The background of the cover is a photograph of an industrial setting, likely a foundry. It shows molten metal being poured or processed, with bright orange and yellow light emanating from the liquid. The scene is partially obscured by a semi-transparent red overlay that serves as a background for the text.

# **Impacto Ambiental de las Resinas Furánicas: Evaluación de la Contaminación en la Fundición de Hierro Dúctil**

**Carlos Del Valle Jurado  
Alfonso Romero Baylón  
Jaime Mayorga Rojas  
Graciela Vilchez Posada**



**IMPACTO AMBIENTAL DE LAS  
RESINAS FURÁNICAS:  
EVALUACIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN EN LA  
FUNDICIÓN DE HIERRO DÚCTIL**

AUTORES:

Carlos Del Valle Jurado

Alfonso Romero Baylón

Jaime Mayorga Rojas

Graciela Vilchez Posada

La presente obra fue revisada por 2 pares académicos externos ciegos conforme al proceso editorial del Centro de Investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación CILADI.

Los rigurosos procedimientos editoriales de CILADI garantizan la selección de manuscritos por sus aportes significativos al conocimiento y cualidades científicas. Todas las obras publicadas por CILADI cuentan con ISBN y se encuentran disponibles en la web ([www.ciladi.org](http://www.ciladi.org))



Centro de Investigación Latinoamericano  
para el Desarrollo e Innovación

Guayaquil- Ecuador

<https://ciladi.org/>

AÑO 2024

Copyright © 2024

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-7217-4-7

## Prólogo

La industria de manufactura y de transformación, especialmente la relacionada con la fundición de hierro dúctil, desempeña un papel crucial en la economía y el desarrollo de infraestructura sanitaria, de comunicaciones y telecomunicaciones, entre otras. Sin embargo, su impacto ambiental, plantea desafíos significativos que requieren una atención y gestión cuidadosa. Este libro, titulado "Impacto Ambiental de Resinas Furánicas en la Fundición de Hierro Dúctil", aborda de manera exhaustiva estos desafíos, centrándose en el análisis y mitigación del impacto ambiental derivado del uso de resinas furánicas en el armado de los moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.

El trabajo de investigación presentado en estas páginas se basa en un análisis riguroso de datos obtenidos de operaciones rutinarias en plantas de fundición y moldeo. A través de este enfoque, se busca determinar el grado de contaminación y daño ambiental causado por las resinas furánicas durante la preparación de moldes. El análisis no solo se limita a identificar los impactos ambientales, sino que también propone actividades de prevención, mitigación y corrección, con el objetivo de minimizar el desequilibrio que estos procesos pueden causar en los entornos físicos, biológicos y socioeconómicos.

La investigación se sustenta en un marco legal robusto, considerando tanto normas nacionales como internacionales aplicables a la generación de COV y ofrece soluciones prácticas y normativas para su mitigación. Esperamos que este trabajo inspire a investigadores, ingenieros y responsables de políticas ambientales a continuar explorando y desarrollando prácticas sostenibles en la industria de la fundición, contribuyendo así a un futuro más limpio y seguro para todos.

PhD. Antonio Poveda G.

Editor

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I: SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II: BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>

## Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló tomando como sustento o base, el análisis de los datos obtenidos a partir de situaciones objetivas generadas por los compuestos orgánicos volátiles en operaciones rutinarias de fundición y moldeo para así poder determinar el grado de contaminación y daño ambiental por resinas furánicas en la preparación de moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, que, se sustenta en el principio de cumplir con los objetivos y metas dadas por el reglamento de protección ambiental para el desarrollo de actividades de la industria manufacturera, así como también en el análisis de dichas actividades durante el proceso de producción y fabricación de las piezas mencionadas, para ello, se toma en cuenta los posibles impactos ambientales que estas actividades generarían en una determinada área de influencia. En función de ello, se realizan propuestas de actividades de prevención, mitigación y corrección a los impactos de los procesos que pudiesen alterar el equilibrio del medio físico, biológico y socioeconómico con las zonas de influencia.

El desarrollo del trabajo se hizo tomando como referencia una muestra representativa de fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil en un área industrial clasificada y autorizada para tal fin por la Municipalidad Metropolitana de Lima, en la que se elaboran diversos tipos de piezas para los sistemas de saneamiento de las ciudades del Perú e industrias que utilizan las piezas fundidas de hierro dúctil en sus diferentes operaciones.

Se consideró las normas legales nacionales y en algunos casos normas internacionales de manera general como de modo específico aplicables a la generación de compuestos orgánicos volátiles. En el Análisis de la actividad productiva de una planta de fundición, se detallan los procesos, secuencia y actividades que se desarrollan en la fabricación de las piezas descritas.

**Palabras claves:** Arenas de moldeo para fundición, pérdidas por ignición, contaminación del aire por compuestos orgánicos volátiles, industria de la fundición, impacto ambiental por compuestos orgánicos volátiles.

## **Abstract**

This research work was developed taking as support or basis, the analysis of the data obtained from objective situations generated by volatile organic compounds in routine casting and molding operations in order to determine the degree of contamination and environmental damage by furanic resins in the preparation of molds for the manufacture of ductile iron castings, which is based on the principle of complying with the objectives and goals set by the environmental protection regulations for the development of activities in the manufacturing industry, as well as In the analysis of these activities during the production and manufacturing process of the mentioned parts, for this, the possible environmental impacts that these activities would generate in a certain area of influence are taken into account. Based on this, proposals for prevention, mitigation and correction activities are made to the impacts of the processes that could alter the balance of the physical, biological and socioeconomic environment with the areas of influence.

The development of the work was carried out taking as a reference a representative sample of the manufacture of ductile iron castings in an industrial area classified and authorized for this purpose by the Metropolitan Municipality of Lima, in which various types of parts are made for the systems of sanitation of the cities of Peru and industries that use ductile iron castings in their different operations.

National legal norms and in some cases international norms were considered in a general way as specifically applicable to the generation of volatile organic compounds. In the Analysis of the productive activity of a foundry plant, the processes, sequence and activities that take place in the manufacture of the parts described are detailed.

**Keywords:** Foundry molding sands, loss on ignition, air pollution by volatile organic compounds, foundry industry, environmental impact by volatile organic compounds.

