizando un horno muy alto, conocido como alto horno. Este horno en su carga trabaja con pellets que es el mineral sinterizado, también trabaja con coque que es un carbón que ha sido procesado mezclando carbón bituminoso de diferentes regiones de Europa y luego fundido para eliminar todas sus impurezas gaseosas, a pesar de eso se queda el coque con la impureza más dañina, el azufre en un promedio de 1 %. Otra sustancia de carga es la caliza que viene a ser el carbonato de calcio que en el alto horno se descompone formando cal más gas carbónico. La cal es una sustancia básica. Otro elemento de carga es la cuarcita que viene a ser el óxido de silicio que resulta ser una sustancia ácida. Unida la cal y la cuarcita ellas se funden a los 1 200 °C formando una masa líquida capaz de atrapar las impurezas como el azufre, pudiéndolo atrapar solamente hasta 50 %, por eso el Ing. debe controlar la cantidad de azufre que ingresa al horno y por deducción matemática debe conocer que cantidad de azufre va a obtener en el arrabio.

### **Comparación alto horno y el horno de cubilote.**

Era necesario, hacer esa comparación, pero primero teníamos que analizar ambos hornos que, por supuesto a ambos los conocía en forma práctica, tenía que empezar haciendo un análisis teórico, ya que se quería hacer algo que no existía y sus resultados

podían ser nuestro éxito o nuestro fracaso. En fin, era hacer arrabio sin emplear el alto horno, y quería fabricar arrabio, porque los hornos que teníamos eran rotativos y sin arrabio no darían un buen material.

### **Horno de cubilote**

Los hornos de cubilote pueden trabajar con chatarra de ferro fundido porque este es un horno que aumenta el carbono; en cambio el horno competidor de este horno es el horno rotativo que disminuye el carbono por lo tanto no puede trabajar solo con chatarra se le tiene que incrementar carbono y para eso servía el material que vendía SIDERPERÚ. Esa ha sido unas de las causas para casi desaparecer al horno rotativo que producía material superior al horno de cubilote. Las fundiciones en su afán de trabajar con material de alto carbono y bajo fósforo empezaron a buscarlo y otros como nosotros a intentar fabricarlo.

Para fabricar otros hornos teníamos que analizar bien al alto horno. Este horno tiene una altura de cama de 4 a 5 m. (cama es la altura de coque desde el nivel de toberas hacia arriba quiere decir que está comprendida dentro del etalaje sin contar con la altura del coque del crisol).

El horno de cubilote donde se iba a ser las pruebas tenía solamente 50 cm. de diámetro y por lo tanto 7 veces su diámetro para hallar la altura que viene a ser 3,50 m; todos pensamos que se podía quedar el material atascado dentro del horno, para eso se preparó muy bien la solera del horno para caso de emergencia.

Al horno se le calentó de un día para otro durante 10 horas; para encontrar el punto de ignición (temperatura de encendido) de la antracita que utilizamos se utilizó leña dura tipo algarrobo de 80 cm de altura en posición vertical en doble estrato, el carbón se calculó en 400 kg incluyendo el crisol hasta un metro por encima de las toberas, en 10 horas los 400 Kg de carbón estarían encendidos incluso hasta las paredes del horno que deberían de tener un color amarillo rojizo. Verificada la altura de la cama que hasta ese momento debería ser lo más

importante se empezó a cargar el horno, primero se agregó caliza, 5% el contenido de la cama que viene a ser 20 kg. para formar la primera escora que absorba restos de refractario y las primeras cenizas, luego agregaríamos el acero que tendrá que ser 5 veces el contenido del carbón y el carbón tendría un volumen igual al diámetro del horno por una altura de 16 cm. en este volumen están comprendidos los huecos que se forman entre carbonos.

Para no alejarnos de nuestra prueba el peso del carbón fue de 30 kg y el acero de 150 kg. estando todo el horno cargado hasta el tragante recién prendimos el ventilador y a los 15 minutos empezaron a salir las primeras gotas de fierro que al comienzo no sabíamos que eran gotas de acero o gotas de fierro fundido pero a los 3 o 4 minutos se sacó una muestra triangular la que sirve para comprobar la cantidad de carbono y silicio tiene la muestra; partimos la muestra y estaba frágil con lo que verificamos que el material era fierro fundido pero no pudimos imaginarnos que cantidad de carbono tenía y que eso era lo que buscábamos.

En cuanto al sangrado (salida de metal o colada) del horno el flujo del metal era normal bastante caliente y eso era lo que nos alentaba. Todo fundidor es un especialista en detectar muy aproximadamente la composición química, en este caso con la fractura de la muestra no pudimos, entonces optamos por llevarlo al laboratorio, los resultados nos entregarían al día siguiente mientras tanto nosotros tuvimos un conversatorio y lo que más nos sorprendía era que habíamos inoculado ferro silicio de 75 % en varas coladas porque picamos al horno en 5 oportunidades y todas las fracturas eran parecidas, al día siguiente nos entregaron los análisis y nos dimos con una gran sorpresa que el carbono era de 3,1 % Si =1,8 % Mn=0,3 %,S=0,12%,P=0,04%,Cr=0,5 %.

Fue una gran alegría para todo porque el carbono nos daba una cantidad inesperada se podía fundir directamente sin tener que pasar dos veces y lo blanco de la fractura se debía al cromo que toda bola de molino tiene, también parte de esa culpa era nuestra por permitir

que nos traigan bolas de molino, pero lo importante era que el problema ya estaba resuelto, aunque siempre nos acordaremos del cromo que es un gran blanqueador otros lo llaman achilado. Así, que se decidió a ojo cerrado como dicen los fundidores cambiar las bolas de molino por recortes de planchas de acero.

Esta vez se fundía con gran tranquilidad, primero se moldeó toda una cancha como para fundir 6 toneladas. Se prepararon los cortes de acero y se procedió a fundir. El material salió gris y de buen aspecto.

### **Seguridad**

Siempre hemos considerado que la seguridad del personal es lo más importante, el personal debe tener sus zapatos con punta de acero, que los pasadores cumplan su fin de asegurar bien los pies; porque ni la experiencia me dice como ingresan partículas de fierro caliente a la punta de los dedos, usar escaarpines y mandil de cuero, no debe faltar casco, protectores de ojos y caretas que deben ser indispensables.

Un horno de cubilote es preferible que se cargue mediante un carrito que trabaje automáticamente; Que llegado a la sima del horno voltee solo su carga, y luego regrese y pare para continuar cargando; esto no quiere decir que no haya ningún personal en la parte alta del horno; la plataforma superior del horno debe ser amplia para que se puedan desplazar por lo menos dos hombres con la finalidad que si hubiera un posible “atracción” de fierro se pueda destrabar de inmediato porque cualquier irregularidad en la carga significa baja de temperatura en el metal y eso es sinónimo de piezas con huecos que se consideran inservibles.

Un cubilote para fundir fundición acerada creíamos que debería tener por lo menos el doble de la altura del crisol del cubilote tradicional con la finalidad que el fierro fundido



pueda asimilar más carbono; en las pruebas realizadas la altura del crisol fue 2,2 el diámetro del crisol, como el diámetro del crisol fue de 50 cm la altura tuvo 1,1 m. También consideramos crear mayor presión dentro del horno reduciendo el diámetro del extremo del horno de 50 cm a 40 cm.

Determinar los parámetros de control que deben considerarse para el diseño y construcción de un horno de cubilote modificado para fundición acerada.

Para construir un horno de cubilote se necesita rolar una plancha para convertirla en tubo, el rolado se hace a la altura de la av. Naranjal en la primera cuadra existen varios rodadores. El producto que entregan debe ser muy bien controlado en cuanto a las medidas. Posteriormente se tiene que soldar el tubo puede ser solamente con soldadura punto azul, pero si por ambas caras de la unión. A continuación, se compra o se puede fabricar un ventilador de ocho caballos con su motor incorporado. Todo esto se hace para nuestro caso. Posteriormente se construye un recuperador de calor formado por dos tubos concéntricos cuyo radio tiene una separación de 1,5 pulgadas. El tubo que ya debe estar soldado se le hacen cuatro huecos de 4,5 pulgadas para dar ingreso a las toberas, luego se construye una mesa con patas de tubo de seis pulgadas de diámetro de  $\frac{1}{4}$  pulgadas de espesor, las que deben estar separadas 1,15 metros, la mesa debe tener una altura máxima de 0,80 metros de altura.

Luego se empieza armar el cubilote, para esto se ha construido un piso de concreto de 2 m x 2 m donde se empotran las cuatro patas de la mesa luego se coloca encima de la mesa el tubo de acero que ha sido bien soldado enseguida se colocan las toberas y la cintura de viento. El pre calentador de aire mediante un tubo se conecta con la cintura de viento del cubilote. Posteriormente se conecta el ventilador con el pre calentador de aire. Luego al fondo del tubo que está colocado sobre la mesa se le coloca una plancha circular cuyo diámetro exterior debe coincidir con el diámetro del tubo. La plancha que se coloca

debe tener un hueco central de 0,50 metros de diámetro que va a ser de 1/4 de pulgada de espesor y eso es lo que va a resistir todo el peso de los ladrillos refractarios. Al tubo vertical se hacen los huecos para que se ubiquen la piqueta y por detrás a la altura de un metro se coloca el escoriado un poco menos de tamaño que la piqueta. En seguida se construyen los rieles que van a servir para que suba el carro y deposite el material; estos rieles deben estar posicionados a la altura entre la piqueta y el escoriado de tal manera que no obstruya el trabajo en estos dos puntos. Luego se construye una plataforma de 3 m x 3 m a la altura del tragante del horno para que dos operarios controlen que el horno no se atore; un atoro puede disminuir la temperatura y provocar piezas con huecos que recién se distinguen con el mecanizado si salen huecas de inmediato serán rechazadas y esto significa una gran pérdida

### **Sugerencias**

Es mejor presentar las hipótesis de la investigación a estas alturas porque considero que es una respuesta al problema planteado.

Convertiría el acero en fundición acerada incrementándole carbono al acero a altas temperaturas utilizando un horno de cubilote.

Obtendría fundición nodular utilizando un equipo que controle la explosión y al mismo tiempo introduzca el magnesio.

### **¿Ha construido el equipo a nivel laboratorio o a gran escala?**

El equipo se ha construido a gran escala, pero los ensayos previos se desarrollaron a pequeña escala porque por más que el diseño se encuentre bien hecho siempre existen pequeños detalles que podrán acomodarse o variar

### **¿De qué material se debe construir el equipo? ¿Por qué?**

La estructura como el mismo horno de cubilote, la plataforma, los tubos de soporte, como el recuperador de calor, el ventilador, los rieles y el carro cargador son de acero, porque van a soportar mucho peso y también algo de calor y algunos imprevistos de muy alta temperatura. Pero el interior del tubo correspondiente al horno de cubilote es de ladrillo refractario en dos capas una de ladrillo de baja conductividad térmica y otra capa interna de alta resistencia a la tracción

El reactor es más simple se usa un tubo de 1 m de largo por 1 m de diámetro una caja de reacción un eje de 1,5 pulgadas de diámetro planchas adicionales para colar; todo esto es de acero, interiormente es revestido con masa refractara.