# **CAPÍTULO 1**

## **SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

### **I. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Situación Problemática.**

El proceso de producción que se realiza en las fundiciones puede ocasionar efectos negativos al medio ambiente debido a los procesos térmicos y al uso de aditivos con base mineral; en razón de ello, los problemas que se plantean con respecto a las fundiciones son los relacionados con la emisión de gases, la contaminación del agua, la eliminación de los residuos minerales y la exposición de las personas a elementos contaminantes.

El proceso de fabricación de las piezas de fundición, genera residuos sólidos procedentes de las arenas usadas para la preparación de moldes y machos y es que frecuentemente, la arena de moldeo se humedece o se mezcla con resina furánica líquida, la cual, al realizarse el proceso de conformación por moldeo, contribuye en la calidad del gas expelido, es decir, contribuye a la contaminación del aire.

Se tiene también, que se genera grandes volúmenes de agua residual que proviene del proceso de enfriamiento de las piezas, esta agua contiene partículas sólidas y restos de compuestos químicos que se emplearon en la etapa de fusión y tratamiento térmico del metal; del mismo modo, se generan lodos y agua residual que provienen de las etapas de limpieza de la maquinaria de la planta.

El problema de la generación de residuos minerales en las fundiciones se da, debido al material sólido que proviene de las arenas de los moldes y machos, también del que proviene de los polvos y escorias de los hornos y los materiales que revisten los mismos; deshacerse de la arena usada es un problema difícil porque, exige disponer de medios físicos y humanos que puedan llevar a cabo el trabajo, ahora bien, el material residual de los moldes usados contiene un 85% de arena aproximadamente, siendo constituido el

resto por carbón mineral, arcilla, entre otros compuestos, además, es frecuente que la arena que se obtiene de las piezas de los moldes y la arena proveniente del granallado de las piezas, se recicle para que sea usada en la fabricación de nuevos moldes.

En el contexto descrito en los párrafos anteriores, el riesgo ambiental que supone el uso de la resina furánica que es utilizada en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, se debe, a que en promedio en el Perú los trabajadores encargados de la preparación de los modelos para fundición, habitualmente realizan un trabajo de 08 horas al día y 06 días a la semana, luego, la contaminación debido a la eliminación de los residuos minerales se debe a que en dicha actividad, los trabajadores tienen exposición directa a la contaminación; pero, en el ámbito local se pudo detectar que las personas involucradas directamente en el trabajo habitual con el mencionado compuesto químico, conocen del peligro asociado, pero la necesidad de una retribución económica para cubrir los gastos básicos familiares dentro de una estructura social local precaria en el sentido económico, hace que la exposición y riesgo relacionados de manera directamente proporcional aumente el peligro de daño personal y/o ambiental.

## **1.2. Formulación del Problema.**

En un contexto que considera los principales efectos negativos medioambientales que puede causar el uso de la resina furánica en la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, expresados en: la contaminación del aire, la contaminación del agua y la exposición de los trabajadores a elementos contaminantes; debemos tener en cuenta que, si bien los procesos de fusión e inoculación se asocian comúnmente con la liberación de metales y algunos gases, la fabricación de moldes y núcleos (almas o corazones) tiene una mayor relación con las emisiones de elementos tóxicos atmosféricos, algunos conocidos como compuestos orgánicos volátiles que son contaminantes atmosféricos peligrosos como el benceno y el fenol, por nombrar algunos, el problema objeto de estudio se formula en términos de determinar el grado de contaminación y daño ambiental, para tal efecto la investigación se plantea en los términos siguientes:

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cuál es el grado de contaminación y daño ambiental debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

**PE<sub>1</sub>:** ¿En qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación al aire?

**PE<sub>2</sub>:** ¿En qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación del agua?

**PE<sub>3</sub>:** ¿De qué manera el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición a los trabajadores?

**PE<sub>4</sub>:** ¿Cuál es el grado de contaminación debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?

**PE<sub>5</sub>:** ¿Qué daño ambiental causa el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?

### **1.3. Justificación de la Investigación.**

La industria de la fundición, con la variedad de sus procesos continúa enfrentando desafíos relacionados con la contaminación del aire debido a las importantes emisiones de residuos peligrosos y más aún, ante el incremento de la demanda de productos manufacturados y en este caso, de piezas fundidas de hierro dúctil, ha hecho que la producción vaya en constante aumento y el uso de sustancias o mezclas químicas como aceleradores o coadyuvantes para mejorar la producción en el sentido de una producción masiva y rápida, ha llevado al uso de diversas sustancias químicas aún no reglamentadas integralmente en el país que a la fecha se emplean en la industria de la fundición de manera indiscriminada, luego, salta a la luz la casi inexistencia de estudios de investigación nacional que sirvan de marco conceptual y utilización práctica para poder

identificar y clasificar la contaminación y daño ambiental el cual ayude a minimizar dicha contaminación y el riesgo para la salud humana resultante de la inhalación de varios compuestos tóxicos y cancerígenos liberados durante el flujo de producción asociado a ello, en ese contexto, la presente investigación se justifica desde una perspectiva teórica y práctica.

#### **1.4. Objetivos de la Investigación.**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

Establecer el nivel de contaminación y daño ambiental debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, a fin de proponer alternativas de solución.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

**OE<sub>1</sub>:** Determinar en qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación al aire.

**OE<sub>2</sub>:** Determinar en qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación del agua.

**OE<sub>3</sub>:** Identificar en qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición en los trabajadores de las fundiciones.

**OE<sub>4</sub>:** Establecer el nivel de contaminación debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.

**OE5:** Cualificar el daño ambiental que causa el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación.**

La tesis «Determinación y evaluación de las emisiones de dioxinas y furanos en la producción de cemento en España», es un antecedente inmediato de la presente investigación, ella se realizó en el ámbito del proyecto español denominado «Análisis de compuestos orgánicos persistentes y elaboración de inventarios integrados en su emisión a la atmósfera, efluentes y suelos»; y consideró la caracterización y evaluación de las emisiones de los “compuestos orgánicos policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs) y policlorodibenzo-furanos (PCDFs) en el sector cementero español para una muestra representativa de 41 hornos (69,5% del total), muestreados; y, considerando tanto hornos que sólo utilizan combustibles convencionales (fósiles) como los que co-incineran diferentes tipos de residuos”. Como resultado de dicho estudio el autor, entre otras, llegó a las siguientes conclusiones:

“Las emisiones de PCDD/PCDFs en los gases de salida de los hornos de clínker presentan niveles muy bajos, el 73% de los muestreos ofrecen valores 10 veces inferiores al límite de emisión que establece la normativa para la incineración o coincineración de residuos”.