### **¿Qué cantidad de materia prima necesita para producir 6 toneladas diarias?**

En cada fundida sobra material, nosotros lo llamamos retorno; que viene a ser el 30% de lo colado; para fundir 6 toneladas. necesito comprar  $6000 + ( 5/100 ) 6000 = 6300$  kg. Se considera por pérdida 5 %.

### **¿Cuántos proveedores de la nueva materia prima existen en Huacho?**

Nosotros distribuimos a comerciantes que a su vez lo distribuyen a todas partes del Perú, pero actualmente existen otras fundiciones que también fabrican fundición acerada. Como anécdota les diré que en un determinado día me llamaron para solucionar un problema en una fundición y el ingeniero no me conocía y me empezó a hablar de fundición acerada y yo le dije a qué bien, y nada más. Luego procedí a ponerme de acuerdo con el dueño sobre un problema de arena que tenían y le cobré una cantidad determinada; ¡y porque tanto ingeniero!, me dijo, yo le dije para Ud. ¡eso es pequeño! para la alegría que va a tener

porque yo saliendo de esta fundición tendría solucionado su problema que estoy seguro si lo deja así lo llevaría a la quiebra. ¿Que ya tiene la solución? .Claro yo soy veloz, le dije. Y me tuvo que pagar hasta por usar fundición acerada sin mi permiso.

Fundición acerada soluciona el problema de escases de materia prima, es doble en resistencia que las fundiciones tradicionales, pero también arrastra un problema de tierras, quiere decir que viene con candado.

Fundición nodular también arrastra problema de tierras quiere decir que también tiene candado.

### **¿Qué cantidad de calor necesita para iniciar la fundición?**

Existe una etapa entre el encendido del horno y el inicio de la fundición quiere decir el sangrado. Para iniciar el encendido se colocan leñas paradas de 80 cm de largo aproximadamente unas 10, como son dos filas serían 20 con un peso aproximado de 30 kg siendo el poder calorífico de la leña de 5 200 kilocalorías/kilogramo de leña; lo que significa  $5200 \times 30 = 156\ 000$  kilocalorías luego se le agrega 400 kg de antracita, con poder calorífico de 7 900 kilocalorías/kilogramo de antracita, lo que significa  $7900 \times 400 = 3\ 160\ 000$  kilocalorías. Posteriormente se repiten tres cargas de 150 kg. de recortes de acero más 30 kg. de antracita, más 4,5 kg. de caliza. Como dijimos tres cargas que deberían llenar el horno, si no llenara se sigue con la secuencia, pero siempre se tiene que tener el horno lleno. En estas tres cargas suman 90 kg de antracita, lo que significa  $7900 \times 90 = 711\ 000$  kilocalorías.

Cantidad de calor para iniciar la fusión:  $156\ 000 + 3\ 160\ 000 + 711\ 000 = 4\ 027\ 000$  kilocalorías

**¿A qué temperatura trabaja el horno? ¿Cuál es la temperatura máxima de operación?**

El horno trabaja a distintas temperaturas: En la boca del horno por donde ingresa la carga debe estar a 800 °C; en la mita del horno debe estar a 1 200 °C; a la altura de las toberas debe estar a 550 °C; en el crisol de 1 450 a 1 500 °C en el sangrado se mantiene de 1 450 a 1 500 °C; en el momento de colar al molde de 1 400 a 1 450 °C.

Por lo tanto, la máxima temperatura del horno es de 1 550 °C. En todas las coladas las temperaturas no son iguales varían entre  $\pm 50$  °C. Sin embargo, el fundidor debe mantenerlo en la temperatura más alta, porque las temperaturas bajas podrían producir poros o huecos en la pieza fundida.

**¿Qué tipo de soldadura presenta su horno modificado?**

El horno de cubilote no requiere de alguna soldadura especial porque no se encuentra sometido a ninguna presión que corra peligro por eso se utiliza soldadura corriente puede ser cello Cord o soldadura punto azul. En nuestro caso usamos soldadura cello Cord.

En donde se tiene que cuidar mucho es en el reactor para fabricar fierro nodular 10BCC porque está sometido a altas presiones tiene que soldarse con supérsite y por ambos lados así mismo las tapas deben ser bombeadas incluso se le ponen cartelas y se utilizan planchas de 3/16 pulgadas para la estructura y tapa de 1 pulgada de espesor. En las prácticas con los alumnos le rebajo el potencial del magnesio a 10 %.

**¿Qué equipos auxiliares necesita para el correcto funcionamiento del horno?**

A parte de los equipos de seguridad que son indispensables, de lo contrario no se debe fundir. Los equipos auxiliares que son necesarios son un equivalente a dos cilindros de

arena, también se necesita un cilindro con agua y un caño con 7 m de manguera.

**¿Qué cantidad de coque será necesario para llegar a la temperatura de operación?**

Nosotros en el Perú fundimos con antracita que es un carbón de roca y empleamos 400 kg para la cama más 90 kg para llenar toda la columna como ya lo dijimos anteriormente que viene a ser un total de 490 kg. Si fuera coque de buena calidad usaríamos  $(4/5)490 = 392$  kg.

**¿Cuál es la relación aire/combustible para que se logren las condiciones de operación?**



12 kg de carbono + 32 kg de oxígeno = 44 kg dióxido de carbono

Si el aire tiene 21 % de oxígeno

12 kg de C      32 kg de O<sub>2</sub>

X ----- 21 %      ----- X = 12 x 21/32 kg de carbono

Considerando 1 % de argón a favor de nitrógeno.

El carbono total será:

12 x 21/32      21 %

----- 100 %      ----- Y = 37,5 kg de carbono

El carbón tiene 20 % de cenizas

37,5 kg de carbono      80%

----- 100 % ----- Z = 46,875 kg de carbón

Relación teórica aire/combustible =  $100/46,875 = 2,13$

Para la relación práctica hay que incrementar el 15 %

$(15/100) 2,13 = 2,45$

### **¿Existe caída de presión en su equipo? ¿Cómo la determinaría?**

Las tuberías usadas en los hornos de cubilote por lo general son de 6 pulgadas, y para medir el caudal o la caída de presión se busca en la tubería una zona libre y recta de por lo menos diez veces el diámetro del tubo; y se coloca interiormente un anillo que reduzca el diámetro del tubo a 5 pulgadas y a ambos lados del anillo se colocan por la parte exterior dos tubitos de por lo menos  $\frac{1}{4}$  de pulgada y se unen con una manguerita transparente que se pueda observar las diferencias de altura; los tubitos están colocados en la parte inferior del tubo para que se produzcan las diferencias de altura. Durante el fundido se observa de vez en cuando.

### **¿Cuáles son las dimensiones de su equipo?**

El cubilote tiene 3 m de ancho, 4 m de largo y 5,5 m de altura. En donde están considerados el carro de carga, la plataforma y en recolector de polvos

El reactor tiene 1 m x 1 m x 1 m. Tiene forma cilíndrica, pero tiene accesorios como un pico especial y una caja reactor a.

### **¿Cuál es la altura máxima de llenado de su equipo?**

El horno de cubilote siempre debe estar lleno de lo contrario saldrían las piezas malogradas.

El reactor obligatoriamente debe trabajar al 50 %.

¿Cuál es el tiempo de residencia de la materia prima en el equipo?

En el horno de cubilote pasa toda la carga en 45 minutos.

Corre peligro de evaporarse el magnesio y convertirse el fierro nodular en fierro fundido. Solo se garantiza la permanencia del magnesio en la callana 15 minutos luego empieza a evaporarse.

**¿Qué tiempo demora el proceso, desde que ingresa la materia prima hasta que se obtiene el fierro nodular?**

Desde que ingresa la materia prima al horno de cubilote hasta que sale del horno demora 45 minutos y desde que ingresa al reactor hasta colar demora 5 minutos en el reactor y 2 minutos hasta llegar al molde en total demora de 52 a 60 minutos.

**¿Qué otros insumos se necesitan además de la materia prima?**

Aparte de la materia prima se requiere de ferro ale antes como ferro silicio y ferro manganeso, aluminio puro electrolítico para desoxidar.

**¿La reacción que sucede dentro del equipo es exotérmica o endotérmica? ¿Se necesita algún refrigerante?**

En el horno de cubilote se producen reacciones exotérmicas y endotérmicas, por ejemplo, en la reacción entre el oxígeno del aire con el carbono del carbón, las reacciones son exotérmicas tanto al producir mono o dióxido de carbono; pero cuando sube el dióxido de carbono y reacciona con el carbono se produce reacción endotérmica; eso por todos los medios tratamos de evitar, pero todo es inevitable. Pero le entramos al juego agregando



un carbón mínimo de 4 pulgadas como medida de tal manera que entre los carbones se formen huecos y el dióxido de carbono no friccioné mucho con el carbón y así salga en lo posible sin reaccionar. En las escoras también se forman reacciones exotérmicas al unirse lo básico que es la caliza que agregamos con las sustancias ácidas el hecho de bajar el punto de fusión de la escoria es una manifestación que se ha impuesto las reacciones exotérmicas porque también emiten calor.

En el reactor también se producen reacciones exotérmicas porque el magnesio reacciona con el oxígeno formando óxido de magnesio y con el azufre forma sulfuro de magnesio. Cuando se hace reaccionar al magnesio en el reactor el metal sale más caliente esa es una buena manifestación que existe fuertes reacciones exotérmicas.

También se usa refrigerante, porque es posible que a nivel de toberas se desgaste más rápido el ladrillo refractario. En el momento que esa zona tome un color diferente a toda la plancha se empieza a agregarle agua con manguera hasta que tome su color normal. El agua siempre le gana al calor. Ya que estamos hablando de refrigerantes he creado para los cubilotes un refrigerante que no permite el cambio de refractarios que puede durar N veces. En los hornos de cubilote cada colada de 6 horas hay que cambiarle el refractario de la parte desgastadas que son a nivel de toberas.

### **¿Qué tipo de controles serán necesarios para evitar el aumento de la temperatura o presión dentro del equipo?**

De lo que siempre he cuidado es de la seguridad del personal. En cada fundida debe haber un jefe que controle porque muchas veces existen accidentes por juego del personal. Los problemas existían cuando se estaban creando los dos tipos de fundiciones, pero todo peligro se superó. El aumento de temperatura en la fundición no es peligroso, al contrario

quisiéramos que en los equipos se genere más temperatura. Lo que si hay que tener cuidado con el reactor siempre se deben estar revisando las partes soldadas a pesar que después de cada fundida se saca todo el refractario para cambiarlo y al hacer eso el reactor queda limpio y libre como para revisarlo, cualquier falla el mismo operario lo detectaría.