“Para un mismo horno se obtienen variaciones en cuanto a los niveles de emisión de PCDD/PCDFs, independientemente del combustible utilizado. El factor determinante en las emisiones es el correspondiente a las condiciones de operación en el horno”.

“La concentración media de las emisiones de PCDD/PCDFs en hornos europeos es aproximadamente de 0,02 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> (Kartensen, 2006). El valor de emisión medio en el sector cementero objeto de estudio es de 0,0113 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Por tanto, se puede

afirmar que el parque español de instalaciones de producción de cemento emite PCDD/PCDFs en concentraciones muy por debajo de la concentración media europea de estos compuestos. Los valores obtenidos son del orden del 50% de dicho valor.” (Ruiz, 2013).

Otra investigación consultada es el «Estudio de factibilidad de generación de dioxinas y furanos (PCDD y PCDF) en el proceso de reformación catalítica de naftas en la industria petrolera y propuestas para minimizar su emisión», la cual se realizó teniendo en cuenta las siguientes premisas: (a) “las para-dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD y PCDF), conocidos comúnmente como dioxinas y furanos son productos secundarios indeseables generados en procesos térmicos o de combustión incompleta, que involucran compuestos orgánicos, cloro, oxígeno y una temperatura adecuada para su formación”; y (b) “los mismos son considerados contaminantes orgánicos persistentes, altamente tóxicos, difíciles de caracterizar y cuantificar”. En esta investigación referencial, que tuvo como objetivo: «Estudiar y establecer, desde el punto de vista termodinámico, la potencial generación de dioxinas y furanos bajo las condiciones operacionales del proceso de regeneración del catalizador gastado de las unidades de reformación catalítica de naftas de Cardón, del Complejo Refinador Paraguaná en el Estado Falcón, e identificar opciones potenciales para minimizar o prevenir tal generación a objeto de lograr un proceso más limpio, de ser el caso»; las conclusiones a las que llegó la autora, entre otras, fueron:

“La formación potencial de dioxinas y furanos en el proceso de Reformación catalítica de naftas, es posible únicamente en la unidad de regeneración del catalizador, de acuerdo a la coexistencia de las condiciones necesarias para su generación, como son la temperatura entre 480 y 530 °C, presencia de oxígeno, inyección de compuesto organoclorado y presencia de material hidrocarbonáceo”.

“Las principales secciones y reacciones involucradas en la formación potencial de las dioxinas y furanos en la unidad de regeneración del catalizador (CCR), corresponden a la combustión del coque depositado en el catalizador gastado, en la zona de quema, en presencia de aire enriquecido con percloroetileno, proveniente de la zona de cloración en la torre de regeneración del catalizador.” (Monroy, 2013).

Se revisó también, el «Estudio de la polimerización de resinas furánicas, la degradación térmica y las propiedades mecánicas», tesis en la que se estudió las resinas furánicas que provienen de materias primas de origen natural y que son renovables, éstas fueron empleadas para desarrollar materiales compuestos mediante el curado por microondas para aplicaciones de fuego e impacto, se realizó primero, el análisis de la resina furánica, caracterizada químicamente mediante RMN, TGA, GPC, etc. y luego se hizo un estudio cinético (mediante DSC “calorimetría diferencial de barrido” por sus siglas en inglés) de los mecanismos de reacción y curado (tanto convencional como por microondas). Obteniendo la autora, entre otras, las siguientes conclusiones:

“Los resultados obtenidos por DSC y el análisis cinético permiten concluir que, si la cantidad del iniciador es suficiente, la descomposición del iniciador es la etapa determinante de la reacción. La autoaceleración puede llevar a que la resina polimerice a mayor velocidad que a la que descompone el peróxido disminuyendo las emisiones”.

“Se separaron tres procesos de iniciación y polimerización con curados dinámicos. La iniciación redox, que tiene lugar a baja temperatura, la iniciación por descomposición térmica del iniciador, que aparece dentro del rango de temperaturas a las que descompone el peróxido, y la iniciación térmica, que tiene lugar en el intervalo de temperaturas en que la resina y el estireno pueden polimerizar térmicamente”. (Unai, 2014).

Pereira (2004), en su investigación sobre la “Contaminación Ambiental Asociada a Residuos de Arena de Fundición”, menciona que las fundiciones generan diariamente cantidades muy elevadas de arenas residuales de moldes y núcleos como resultado de la aglomeración de arenas con resinas orgánicas, identificando formaldehído, alcohol furfúrico y fenol como componentes de las resinas utilizadas en las fundiciones y dadas las características tóxicas de estos compuestos, realizó la cuantificación de los tres contaminantes en forma libre con el fin de poder evaluar este tipo de contaminación orgánica, para lo cual desarrolló metodologías analíticas sensibles y selectivas, capaces de identificar niveles traza de estos contaminantes en matrices complejas.

Analizó muestras de diferentes etapas del proceso de fundición para identificar qué procesos son los responsables de la contaminación, muestras (arenas mezcladas con resina y catalizador, sin metal fundido); arenas residuales sometidas a fundición y desmoldeo; arenas recuperadas por tratamiento térmico; arenas de granulometría fina

resultante del tratamiento mecánico de terrones de arena o arenas térmicas. Realizó el estudio en dos fábricas, una de moldes, machos y núcleos, en arenas furánicas y otra en arenas fenólicas y alcalinas.

“El formaldehído, el alcohol furfurílico y fenol, componentes de reconocida toxicidad, se identificaron como constituyentes de la mayoría de las resinas utilizadas en las fundiciones. Fue necesario desarrollar metodologías analíticas sensibles y selectivas, capaces de identificar trazas de estos contaminantes en matrices complejas”.

“Para el alcohol furfurílico, tampoco existen métodos de referencia para el análisis en resinas, ya sea en residuos, suelos o sedimentos. Cabe señalar que, en la medida de lo posible y dentro del alcance de este trabajo, se cuantificó el alcohol furfurílico por primera vez en resinas y arenas de fundición. Para esto, se probaron métodos basados en cromatografía de gases y líquidos. La cromatografía de gases mostró resultados con aplicabilidad a todas las resinas estudiadas”. (Unai, 2014).

“Por ello, el estudio global de la contaminación orgánica debe complementarse con un análisis detallado de la contaminación asociada con derivados del benceno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas y furanos”. (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, 1998).

En la investigación desarrollada por Roberto, Porta y Banda (2012): sobre un “Modelo de Evaluación de Gestión de Residuos Industriales Aplicado en Arenas Descartadas de Fundición”, realizaron un análisis químico de las arenas y determinaron la manera adecuada de poder disponer al momento de aplicar el “modelo de evaluación de manejo de residuos industriales” en diferentes y variadas condiciones climáticas, para ello recogieron 12 muestras a las que le realizaron ensayos de lixiviación para poder determinar el contenido de fenoles y metales pesados; 10 de las muestras seleccionadas dieron concentraciones bastante bajas.

El envío de arenas descartadas de fundición (ADF) a su descarte final de modo controlado supone un alto costo, ello se agrava cuando estas empresas llegan al final de su vida útil. Sin embargo, las ADF son generalmente almacenadas transitoriamente o enviadas a disposición no controlada, situación que podría conducir, dependiendo de la carga dispuesta y condiciones del medio físico, a la contaminación del agua subterránea, generando un riesgo para la población que use el recurso para consumo humano.

“Las arenas descartadas de fundición deben ser estudiadas de manera particular en cada fundición a fin de ser categorizadas como residuos peligrosos o no, el estudio de diez muestras sobre un total de doce, consideró a los residuos como no peligrosos.”

“Los resultados arrojados por el modelo de evaluación de manejo de residuos industriales (I.W.E.M.) sugiere que, en áreas con recursos hídricos subterráneos vulnerables a la contaminación, utilizados como agua de consumo humano y bajo condiciones de clima subhúmedo o húmedo, las ADF con concentraciones de fenoles totales mayores a 0,001 mg.L<sup>-1</sup> o elaboradas con resinas alquídico poliuretánicas con Pb como constituyente, deben ser dispuestas en vertederos con barreras compuestas de arcilla y geomembrana”.(Miguel, et. al, 2013).

El Trabajo de investigación sobre el “Diagnóstico del Desempeño Ambiental y Propuesta de un Programa de Manejo Ambiental en una Planta Fundidora de Metales Ferrosos Sólidos” realizada en la provincia constitucional del Callao, donde se fabrican productos de hierro, determinaron el grado de impacto ambiental en el área de influencia de los procesos productivos de la industria manufacturera, en los que se incluyen los procesos de “fusión, preparación de moldes, enfriamiento, solidificación, desmoldeo, tratamiento térmico, embalaje y almacenamiento” y propusieron acciones preventivas que mitiguen y corrijan los posibles desvíos de los procesos que generan alteraciones al equilibrio biológico, físico y hasta socioeconómico de todo el lugar”.

Mediante el uso de matrices pudieron identificar los focos generadores de impactos ambientales y así determinar la importancia de estos impactos.

“La evaluación global del impacto a la calidad del aire determinó que es de importancia moderada, basándose en los parámetros analizados referidos a aspectos ambientales tales como ruido, material particulado, vapores y gases generados en casi todas las actividades de las operaciones, procesos productivos y actividades complementarias”.

“En el análisis por actividad impactante a la calidad del aire se pudo determinar que la fusión y molderería como fuentes de contaminación tienen una importancia crítica debido primordialmente a la intensidad con la que se realizan estas actividades, ya que se encuentran sobrepasando los límites máximos permisibles” (Huamán y Verde, 2016).

## **2.2. Bases Teóricas.**

### **2.2.1. Contaminación ambiental.**

La contaminación es el acto introducir un agente calificado como contaminante dentro de un medio natural causando inestabilidad, desorden y daños en el ecosistema. La contaminación es la alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de algunos de sus componentes producidas por la presencia —en concentraciones superiores al umbral mínimo— o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado. La contaminación ambiental es definida como, “toda modificación que perjudique las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua y que además, puede afectar negativamente la vida humana o las materias primas”; pero, desde una perspectiva legal, la contaminación desvirtúa su sentido más estricto, a tal punto que en su sentido estricto y legal, se define la contaminación como:

“(…) una alteración directa o indirecta de las propiedades biológicas, físicas, químicas de una parte cualquiera del medio ambiente, que puede crear un efecto nocivo o potencialmente nocivo para la supervivencia, la salud o el bienestar de cualquier especie viva. La contaminación implica una percepción cultural de relación con el medio, y de grados de aceptación o no de riesgo potencial para la supervivencia.

(…) contaminación es la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.” (Vega, 1999).

#### **2.2.1.1. Daño ambiental.**

El daño ambiental es la afectación ambiental proveniente de toda actividad natural o humana que podría producir alteraciones que repercutan sobre la salud o el nivel de vida de la gente o estructura de los ecosistemas, así como degradar los elementos constitutivos del medio ambiente y el entorno ecológico que podrían revestir gravedad que exceda los niveles máximos de calidad, estándares o parámetros que constituyen el límite de tolerancia de convivencia armónica y equilibrada; en efecto:

“Hasta el momento hemos dado por sentado que el daño ambiental constituye el cuerpo del ilícito ambiental y lo identificamos en una primera instancia como toda aquella actividad humana o natural que produzca alguna alteración que repercute en cierta forma sobre la salud o nivel de vida de la gente y la estructura de los ecosistemas.” (Cafferatta, 2004).

El daño ambiental es una consecuencia de la contaminación ambiental, y se expresa valorativamente en función de la anulación o disminución de la función biótica; es decir, el daño ambiental designa al daño sobre el patrimonio ambiental el cual, puede ser común a una comunidad y hablaríamos de «impacto ambiental»; como el daño que el medio ambiente ocasiona a una persona, un grupo de personas, al patrimonio cultural y al patrimonio natural; pero, no cualquier alteración a la naturaleza se consideraría como daño, sino aquellas realizadas por una colectividad.