### **¿De qué manera se controlaría la conversión de la materia prima?**

En la actualidad existen equipos para controlar la temperatura como son las termopilas con pirómetros ópticos que se colocan por lo menos en tres partes del horno; también existen los espectrómetros de masa para analizar la composición química y después las fundiciones tienen sus laboratorios para ver las estructuras metalográficas también tienen durómetros y equipos para calcular la resistencia a la tracción.

El fundidor lo primero que debe pensar es que el horno con el que se encuentra trabajando produzca metal de buena calidad

Las piezas que se funden fallan principalmente formando poros, sopladuras, incrustaciones y otro tipo de fallas menores.

Cuando falla el molde se producen sopladuras por la falta de permeabilidad del molde. En otras palabras los moldes deben ser como unas esponjas para que el agua que se evapora por acción del metal líquido salga violentamente, de lo contrario el vapor retrocedería a la pieza y se llegaría a descomponer, en hidrógeno y oxígeno, el oxígeno formará óxidos de hierro que por lo general se forma en la superficie de la pieza, pero el hidrógeno en forma atómica ingresa a la pieza ayudado por el silicio y forma unos huecos irregulares del tamaño de una lenteja por lo general, pero muchas veces cuando el vapor es excesivo forma cavidades, estas fallas en el molde se corrige regulando la cantidad de agua o con un ataque de tierra a menor presión y esto es solucionable rápida mente

Cuando falla el metal se pueden formar poros que son unos huequitos parecidos a las sopladuras, pero de superficie casi lisa y redondeada. Es necesario que el ingeniero sepa diferenciar entre sopladuras y poros para modificar el proceso.

El poro en el horno de cubilote se produce porque la chatarra llega oxidada superficialmente; pero el más alto incremento de oxígeno se hace por el ingreso del aire en donde el hierro atrapa al oxígeno formando óxido de hierro. El material fundido tiene 3.1 % de carbono y es el que reacciona con el óxido de hierro, produciendo hierro metálico más monóxido de carbono, este gas sale del metal si el hierro fundido se encuentra caliente (1 400 °C) pero si se encuentra frío (1 350 °C) se queda dentro del metal formando los llamados poros. Por eso para fundir hierro fundido en horno de cubilote el metal debe estar bien caliente, la temperatura debe estar entre 1 400 a 1 450 °C menos de esta temperatura ya se corre peligro y también esa temperatura es la ideal para la inoculación. La inoculación es la adición de ferro silicio al 75 % de silicio en la callana a la hora del sangrado siempre que al hierro fundido líquido le falte 0,30 % de silicio y con esta cantidad pueda completar su composición; y la temperatura sea como mínimo de 1 400 °C. Lo que se consigue con esta adición es que el material adquiere mayor resistencia a la tracción por la formación de más perlita y baje por completo el cementito.

El metal también contiene silicio y manganeso. Cuando el material se encuentra caliente expulsa al silicio y al manganeso como óxidos, pero si el material se encuentra frío se queda en el metal formando las llamadas incrustaciones.

Con todo respeto quisiera opinar sobre el tema escrito por los Sres. Medina López y Taco Tercero, ellos mencionan que:

Quisiera empezar preguntándoles si Uds. son conocedores de pre calentadores de aire para hornos de cubilote, porque lo que se dice que estaban midiendo partes de un

horno, que no tiene que ver nada con el aumento de calor en un horno. Mas me parece que estaban midiendo partes de un cubilote para diseñar otro igual. Como docentes me parece que está bien porque tienen interés en la práctica que es lo que les falta a los alumnos. Pero yo les recomendaría que lean primero todo lo referente a cubilotes yo les recomendaría leer Tecnología de fundición por Capello o Fundición de metales para ingenieros escrito por un profesor de metalurgia y después se acerquen al horno y midan todo lo que es necesario. Cuando uno escribe algo y lo publica debe ser algo que lo desarrolle con mucho cuidado; y que el tema sea certero; siempre existe una persona que sabe y si el tema no es correcto queda en ridículo, existen varios caminos para diseñar un horno de cubilote.

El que empleo yo es el siguiente:

Primero tengo que conocer que cantidad de fierro fundido debo de producir por hora.

Ejemplo si quisiera producir 1 000 kg/hora de fierro fundido

### **Se debe saber**

Hay que tener bien en claro que la antracita es un carbón natural que ha perdido todos sus gases, es llamado también carbón de piedra, pero también hay que tener presente que el Perú tiene grandes reservas naturales de carbón, pero por el momento la llamada antracita buena para cubilotes se encuentra en la ciudad de Trujillo y esto se debe que ninguna fundición en el País tiene recuperador de calor. Cuando se agote el llamado buen carbón las fundiciones se verán obligadas a usar recuperadores de calor. La antracita tiene 20 % de cenizas y 2 % de azufre.

El coque es un carbón producto de la unión de varios carbones bituminosos los que se funden, se le extraen todos los gases y el residuo es el coque que tiene solo el 10 % de cenizas y solamente 1 % de azufre. El buen coque es el que produce Corea del sur, los otros

coques que se pueden comprar en el mercado internacional son de muy dudosa calidad, porque nosotros ya hemos pasado por esa experiencia, sobre todo en América del Sur.

Esto quiere decir que como segunda consideración se debe tomar en cuenta el tipo de combustible a usar. Para el caso de nuestro Perú el diseño se empezaría por lo siguiente:

$$\left( \text{Área en } dm^2 \right) (\text{producción en kg por cada hora y por } dm^2) = (\text{Producción en kg})$$
$$\pi d^2/4 \times 47 \text{ kg/h} \times dm^2 = 1\,000 \text{ kg}$$

$$d = 52 \text{ cm}$$

El valor 47 es el resultado de haber consultado con distintas fundiciones de lo cual se sacó ese promedio. La altura del cubilote también es un valor práctico y se considera 7 veces el diámetro, lo que vendría a ser 3,64 m.

El diámetro de las toberas varía entre 4 a 5 pulgadas de diámetro en los cubilotes muy grandes podrá llegar a 5,5 pulgadas no más porque en los cubilotes muy grande se debe aumentar el número de toberas.

Para nuestro cubilote se emplean 4 toberas de 4,5 pulgadas de diámetro

La altura del crisol se considera en base a la cantidad de material que quiero obtener dependiendo del tamaño de las piezas que deseo colar. Al crisol no lo considero como carburante porque de acuerdo a mis experiencias carbura un valor insignificante. La altura del escoriado empieza a 5 cm sobre el crisol y las toberas a 10 cm sobre el escoriado.

## **Otras técnicas de recolección de datos.**

La recolección de datos es química, física y metalográfica, para ambos procesos que se tenga en cuenta que fundición acerada y fundición nodular no son simples aleaciones si, no son creaciones de dos nuevos procesos. Estos dos metales fundición acerada y fundición nodular pueden ser de estructura perlítica, cementítica, ferríticas y atruchadas, incluso se le puede hacer tratamiento térmico de recosido, templado, normalizado, revenido y otros.

### **1. En el caso de fundición acerada**

#### **Composición química:**

C=3,1%, Si=1,8%, Mn=0,7%, S=0,12%, P=0,04%,  $O_2=0,01$

#### **Propiedades físicas:**

- Resistencia a la tracción 38 kg/mm<sup>2</sup>
- Metal flexible.

#### **Estructura metalográfica**

- Carbono laminar (láminas cortas).
- Matriz perlítica entre fina y media.

### **2. En el caso de fundición nodular**

#### **Composición química**

C=3,1%, Si=1,8%, Mn=0,4%, S=0,001%, P=0,04%,  $O_2 = 0,001\%$

#### **Propiedades físicas**

- Resistencia ala tracción 60 kg/mm<sup>2</sup>
- Metal flexible.

#### **Estructura metalográfica**

- Carbono esferoidal.
- Matriz perlítica media.

### **Otras técnicas para el procedimiento de la información.**

En el caso de fundición acerada la información fue la observación detallada de un alto horno en la que imaginaria mente mantuve la idea que el horno se podía dividir en dos partes; una era la parte superior que se podía pensar que hasta el vientre se le podía considerar como zona de reducción que era no útil para nuestro proceso y la parte inferior que lo formaban el etalaje y el crisol ya se había convertido en fierro con cero de carbono equivalente a un horno de cubilote que se cargue con acero. Eso fue lo que saqué del alto horno. Luego fueron las pruebas que realicé con un horno de crisol en donde introduje una varilla de acero de bajo carbono que también esta graficado en la presente tesis. Luego todo fue perseverancia.

En el caso de fundición nodular. Me informé en una reunión que tuve con dos ingenieros metalurgistas me dijeron que en Alemania estaban fabricando una fundición flexible a partir de fierro fundido mediante la adición de magnesio; como estaba deseoso de fabricar una fundición flexible que reemplacé a la fundición maleable así que empecé a probar la adición de magnesio a una callana que contenía fierro fundido en eso explotó hiriendo a varias personas u n o de ellos fui yo. Nunca supe de esa propiedad del magnesio con el fierro fundido, como a mí me gustan los retos analicé minuciosamente lo que pasó y lo que podría pasar. Las conclusiones fueron que había que cuidarse únicamente de la explosión, para diseñar ese reactor me demoré siete meses a las finales lo logré; todo el proceso lo describo en este estudio.

#### 4.1.1. Datos obtenidos de fundición acerada.

La información obtenida durante el tiempo de experiencia de la fundición acerada se detalla en la tabla 2 que se describe a continuación.

**Tabla 2.** *Datos registrados de la fundición acerada de la experiencia*

N°	%C	%Si	%Mn	kg/mm <sup>2</sup>
1	3.10	1.80	0.70	38.00
2	3.16	1.81	0.68	37.88
3	3.12	1.81	0.71	38.04
4	3.08	1.79	0.67	38.01
5	3.16	1.78	0.68	37.88
6	3.24	1.82	0.72	37.98
7	3.09	1.83	0.68	38.05
8	3.15	1.75	0.71	38.12
9	3.02	1.78	0.69	37.78
10	3.21	1.80	0.71	37.97
11	3.02	1.78	0.69	38.32
12	3.17	1.79	0.72	38.02

De la tabla 2 se tiene una descripción de la composición química y la resistencia a la tracción de fundición acerada que recopiló durante el transcurso de la experiencia en el tiempo respecto al porcentaje de carbono, silicio, manganeso y la resistencia a la tracción expresado en kg/mm<sup>2</sup>. La composición promedio de carbono se tiene 3.1%, 1.8% silicio, 0.7% magnesio, y 38.00 kg/mm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción.