#### **2.2.1.2. Grado de contaminación.**

El grado de contaminación es un indicador ordinal del nivel de contaminación con respecto a lo que se estima sin contaminación o como nivel de contaminación normalizado o normado. Los grados de contaminación expresa los niveles de contaminación alcanzados, previamente ordenados y tipificados; un ejemplo típico de representación de los grados de contaminación, considera la siguiente estructura:

- Nivel I: Contaminación ligera.
- Nivel II: Contaminación Media.
- Nivel III: Alta contaminación.
- Nivel IV: Muy alta contaminación.

#### **2.2.2. Resinas furánicas.**

##### **2.2.2.1. Definición.**

La resina furánica es un material aglutinante que tiene la propiedad de unirse a otros y formar pastas con cierta plasticidad, que se conocen como morteros u hormigones, permitiendo moldearse y extenderse acorde a las necesidades previas a adquirir el estado sólido. Las resinas furánicas es un tipo de resina fabricada a partir de alcohol furfurílico

y polímeros Fenólicos; y, son los materiales aglomerantes más usados en la fabricación de modelos para la conformación por moldeo, ya que su función aglomerante permite que incluso trabajando con arena recuperada se consigan muy buenas resistencias.

#### **2.2.2.2. Contaminación por resinas furánicas.**

El proceso de fabricación de los moldes de piezas genera residuos sólidos procedentes de las arenas usadas para la preparación de moldes y machos, y es que: “El polvo de sílice es un problema en potencia dondequiera que se manipula arena” (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España); por otro lado, el uso de la resina furánica como material aglomerante o aglutinante en la preparación de los moldes, reviste un riesgo potencial de deterioro de las condiciones ambientales del área y zonas adyacentes donde se utiliza dicho compuesto químico ya que:

*“Normalmente, en las cajas calientes se utilizan resinas termoendurecibles de urea—formol o fenol-formol con alcohol furfurílico (furano), mientras que en el moldeo en cáscara se emplea una resina de urea-formol o fenol-formol. Tras un corto período de fraguado, el macho se endurece considerablemente y puede separarse de la placa del modelo con ayuda de punzones”.*

*“La fabricación de machos en caja caliente y en cáscara produce considerable exposición al formol, probablemente cancerígeno y a otros contaminantes, dependiendo del sistema”.* (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España).

El mayor residuo que se genera en los procesos productivos de las fundiciones, son los sólidos que provienen de las arenas de moldes y machos, así como los polvos y escorias de los hornos y los materiales que revisten éstos. Disponer la arena usada, constituye un problema difícil, por la necesidad de disponer de medios físicos y humanos para realizar dicho trabajo, porque el material residual de los moldes usados contienen un 85% de arena aproximadamente, estando constituido el resto por carbón mineral, arcilla, etc.; también es frecuente que la arena que se extrae de las piezas de los moldes y la que proviene del granallado, se recicla para la construcción de nuevos moldes.

#### **2.2.3. Moldeo de piezas de hierro dúctil.**

El proceso de fabricación de piezas de hierro dúctil requiere que dicho hierro fundido sea vertido en moldes fabricados con arena y aglomerantes especiales que se adecuan en

función del ritmo productivo requerido y del metal a moldear; en ese aspecto, las resinas furánicas son los materiales aglomerantes más usados en la fabricación de moldes para la conformación del moldeo, es decir, usado en la elaboración de moldes y almas de arena para la producción de piezas metálicas, entre ellas, las de hierro dúctil.

**Cuadro N° 01.- Aspectos ambientales en la fabricación de moldes y almas**

<b>Aspectos Energéticos y Ambientales en la Fabricación de Moldes y Almas</b>			
<b>Energía</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Efluentes</b>	<b>Residuos</b>
Utiliza ÷ el 7% y 20% (293 a 879 Kwh) del consumo total de las operaciones de las fundiciones, según el tipo de pieza fundida y el metal.	Benceno, fenoles y otros contaminantes del aire, si se utilizan almas químicamente aglomeradas.	Sedimentos que provienen de los limpiadores y recolectores	Arena mezclada con aglutinantes. Arena en verde de desecho.

### **2.2.3.1. Proceso de fundición.**

La industria de la fundición desempeña un rol importante en la estrategia para el manejo de residuos metálicos que buscan ser más sustentables con el medio ambiente; en efecto, la chatarra o conjunto de trozos de metal de desecho principalmente de acero, hierro, cobre, plomo y aluminio, son frecuentemente refundidos para elaborar nuevas piezas y/o productos finales. En el proceso de fundición de los metales se suelen alea estos con otros metales o no, de tal manera que se obtenga un producto caracterizado por ser más fuerte, resistente, elástico, tener menor peso, etc.; por ejemplo, al introducir elementos tales como el magnesio, azufre y fósforo durante el proceso de fundición del hierro, se obtiene un producto final denominado hierro dúctil. Los principales residuos producidos durante el proceso de fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, se presentan en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 02.- Residuos del proceso de producción de hierro dúctil**

<b>Proceso</b>	<b>Residuos</b>
<b>Elaboración de moldes y machos</b>	Arena usada, Residuos de barrido y de los machos Polvo y lodos
<b>Fusión</b>	Polvo y humos Escoria
<b>Colada</b>	Fundición a la cera Cáscaras y ceras
<b>Limpieza</b>	Residuos de limpieza