**Tabla 3.** Coeficiente de regresión lineal para la resistencia a la tracción de la fundición acerada

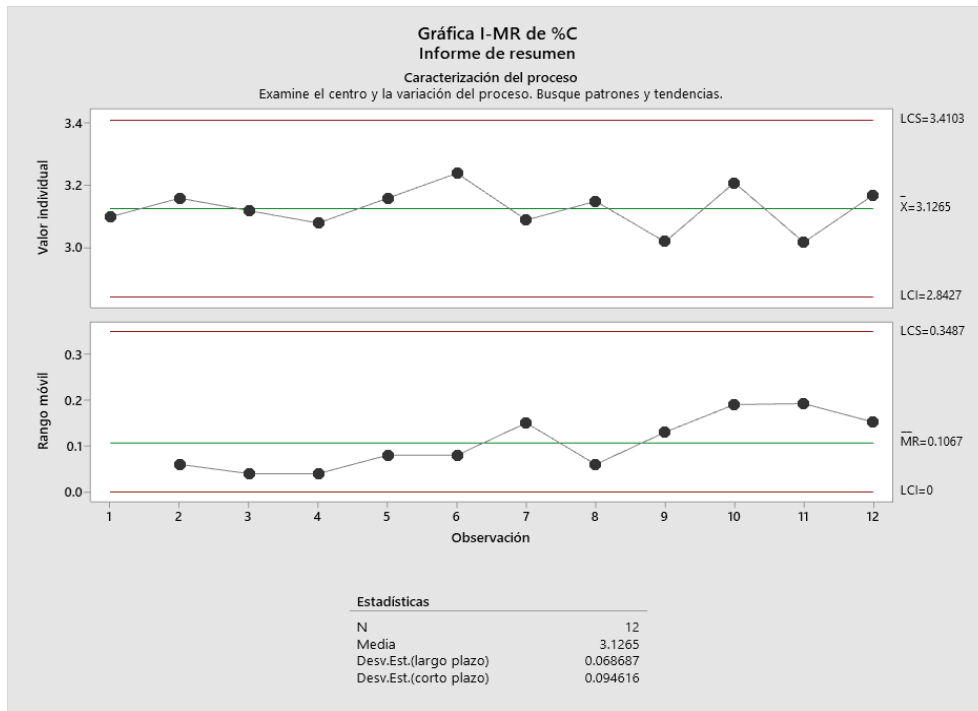
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	39.26	3.21	12.25	0.000	
%C	-0.773	0.822	-0.94	0.374	1.66
%Si	-0.38	1.47	-0.26	0.802	1.16
%Mn	2.65	3.19	0.83	0.432	1.59

De la tabla 3 para el análisis de la regresión para la resistencia a la tracción de la fundición acera representada por:  $\text{kg/mm}^2$  vs. %C; %Si; %Mn, se encuentra representada por la ecuación:

$$\text{Resistencia a la tracción} = 39.26 - 0.773 \%C - 0.38 \%Si + 2.65 \%Mn$$

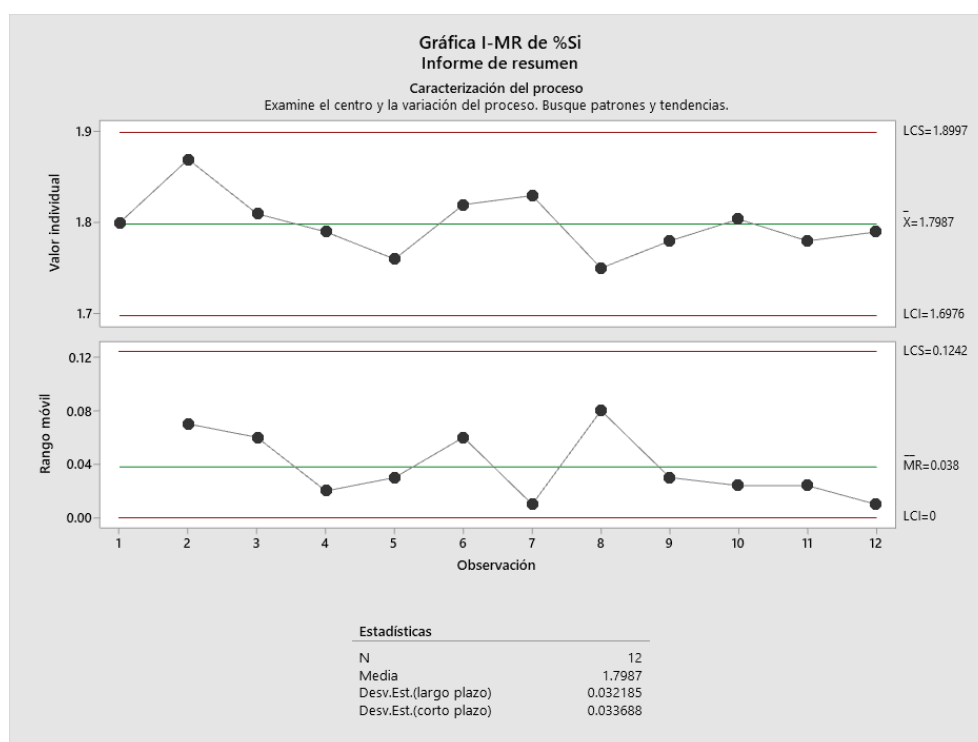
$\text{kg/mm}^2$

**Figura 9.** Ley de carbono de fundición acerada



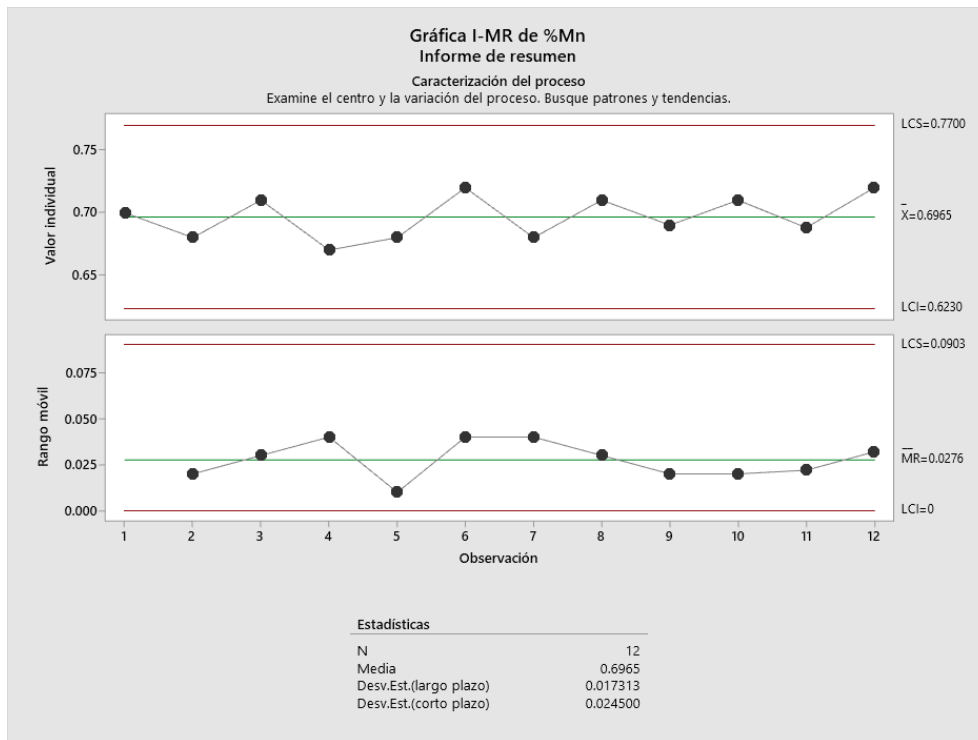
La composición de la función acerada de acuerdo la figura 9 la ley de carbono 3.1265% en promedio, con límite inferior de 2.827%C y límite superior de 3.4103%C con una desviación estándar a largo plazo de 0.068687 y a corto plazo de 0.094616 y los datos valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

**Figura 10.** Ley de sílice de fundición acerada



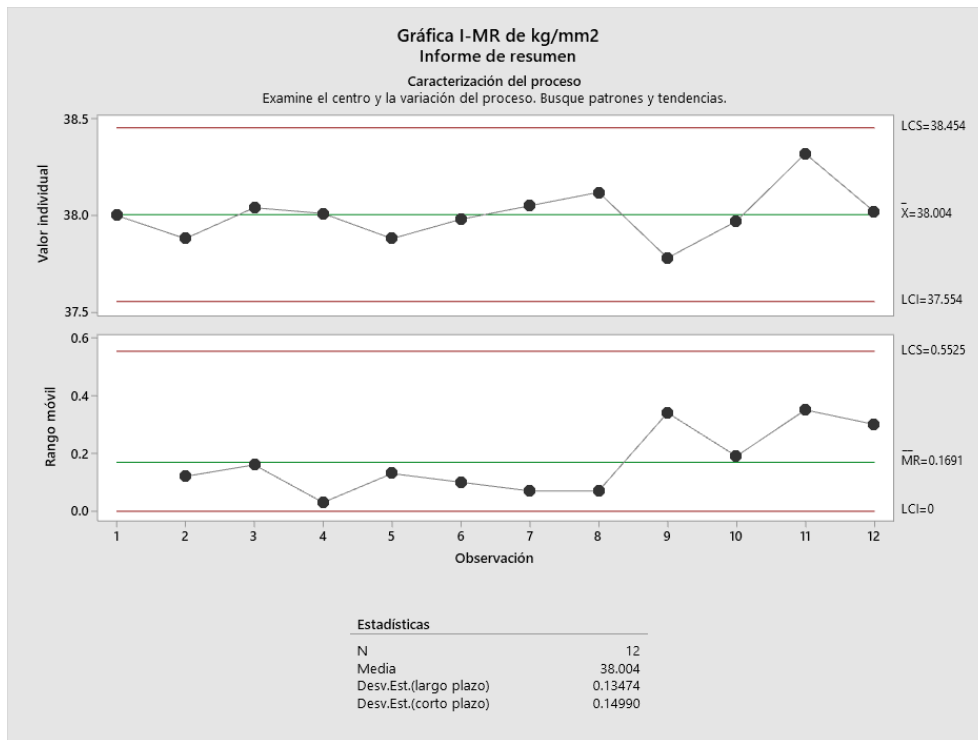
La composición de la función acerada de acuerdo la figura 10 la ley de silicio 1.7987% en promedio, con límite inferior de 1.6976%Si y límite superior de 1.8997%Si con una desviación estándar a largo plazo de 0.032185 y a corto plazo de 0.033688 y los datos valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

**Figura 11.** Ley de manganeso de fundición acerada



La composición de la función acerada de acuerdo la figura 11 la ley de manganeso 0.6965% en promedio, con límite inferior de 0.6230%Mn y límite superior de 0.7700%Mn con una desviación estándar a largo plazo de 0.017313 y a corto plazo de 0.0245 y los datos valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

**Figura 12. Resistencia a la tracción de fundición acerada**



La composición de la función acerada de acuerdo la figura 12 la resistencia a la tracción  $38.004 \text{ kg/mm}^2$  en promedio, con límite inferior de  $37.554 \text{ kg/mm}^2$  y límite superior de  $38.454 \text{ kg/mm}^2$  con una desviación estándar a largo plazo de  $0.13474$  y a corto plazo de  $0.1499$  y los datos valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

#### 4.1.2. Datos obtenidos de fundición nodular.

La información del análisis de la fundición nodular se detalla en la tabla 3 que se describe a continuación.

**Tabla 4.** *Análisis de fundición modular recopilado de la experiencia*

N°	%C	%Mg	%Mn	kg/mm <sup>2</sup>
1	3.100	0.040	0.300	60.000
2	2.980	0.050	0.310	60.250
3	3.140	0.030	0.290	59.980
4	3.170	0.040	0.310	59.990
5	3.110	0.031	0.298	60.120
6	3.070	0.036	0.301	59.890
7	3.120	0.041	0.304	60.030
8	3.080	0.038	0.302	59.780
9	3.130	0.041	0.299	59.880
10	3.090	0.038	0.303	60.050
11	3.110	0.041	0.302	60.020
12	3.105	0.038	0.297	59.990

De la tabla 4 se tiene una descripción de la composición química y la resistencia a la tracción de fundición nodular de obtenido en el transcurso de la experiencia en el tiempo respecto el porcentaje de carbono, magnesio, manganeso y la resistencia a la tracción expresado en kg/mm<sup>2</sup>. La composición promedio se carbono se tiene 3.1%, 0.04% magnesio, 0.3% de manganeso y 60.00 kg/mm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción.

En el análisis de regresión: kg/mm<sup>2</sup> vs. %C; %Mg; %Mn se tiene en consideración los datos de la tabla 5.

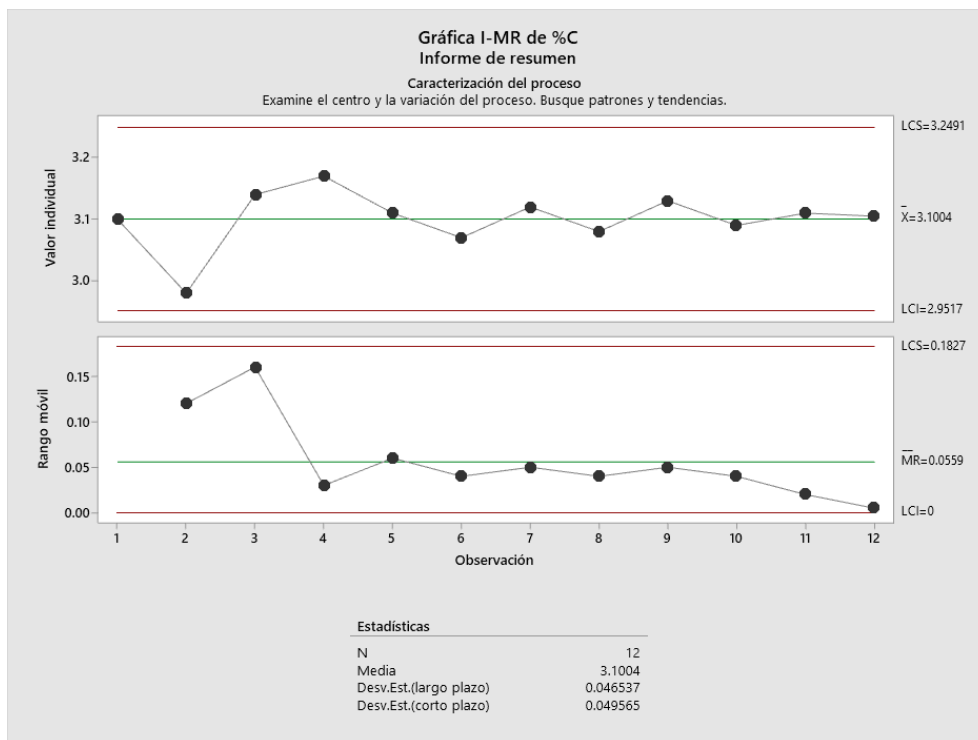
**Tabla 5.** Coeficiente de regresión lineal para la resistencia a la tracción del acero nodular

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	61.51	4.02	15.30	0.000	
%C	-0.929	0.976	-0.95	0.369	1.48
%Mg	-0.4	13.1	-0.03	0.974	3.21
%Mn	4.6	10.9	0.42	0.684	2.53

De la tabla 5 de acuerdo los datos obtenidos por regresión lineal para la resistencia a la tracción en relación a la composición químico respecto al porcentaje de carbono, magnesio y manganeso es la relacionado a la siguiente ecuación:

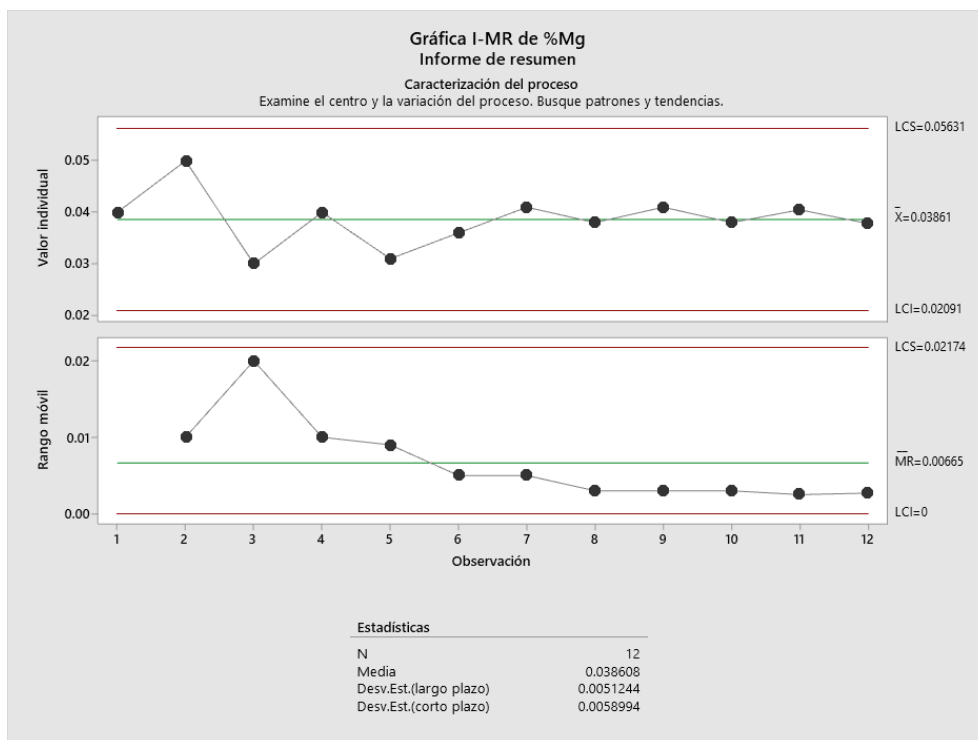
$$\text{La resistencia a la tracción en kg/mm}^2 = 61.51 - 0.929 \%C - 0.4 \%Mg + 4.6 \%Mn$$

**Figura 13.** Porcentaje de carbono en la fundición nodular



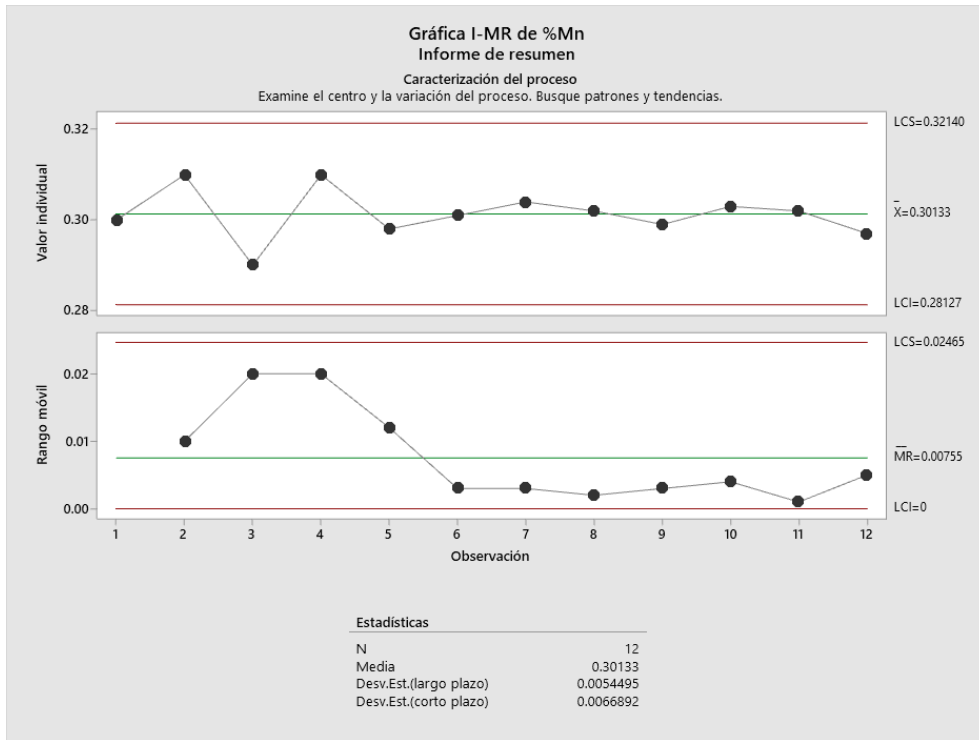
En la figura 11 el porcentaje de manganeso de la fundición nodular es encuentra en promedio de 3.1004% C, con un límite inferior de 2.9517% C y límite superior de 3.2491% C de una población promedio de 12 con una desviación estándar a largo plazo de 0.046537 y a corto plazo de 0.049565 y los datos tanto para el valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros de control estadísticos.

**Figura 14.** Porcentaje de magnesio en la fundición nodular



En la figura 12 el porcentaje de magnesio de la fundición nodular es encuentra en promedio de 0.03861% Mg, con un límite inferior de 0.02091% Mg y límite superior de 0.05631% Mg de una población promedio de 12 con una desviación estándar a largo plazo de 0.0051244 y a corto plazo de 0.0058994 y los datos tanto para el valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros de control estadísticos.