**Fuente:** Elaboracion propia.

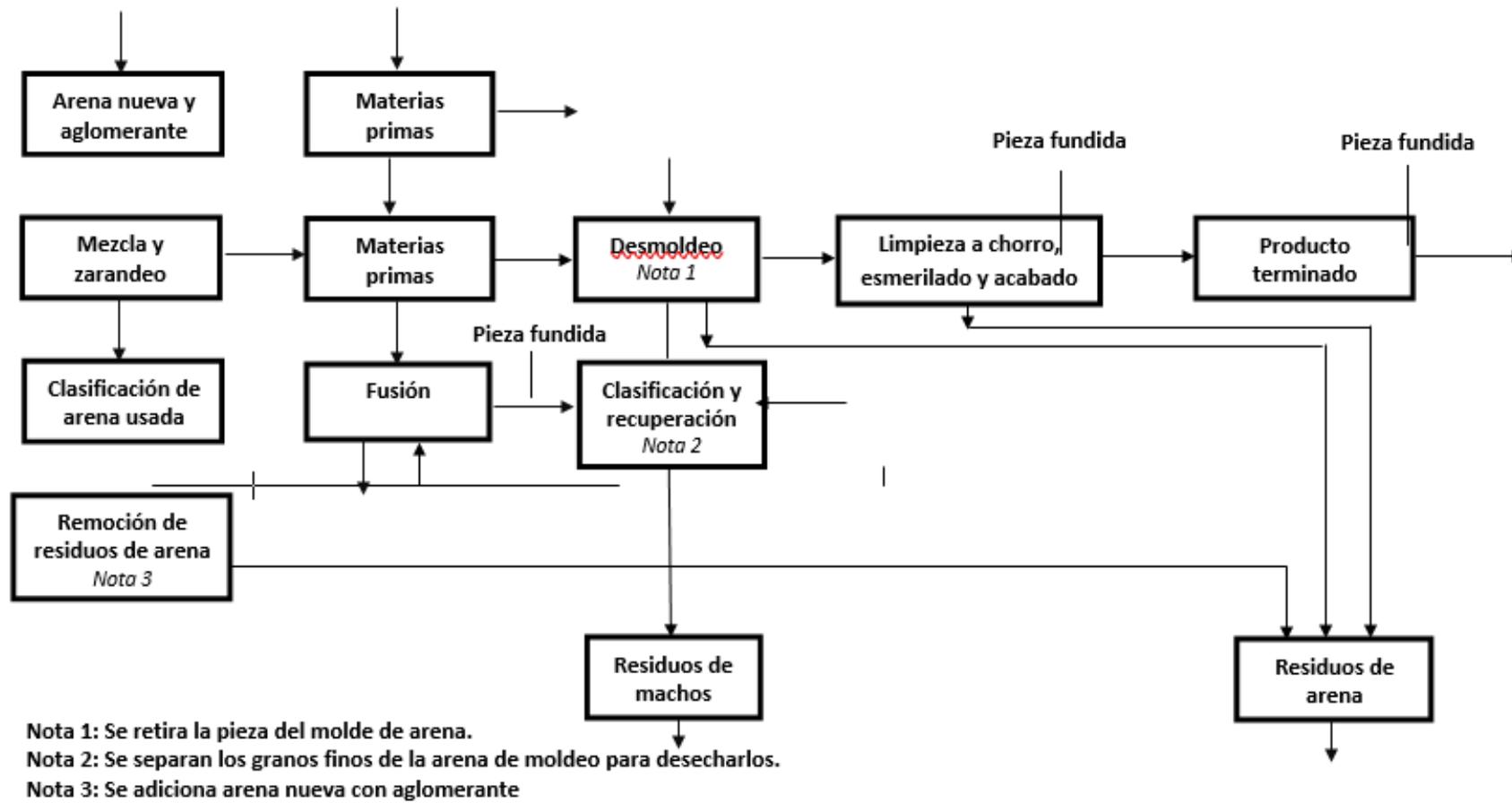
### **2.2.3.2. Preparación de moldes (moldeo).**

La preparación de moldes es el proceso orientado a la preparación de la arena y la formación de elementos destinados a aislar, delimitar, cubrir y dar forma a los espacios destinados a las partes externas de una pieza. El moldeo de dichas piezas puede realizarse a mano o con máquinas y puede realizarse mediante moldeo en seco y moldeo en verde, pudiendo algunos otros ser:

- Con aglomerante - A presión
- Magnético - Al vacío
- En cáscara - A la cera o
- Al CO<sub>2</sub> - Mericast (Hg)

El proceso de preparación de moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil sigue un proceso establecido que considera la secuencia de etapas que se presenta en la figura que prosigue.

**Figura N° 01.-** Diagrama de flujo del proceso de preparación de moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.



**Fuente:** Elaboración propia.

Los principales riesgos de salud ocupacional asociados con la preparación de moldes, son:

- Generación de polvo de dióxido de silicio debido a la arena empleada en el proceso, la cual tiene un contenido alto en silicio, el momento en el que se produce una mayor emisión de polvo es durante la carga a la mezcladora.
- Emisión de vapores orgánicos producido por los aglomerantes empleados en la confección de los machos.
- Al usar resinas furánicas con aglomerantes orgánicos, es el formol el que pasa a la atmósfera en concentraciones apreciables y en menor medida el fenol, siendo proporcionales estas concentraciones a la temperatura de trabajo en la arena.
- En las resinas fenol-isocianato (uretano) ingresa a formar parte el MDI (metileno-bisfenilisocianato), el cual actúa como irritante primario afectando en gran medida las vías respiratorias.
- Los problemas que se suscitan debido al contacto de las resinas furánicas con la piel, son las dermatitis agudas por lo que es indispensable el uso de guantes protectores debidamente normados.
- En el proceso del moldeo de machos de gran tamaño, se genera  $\text{CO}_2$  donde se aplica el CO a través de una ventosa, por lo que el riesgo de generación de concentraciones instantáneas de estos gases es elevado.

**Imagen N° 01.-** Zona de preparación de moldes para el vaciado del metal fundido en los respectivos moldes.



**Fuente:** Fotografiado propio.

### 2.2.3.3. Preparación de machos.

La preparación de machos, es el proceso orientado a la preparación de la arena y la formación de elementos destinados a delimitar, cubrir, dar forma y rellenar los espacios destinados a las partes vacías o internas de una pieza. Los riesgos a la salud que se derivan de las operaciones suelen ser la inhalación de vapores del disolvente donde, es posible alcanzar concentraciones elevadas durante cortos periodos de tiempo. Aquí debemos de tener en cuenta los valores de referencia sobre salud ocupacional para cortos periodos de exposición.

“A menudo la utilización del macho no responde sólo a la necesidad de crear huecos o entrantes, sino también a la de efectuar moldeos complicados con medios sencillos, hacer resaltar partes delicadas en los modelos grandes, reforzar los modelos delicados que, sin esta precaución, resultarían frágiles o deformables y evitar grandes salidas incompatibles con la naturaleza de la pieza.”(Universidad de Málaga, 2009).

**Imagen 02.-** Moldes (machos) hechos con resina furánica.



**Fuente:** Fotografiado propio.

### 2.3. Glosario.

Términos específicos a utilizarse en la presente investigación y que requieren de una acepción concordante con los fines de la misma, son los siguientes:

**Conformación por moldeo:** Es el proceso donde se fabrican las piezas metálicas con forma y tamaño definido, realizado mediante la fundición de un metal o aleación y el vertimiento del mismo en moldes construidos previamente.