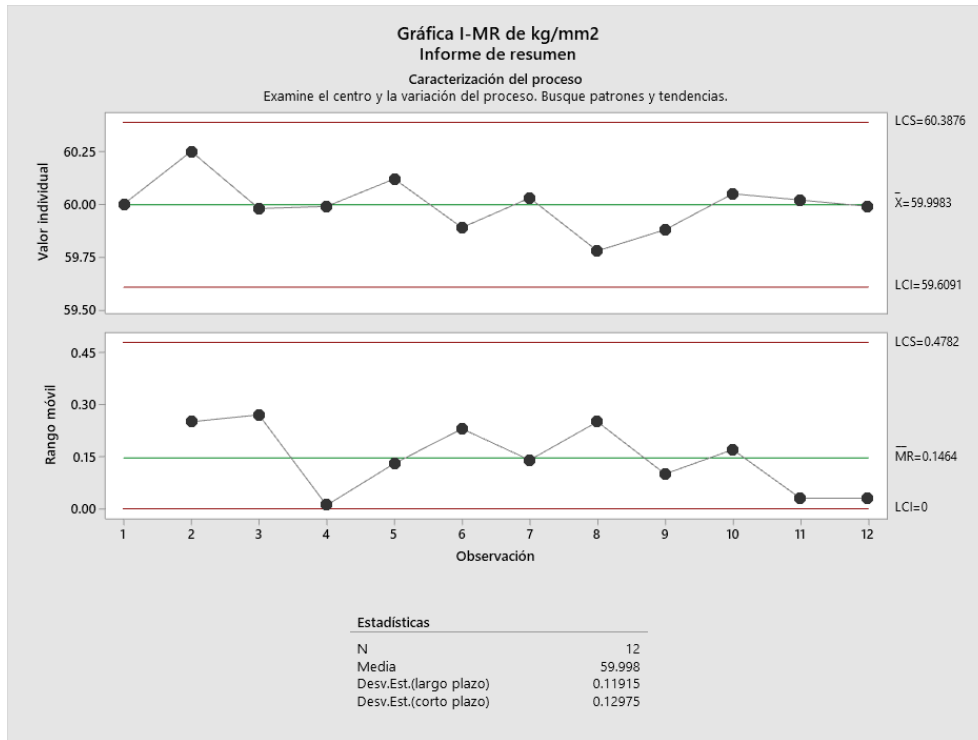
**Figura 15.** Porcentaje de manganeso en la fundición nodular



En la figura 13 el porcentaje de manganeso de la fundición nodular es encuentra en promedio de 0.30133% Mn, con un límite inferior de 0.28127% Mn y límite superior de 0.3214% Mn de una población promedio de 12 con una desviación estándar a largo plazo de 0.0054495 y a corto plazo de 0.0066892 y los datos tanto para el valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros de control estadísticos.



**Figura 16.** Resistencia a la tracción en kg/mm<sup>2</sup> de la fundición nodular



En la figura 13 la resistencia a la tracción de la fundición nodular se encuentra en promedio de 59.9983 kg/mm<sup>2</sup>, con un límite inferior de 59.6091 kg/mm<sup>2</sup> y límite superior de 60.3876 kg/mm<sup>2</sup> de una población promedio de 12 con una desviación estándar a largo plazo de 0.11915 y a corto plazo de 0.12975 y los datos tanto para el valor individual y rango móvil se encuentran dentro de los parámetros de control estadísticos.

#### 4.2 Contrastación de hipótesis

Por ser un estudio descriptivo retrospectivo no aplica el contraste de hipótesis estadística.

## Capítulo V

### Discusión

#### 5.1 Discusión de resultados

En cuanto a la fundición acerada se tiene que tomar en cuenta que el acero es el que varía desde una aleación hierro carbono que tiene de composición química entre 0.003 hasta 2 % de carbono; a otra aleación hierro carbono que tenga entre 3 a 3,2 % de carbono en esto consiste la creación, no existe información y mediante unos ensayos un poco de experiencia, mucha meditación y bastante riesgo en donde de por medio arrastra hasta la familia. La inversión en la puesta en marcha era alrededor de 100 000 soles y si no salía lo que me esperaba la calle, pero si conseguía obtener la fundición acerada me esperaba gran remuneración y prestigio en la especialidad de metalurgia como se logró. Pero cual es la variable cualitativa nominal, es la que varía sin considerar la cantidad, pero si debemos de saber a dónde llega esto es convertir acero en fierro fundido. La variable cualitativa ordinal sería describir que el acero recibe carbono para convertirse en un fierro fundido.

La variable cuantitativa discreta nos da un valor aproximado de la producción que calculamos entre 70 a 90 toneladas de piezas porque lo que hay que sacar es un 30 % más porque cada pieza tiene canales, mazarotas y otros elementos de alimentación, lo que se obtuvo fue 75 toneladas que vendría a ser la variable cuantitativa discreta.

Para mejor claridad manifiesto que el fierro fundido es una aleación hierro carbono que ante el golpe se puede romper. Pero existe otra aleación que ante el golpe se dobla es llamada fundición nodular, la diferencia interna entre las dos fundiciones es que el fierro fundido tiene carbono segregado en forma de láminas y la fundición nodular tiene el carbono en forma de bolitas

En el caso del hierro nodular las variables cuantitativas nominal sería convertir hierro fundido en hierro nodular, la variable cuantitativa ordinal sería convertir el carbono laminar que tiene el hierro fundido en carbono en forma de bolitas que tiene el hierro nodular para lo cual le tendría que agregar un a liante que es el magnesio. En cuanto a la variable cuantitativa continua; se calculó la producción entre 20 a 25 toneladas. En cuanto a la variable cuantitativa discreta se obtuvo 25 toneladas, pero todo podría variar de acuerdo de los requerimientos de los clientes.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

Sobre fundición acerada:

- Se pueden obtener piezas de menor peso con los mismos resultados que lo solicitaban
  - Se tiene mayor resistencia a la tracción que todos los fierros fundidos existentes siendo de  $38 \text{ kg/mm}^2$ , lo máximo reportado es de  $26 \text{ kg/mm}^2$
  - La materia prima que es el acero es abundante y más barata que el hierro fundido que se utilizaba como chatarra
  - Puede soportar mayor temperatura que los materiales tradicionales porque es bajo en azufre y fósforo, estas impurezas forman eutécticos de menor temperatura que el eutéctico original ( $1130 \text{ }^\circ\text{C}$ ), ocasionando rajaduras en los materiales que trabajan por fricción
  - Su menor peso hace que el flete sea de menor precio
  - No requiere importación de ninguno de sus elementos de carga
  - Se inventó en el Perú de lo cual nos sentimos orgullosos
- Sobre fundición nodular:
- Es más resistente a la tracción ( $60 \text{ kg/mm}^2$ ) que la fundición maleable (fundición poco flexible).
  - Supera ampliamente en calidad a sus más cercanos competidores (fundición maleable de núcleo blanco y fundición maleable de núcleo negro).
  - No requiere tratamiento térmico como su competidor, la fundición maleable que necesita estar en el horno hasta los  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  durante cinco días
  - Solo requiere que el material fundido no tenga más de  $0,05 \%$  de fósforo; no acepta la presencia de cromo.

- Su materia prima es la fundición acerada que nosotros mismos fabricamos
- No se puede fabricar en el Perú si la materia prima no se adquiere en nuestra fábrica.
- La materia prima es el magnesio proveniente de la carcasa de los motores de VW.
- Se puede alear el magnesio con ferro silicio para que su reacción sea más suave.

## 6.2 Recomendaciones

Para realizar el presente trabajo tiene que ser una persona estudiosa a través del tiempo para nutrirte de conocimientos. Luego cuando se requiera hacer un trabajo como este escribir sin recordar los libros, a tu cerebro vienen ideas que parecen que hubieras nacido con ellas.

En la parte práctica trabajar con mucho cuidado, pero siempre tienes que estar haciendo tú en conjunto con tu personal lo que diseñaste.

No tienes que ser muy arriesgado sobre todo cuando estés innovando algo nuevo, tienes que pensar que, si haces algo nuevo, posiblemente te encuentre malogrando otra cosa, es lo que ocurre con frecuencias.

Si quieres ser ingeniero al que le dicen ingeniero trabaja como todos, repite lo que otros hacen. Pero si quieres ser un ingeniero de verdad, tienes que ser un ingeniero profundamente estudioso del tema que estas tratando, al mismo tiempo si eres perseverante encontrarás regocijo con los resultados.

Manifiesta lo que piensas, si eres un inventor, deja que te digan inventor no te avergüences porque el que inventa no es necesario ser muy inteligente es tan solo una persona perseverante.

Tratando de los trabajos que se están presentando son dos inventos que cualquier individuo lo puede hacer, pero tuve la suerte de ser la persona que se arriesgó ante la desesperación que ocurría en la planta.

Lo que ocurría en la planta, era la escases de materia prima para obtener fierro fundido de buena calidad.

Nosotros trabajábamos con materia prima que comprábamos y llegó el momento que se acabó la materia prima; y lo que quedaba era irse a buscar otro trabajo o fabricar las piezas de baja calidad, que se producían en otras fundiciones. Ante tal situación me sentí que tenía la suficiente experiencia y me había dedicado al estudio del problema, así que me sentí una persona normal y dije si los grandes científicos descubren grandiosidades, porque yo una persona normal no puede crear algo pequeño. Ante la negativa que pusieron los propietarios por mi propuesta les demostré teóricamente lo que podía hacer, y lo hice, fabriqué fundición acerada cambiando solo la materia prima; reduciendo el diámetro del horno solo en el tragante y elevando la altura del crisol; así mismo aprovechando que fundición acerada daba 0.04% de fósforo como máximo llegué a producir fundición nodular.

¿Qué me faltó?; me faltó ser comerciante porque pude vender productos que producía incluso a la misma fábrica en la que trabajaba, pero me di cuenta que uno puede tener habilidades para unas cosas y para otras no.

Salió del proceso que estuve trabajando un diagrama que, si se hubiera descubierto antes, fundición acerada se hubiera obtenido mucho antes quizás en la etapa de la industrialización. Este es el diagrama MPD que se describe en la tesis y que sintetizando dice que, si se une el acero de muy bajo carbono con carbono a 1500 °C, de inmediato el acero absorbe carbono hasta 3.1 % en un tiempo no mayor a 5 minutos.

Gané también prestigio porque todas las empresas querían trabajar conmigo. Todas las universidades que enseñaban fundición me invitaban a dar charlas.

Lo mejor en esta rama de la metalurgia es conveniente traba bajar unos tres años en una empresa particular, ahorrar un poco, solicitar préstamos y poner tu pequeña fundición. Lo que se gana es dinero mayor al que te pueden pagar en la empresa más prestigiosa.

## Capítulo VII

### Referencias

#### 7.1 Fuentes documentales

Voinea, C. L., Hoogenberg, B. J., Fratostiteanu, C., & Bin Azam Hashmi, H. (2020). The Relation between Environmental Management Systems and Environmental and Financial Performance in Emerging Economies [La relación entre los sistemas de gestión ambiental y el desempeño ambiental y financiero en las economías emergentes]. *Sustainability*, 12(13), 5309. <https://doi.org/10.3390/su12135309>

#### 7.2 Fuentes bibliográficas

Camacho, A., & Ariosa, L. (2000). *Diccionario de términos ambientales*. La Habana, Cuba: Publicaciones Acuario.

Córdova, I. (2017). *El proyecto de investigación cuantitativa*. (1ª ed. 4ª reimpr.). Lima, Perú: San Marcos.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill Interamericana editores S.A.

Pino, R. (2018). *Metodología de la investigación: elaboración de diseños para contrastar hipótesis* (2a ed.). Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.

#### 7.3 Fuentes hemerográficas



#### 7.4 Fuentes electrónicas

Google Maps. (2022). *Ubicación de la Empresa Metales Bernuy*. Recuperado de <https://www.google.com/maps/search/n+Urbanizaci%C3%B3n+ALvino+Herrera+M+O1+lot.+4+callao/@-12.0540441,-77.1396636,14672m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>

Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de términos para la Gestión Ambiental Peruana*. Lima, Perú. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2009). *Guía de Ecoeficiencia para Empresas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-ecoefficiencia-empresas>

Naciones Unidas. (2021). *Día Mundial del Medio Ambiente*. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492922>

## **ANEXOS**

## **Anexo 1. Importancia de la fundición acerada**

En adelante se muestran los diferentes equipos que se utilizaron en la creación de las dos aleaciones. En si no son aleaciones sino nuevos procesos metalúrgicos como es la fundición nodular que se viene diciendo que es la más fuerte del mundo; y fundición nodular que es otro proceso flexible del cual solo me enteré que utilizaban magnesio que le agregaban al fierro fundido. Hay que diferenciar entre crear dos aleaciones con crear dos nuevos procesos de aleación. Fundición acerada es como agregar papas a una hoya hirviendo con agua y sacar camotes. Cuando utilizábamos magnesio y lo hacíamos entrar en contacto con la fundición acera las láminas de carbono que tiene la fundición acerada se convertían en bolitas se podría comparar con la luz que es de naturaleza corpuscular y ondulatoria, la diferencia es que las láminas de grafito se vuelven bolitas una sola vez y la luz cuando lo requiere.

## Anexo 2. Necesidades y propósitos que persiguió la investigación

Necesidades	Investigación
<p><b>1. Fundición acerada:</b></p> <p>La falta de materia prima forzó a las fundiciones que fundían con horno rotativo a desarrollar nuevas formas. Primero importaron material de sud américa que resulto malo por la composición química. Luego me ofrecí intentar obtener la solución. Fundición acerada supera los escasos de arrabio y supera las propiedades de las fundiciones tradicionales de 18 a 38 kg/mm<sup>2</sup>.</p>	<p>1.-Conseguir una fundición que replazara a la materia prima con la que estaba trabajando; la que se consiguió superando las fundiciones tradicionales. Para lo cual se cambió el horno rotativo por el horno de cubilote todo esto se consiguió mediante investigaciones. En el medio existían solo dos tipos de hornos el rotativo que empleaba de 50 a 60 % de arrabio y el cubilote que empleaba solamente 10 % de arrabio.</p>
<p><b>2.-Fundición nodular:</b></p> <p>La falta de eficiencia de fundición maleable obligó a idear otra manera de producir hierro flexible. Fundición nodular aprovecha las propiedades de fundición acerada debido al 0,04% de P.</p>	<p>2.-Superar las propiedades de la fundición maleable, lo que significaba hacer más flexible a la fundición que se quería obtener y que el tratamiento térmico sea menor.</p>

### Anexo 3. Interrogantes planteadas previas al estudio

A continuación, expongo algunas necesidades que nos faltan concluir, para poder hacer producciones mucho más baratas y de mejor calidad

- ¿Cómo extraer el fósforo de una aleación hierro carbono sin disminuir el contenido de carbono?
- ¿Por qué el azufre perjudica la formación de hierro nodular?
- ¿Por qué el oxígeno perjudica la formación de hierro nodular?
- ¿Por qué el exceso de fósforo perjudica la flexibilidad del hierro nodular?
- ¿Por qué la fundición acerada de estructura metalográfica con grafito laminar se convierte en grafito esferoidal después de ser inoculado con magnesio?
- ¿Por qué el hierro absorbe tan rápido (10 minutos) al carbono y al azufre a una temperatura superior a la eutéctica, llevándolo al carbono a 3.1% y al azufre triplicado su valor)

Existen muchos trabajos por desarrollar y así mejorar las propiedades del hierro nodular para eso tenemos que responder al ¿Por qué? De los sucesos

No solamente nos debemos quedar en obtener un nuevo proceso si no también en respondernos al ¿Por qué? Se producen.

Con la fundición acerada se mejoró las propiedades del hierro fundido y se obtuvo un material con poquísimos fósforo que sirve para fabricar hierro nodular; según mi parecer es uno de los procesos más grandiosos que se pueden haber realizado estos últimos años; pero todavía falta responder algunas preguntas teóricas porque lo práctico se encuentra completo.

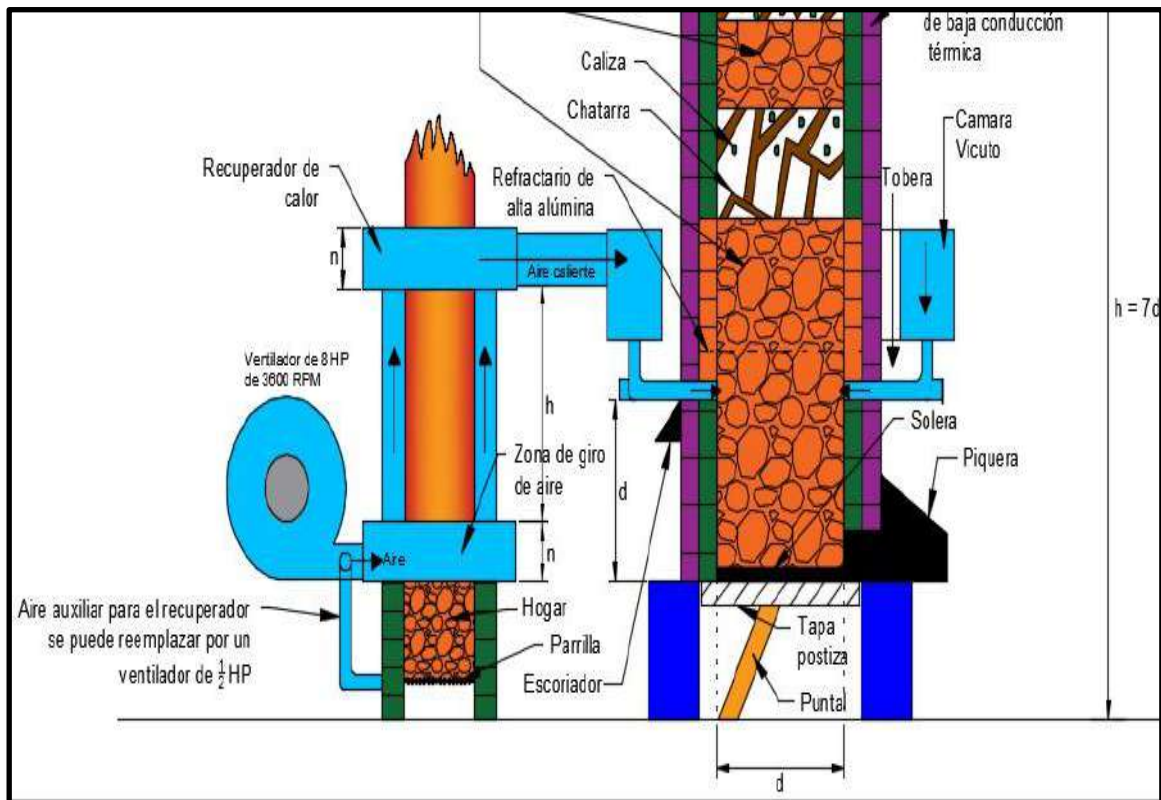
El hierro nodular resultó de muy buenas propiedades superando de lejos a la fundición maleable y aleaciones especiales que se realizaban con cromo y níquel e incluso superó al acero en la propiedad de entalla (entalla es la falla que tiene el acero por pequeñas rasgaduras que pueden dar origen a rajaduras incluso a partirse); Al hierro nodular no le afecta la entalla por eso se pueden construir hasta cigüeñales. Lo que malogra al hierro nodular es la soldadura. Cuando se suelda el hierro nodular sus bordes soldados se convierten en hierro fundido así se suelde con soldadura de 90% de níquel.

Gran superación se daría a nuestro País orientando a la juventud empezando desde niños a la creación para cuando sean grandes no le llame la atención inventar.

Actualmente se conocen más que antes porque el mundo va progresando a pasos agigantados. Sabemos que los protones y los neutrones no son partículas fundamentales o elementales esta materia está formada por quarks los que están formados por tres elementos unidos por gluones; los protones tienen dos quarks con carga positiva de  $+2/3$  y se denominan quarks U; y un quark de carga negativa de  $-1/3$  que se denomina quarks D. Sumados dan:  $2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$  micro voltio; por eso se dice que el protón es positivo. Los neutrones son negativos porque tienen 2 quarks D y 1 quarks U que sumados dan cero. Hemos hablado del núcleo del átomo; El electrón pertenece al grupo de los leptones que están formados por el electrón y el neutrino; sobre el electrón ya sabemos que gira alrededor del núcleo formado por los protones y neutrones. Sobre los neutrinos estamos muy poco informados pero todos esos conocimientos físicos es necesario saberlos para que sea más fácil idealizar y combinar con nuestros conocimientos prácticos, hasta donde se sabe los neutrinos son partículas elementales que tienen masa y son muy pequeñitos miles de veces más pequeños que los electrones y tienen la característica de poder convertir a un neutrón en protón más un electrón, también existen los antineutrinos que son la versión contraria a los neutrinos.

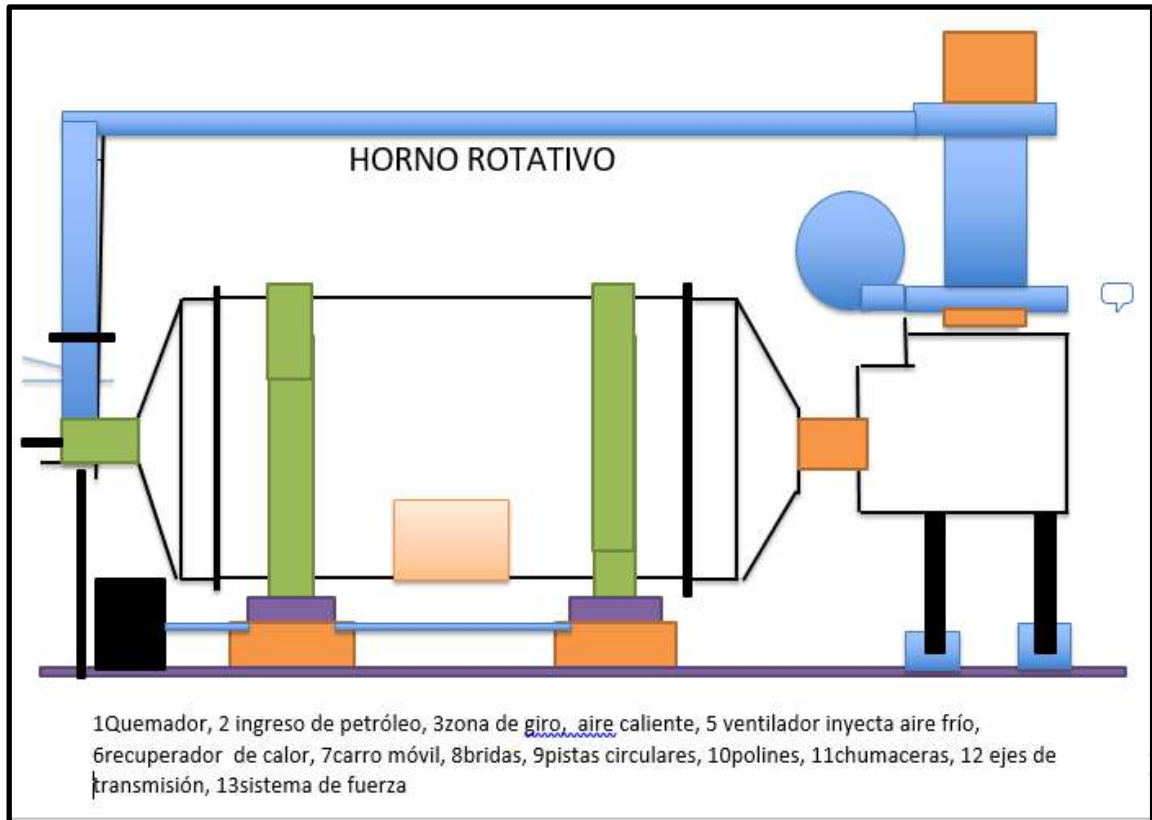
#### Anexo 4. Horno de cubilote

Se carga con acero y se obtiene fierro fundido conocido como fundición acerada. La fundición acerada tiene resistencia a la tracción de 38 kg/mm<sup>2</sup> convirtiéndose esta aleación en la mejor del mundo.



### Anexo 5. Horno rotativo

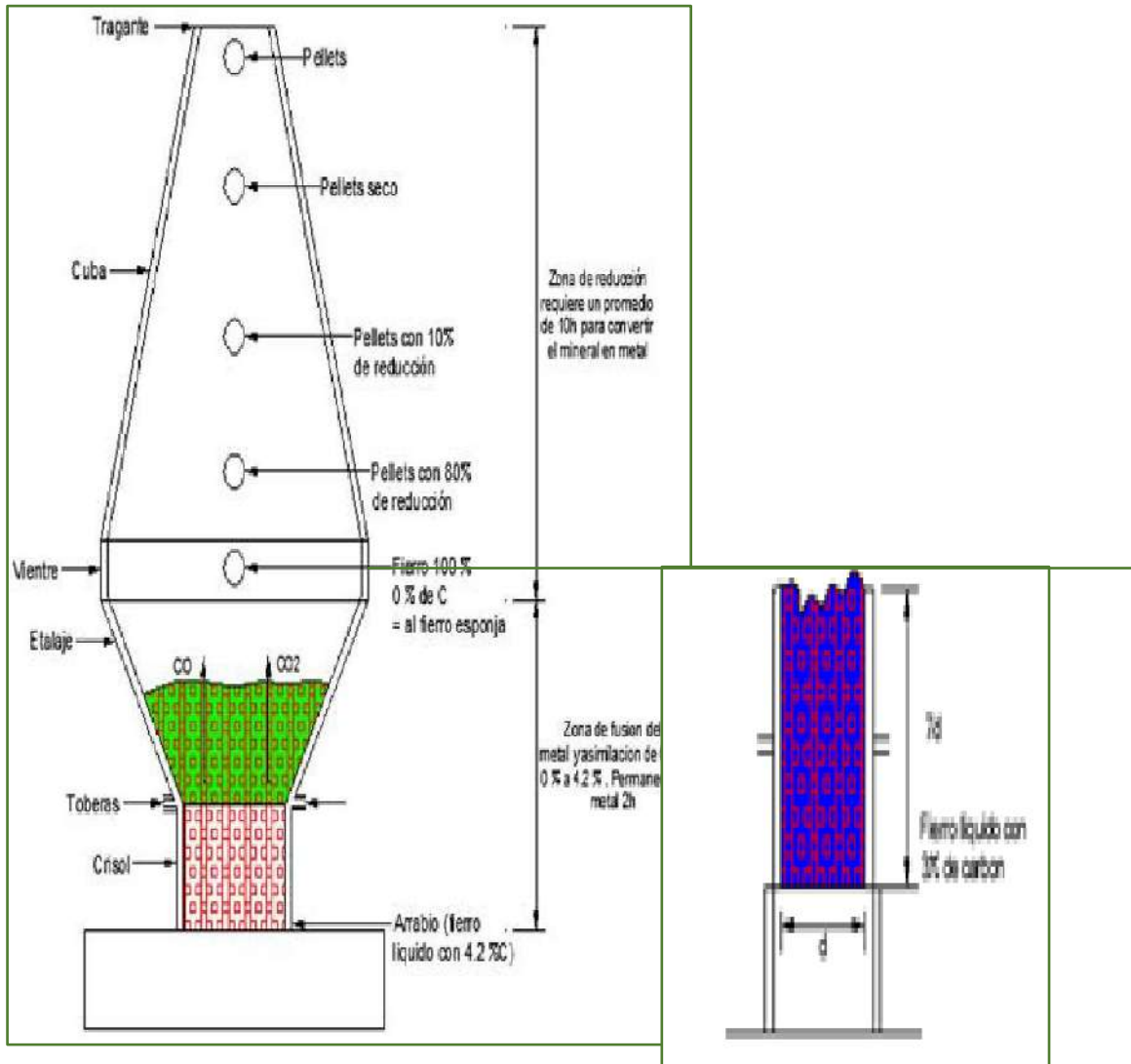
Funde con arrabio, su retorno; y una proporción de acero, era el mejor horno de la época su resistencia a la tracción es de 25 kg/mm<sup>2</sup>





## Anexo 6. Alto horno

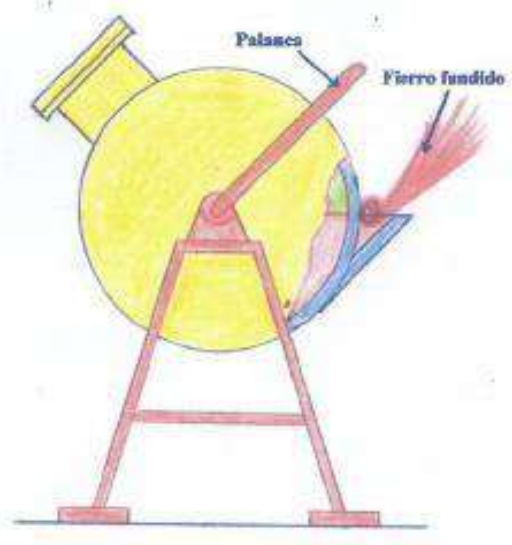
Notamos la zona de reducción y carburación. La zona de carburación es solo parecida al proceso que se produce en el horno de cubilote, pero sirvió como medio de inspiración.



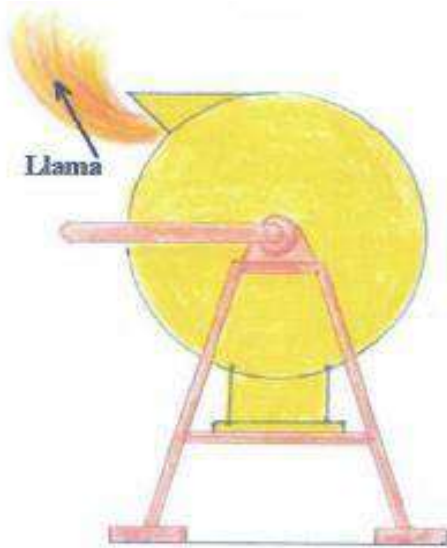
## Anexo 7. Etapas en la fabricación de Fe. Nodular



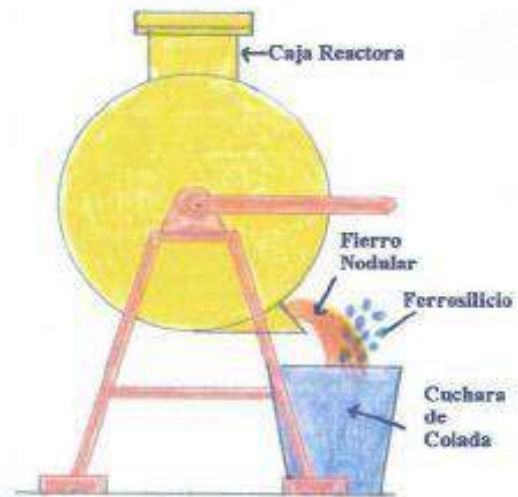
ETAPA 1.-Carga de magnesio en la caja de reacción



ETAPA 2.-Carga de fundición acerada en la caja de reacción



ETAPA 3.-Giro de la caja de reacción y reacción

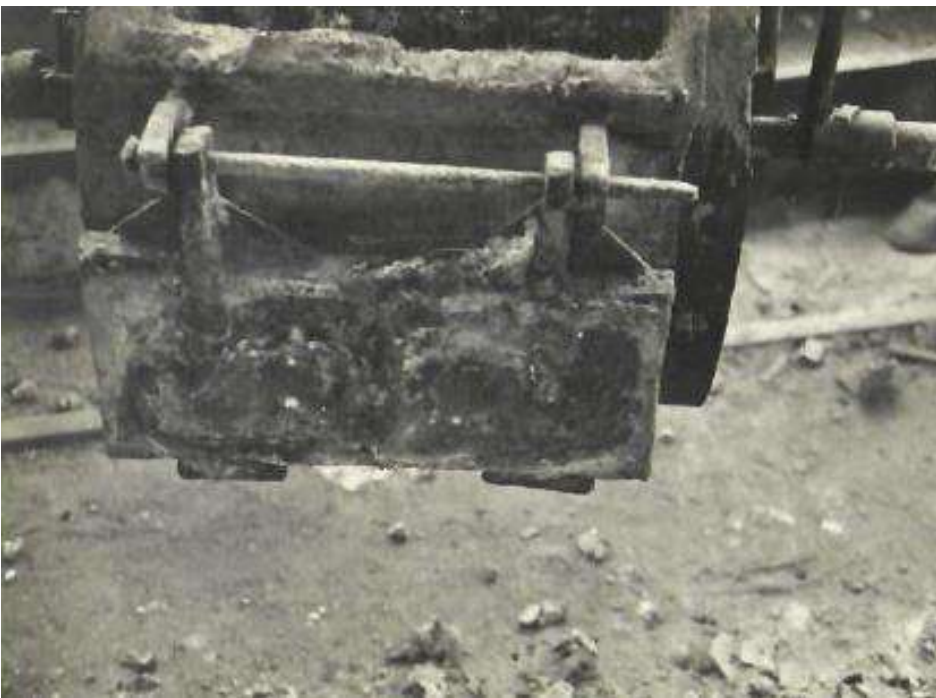


ETAPA 4.-Fierro nodular obtenido e inyectado en la cuchara de colada

**Anexo 8. Evidencias fotográficas del estudio en la empresa**



*Figura 9.* Parte interna del reactor.



*Figura 10.* Primera tapa de prueba del reactor.



*Figura 11.* Encendido del reactor.



*Figura 12.* Inicio de calentamiento del reactor.



*Figura 13.* Calentamiento del reactor.



*Figura 14.* Carga de fierro fundido al horno.



*Figura 15.* Caja de Mg lista para cargarlo con fundición acerada.



*Figura 16.* Unión del Fo. Fo. con mg para producir fierro nodular.