**Contaminación del agua:** Es la polución, es decir, la contaminación de los cuerpos de agua superficiales a causa de los residuos sólidos y/o líquidos, principalmente. Se dice que el recurso hídrico superficial está contaminado cuando éste es susceptible de producir efectos negativos para los seres vivos y por ende, afectar la salud pública. En ese aspecto, el elemento contaminante de los recursos hídricos superficiales incluye a toda sustancia o materia, ya sea de manera individual o combinada, formando diversos compuestos, así como los todos derivados químicos o biológicos, del mismo modo, la energía térmica, las radiaciones ionizantes, las vibraciones o ruido que pudiesen incorporarse y actuar con el agua superficial, alterando o modificando su composición de manera que pueda afectar la salud humana.

**Contaminación del aire:** la contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente; en efecto, la contaminación del aire es un fenómeno que se da de manera paulatina y ahora, con mayor intensidad, afectando a los seres humanos de todas las ciudades del mundo y en especial, a los grupos vulnerables como son los enfermos, los inmunodeprimidos, los niños, las mujeres gestantes las personas adultas mayores de los sectores con menores recursos económicos y que son excluidos. En diversas investigaciones realizadas en Norte América y Europa se halla una relación directa entre la contaminación del aire y un amplio grupo de efectos sobre la salud humana, como la irritación de los ojos hasta la posibilidad de enfrentar la muerte. En efecto, los estudios nos encaminan a relacionar la contaminación atmosférica con enfermedades cardiovasculares como el cáncer de pulmón y tráquea, diversos tipos de rinitis alérgica y asma, así como una gran cantidad de infecciones respiratorias agudas. (Defensoría del Pueblo, 2006).

**Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es un instrumento de gestión ambiental que contiene diversos valores de concentraciones máximas de elementos, sustancias o productos, los cuales, al ser rebasados pueden deteriorar la calidad ambiental del aire, agua o suelo, afectando de manera significativa la salud humana y el medio ambiente, es por ello que no son sancionables ni de exigencia legal, sino que se usa para establecer políticas públicas de acción y protección ambiental. Cuando los valores de concentración de elementos contaminantes, sustancias, parámetros físicos, químicos o biológicos en un

cuerpo receptor como el aire, agua o suelo no rebasen lo establecido en el ECA, se dice que es adecuado, por lo que no representa riesgo significativo para la salud humana ni el medio ambiente.

**Hierro dúctil:** El hierro dúctil o nodular es el tipo de hierro obtenido mediante la introducción de elementos tales como magnesio (en relativa alta proporción), y, azufre y fósforo (en bajas proporciones); en el hierro fundido. El hierro dúctil se caracteriza por ser un tipo de hierro más fuerte, resistente, elástico y tener menor peso.

**Límite Máximo Permisible (LMP):** Son valores máximos de concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos o biológicos, que contiene una emisión o un efluente y que al excederse puede causar daños al medio ambiente y a la salud humana. A diferencia de los ECA's, su estricto cumplimiento es legalmente exigible y sancionable. Se podrá expresar en máximos, mínimos o rangos, dependiendo del parámetro que se esté midiendo.

**Materiales aglomerantes:** Los materiales aglomerantes o aglutinantes, son los que tienen la propiedad física de unirse a otros materiales para unirlos y enlazarlos, generalmente pétreos, formando pastas más o menos plásticas que permiten extenderse y moldearse de acuerdo a las necesidades y solicitudes a las que serán sometidos antes de adquirir el estado sólido.

**Modelos:** Prototipos o elementos referenciales y representativos de un objeto, sistema o idea, a tamaño natural. En el caso de fabricación por fundición de metales, los modelos constan de dos partes bien diferenciados, la parte externa o molde que dará la forma externa o revestirá externamente el producto final, y, los machos o almas, los cuales son necesarios si el producto que se desea fabricar es hueca, luego, los machos dan la forma interna a los productos evitando que el metal fundido rellene las cavidades.

**Piezas:** cada una de las partes básicas y unitarias de una maquinaria, equipo, herramienta o partes mecánicas compuestas; fabricadas por fundición de los metales; es decir, son los elementos metálicos individuales, considerados indivisibles, y que, debidamente articulados o ensamblados componen un sistema artificial o no natural.

**Riesgo de exposición:** Es el grado o probabilidad de que pueda ocurrir una eventual exposición a un factor ambiental nocivo o peligroso durante el desarrollo de un determinado trabajo y pueda causar alguna enfermedad o lesión; por lo que de existir

algún elemento, sustancia, fenómeno o una determinada acción humana capaz de producir lesiones, se depende de la eliminación y/o control del elemento agresivo.

## **2.4 Marco Legal**

Se detalla la normativa legal que se consideró para el trabajo de investigación:

### **2.4.1 Legislación de carácter general**

- Constitución Política del Perú, promulgada el 29 de Diciembre del 1993. Art° 22, derechos fundamentales de la persona, Capítulo II, Art° 67, Política Ambiental
- Ley General del Ambiente – Ley 28611, publicada el 13 de Octubre del 2005. Art° I, derechos y principios, Art° III, Participación en la gestión ambiental, Art° V, principio de sostenibilidad, Art° 25, Estudios de Impacto Ambiental, Art° 30, planes de descontaminación, Art° 31, Estándares de Calidad Ambiental, Art° 66, salud ambiental, Art° 74, responsabilidad general, Art° 77, producción limpia, Art° 113, calidad ambiental.
- Código Penal – publicada el 10 de abril del año 1991, Título XIII: Delitos contra la Ecología D.L. N° 635, art° 279, penas referidas a la fabricación, tenencia... de materiales y residuos peligrosos.
- Ley General de Residuos Sólidos – Ley N° 27314 publicado el 21 de Julio del 2000. Capítulo II: Disposiciones para el manejo de Residuos Sólidos Peligrosos, Título VIII: Medidas de Seguridad y Sanciones.
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos – D.S. N° 057- 2004-PCM publicado el 24 de Agosto del 2004. Art°. 27, calificación de residuo peligroso, Anexo 4, lista de residuos peligrosos.
- Ley que Regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos – Ley N° 28256 publicado el 19 de Junio del 2004. Art°. 3, Definiciones de materiales y residuos peligrosos, art° 10 de las Infracciones
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire – D.S. N° 074-2007 PCM public. el 21 de Junio del 2001. Art° 2, Principios.

- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido D.S. N° 085-2003-PCM publicado el 25 de Octubre del 2003. Art° 2, Principios, art° 3, Definiciones y art° 4 estándares primarios de calidad ambiental para ruido.
- D.L. N° 1065, Modifica la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos. Art° 5, competencias del Ministerio del Ambiente, Art° 6, competencias de autoridades sectoriales y art° 36, consolidación de la información.
- D.S. N° 003-2008- MINAM, Estándares de Calidad de Aire publicado 22 de Agosto del 2008. Art° 02, Inc. 2.1 y 2.2, diseño, aplicación y parámetros que caracterizan las emisiones de actividades productivas, extractivas y de servicios.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su reglamento, D.S. 008-2005-PCM., Art° 2, del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley 26786, Ley de Evaluación del Impacto Ambiental para Obras y Actividades, promulgada el 13 de mayo de 1997. Art° 2, modificación del art° 52, sobre autoridad competente en caso de peligro grave o inminente para el medio ambiente.
- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, promulgada el 23 de mayo del 2001 y su modificatoria, D.L. N° 1078, art° 10, contenidos de los instrumentos de gestión ambiental.
- D.S. N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, Promulgado el 24 de setiembre de 2009. Art° 66, carácter público de la información, segundo párrafo.
- Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, IX Principio de Protección, Título V, Capítulo I, Derechos y Obligaciones de los Empleadores y Art° 55, Control de zonas de riesgo.

- D.L. N° 1047, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de la Producción. Art° 2, competencias del Ministerio de la Producción.
- R.M. N° 343-2012-PRODUCE. Reglamento de la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de la Producción. Art° 115, funciones de la dirección general de asuntos ambientales de industria.
- D.S. N° 002-2009-MINAM, Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales. Art° 35, Indicadores de cumplimiento de la normativa y la gestión ambiental.
- D.S. N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. Anexo I, Cuadro de parámetros que establecen los estándares de calidad ambiental para el suelo.
- D.S. N° 002-2014-MINAM, Disposiciones complementarias para la aplicación de los ECA para suelo. Art° 11, del estudio de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente.
- D.L. N° 1013, Ley de creación, organización y funciones del Ministerio del Ambiente, Publicado el 14 de mayo de 2008. Título II, Art° 4, Ámbito de competencia del Ministerio del Ambiente, Art° 7, funciones específicas.
- D.S. N° 015-2005-SA, Reglamento de valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo, del 04 de Julio del 2005. Art° 01 y 02, objetivos y ámbito de aplicación. Anexo I, Cuadro de valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo, y Anexo II, Cuadro de valores límite permisibles para agentes químicos cancerígenos en el ambiente de trabajo.

## **2.5 Marco Conceptual**

### **2.5.1 Análisis de la actividad productiva en un proceso de fundición**

Se mencionan los aspectos que se consideran relevantes para realizar el análisis de todas las actividades en el proceso de producción de una planta de fundición y el área de moldeo.

**2.5.1.1 Personal:** Se organiza y distribuye a todo el personal que trabaja en la empresa de fundición en tres turnos:

- Primer Turno : 07:00 am – 05:00 pm
- Segundo Turno : 03:00 pm – 12:00 pm
- Tercer Turno : 12:00 pm – 08:00 pm

### **2.5.1.2 Instalaciones Eléctricas**

Se tiene que la demanda de energía eléctrica en toda la planta de fundición para el correcto funcionamiento de los hornos y el desarrollo de todas sus actividades del proceso productivo es elevada, esta energía eléctrica es proporcionada por una empresa distribuidora de energía eléctrica autorizada por el estado peruano, la cual abastece a toda la fábrica.

La planta cuenta con un transformador y un acumulador donde se recibe toda la energía, la cual luego, se distribuye primero a los transformadores secundarios y posteriormente a toda la planta.

### **2.5.1.3 Instalaciones de enfriamiento.**

Para un uso eficiente del agua, ésta se recircula y para lo cual se cuenta con varias pozas y torres de enfriamiento, en este caso específico, se cuenta con una poza de enfriamiento para el área de tratamiento térmico, esta agua es recirculada continuamente dentro de todo el proceso descargándose en un tiempo aproximado de tres meses. Se tiene una torre de enfriamiento con una capacidad aproximada de 200 m<sup>3</sup>, que tiene como función abastecer de modo continuo de agua a los tanques altos para que puedan refrigerar los hornos que están en continua recirculación, esta descarga se puede realizar en unos seis meses. Esa

agua de recirculación también se usa para todas las instalaciones sanitarias de la planta de fundición contribuyendo al menor uso de este recurso esencial.

#### **2.5.1.4**      *Descripción de la Actividad Productiva*

##### **a. Materia Prima Utilizada**

Se utiliza en la fábrica materia prima que procede de proveedores nacionales o se importa en menor cantidad.

La materia prima que se utiliza se describe como:

- Chatarra
- Aleaciones diversas como hierro con manganeso, molibdeno, cromo, etc, estas aleaciones se dan de acuerdo a lo que solicita el área de fundición.

##### **b. Insumos utilizados.**

Los insumos que mayormente se utilizan en la fábrica son:

- Pintura epóxica
- Fécula de maíz
- Alcohol Isopropílico
- Alcohol Etílico
- Bentonita
- Resina

##### **c. Productos obtenidos.**

Los productos fundidos, trabajados y que se obtienen en la fábrica son básicamente piezas de aleaciones de hierro dúctil, como por ejemplo:

- Válvulas de agua y desagüe
- Uniones universales
- Tapas de diversos tipos de buzones y cajas
- Grifos y surtidores
- Hidrantes, etc.

##### **d. Relación de Maquinaria y Equipos**

En el cuadro N° 03 se menciona la relación de la maquinaria y equipos que se utilizan en los diferentes trabajos del proceso productivo de la fundición.

**Cuadro N° 03.-** Relación de Maquinaria y Equipos.

<b>Maquinarias y Equipos</b>	<b>Función</b>
Horno de Inducción	Fusión
Grúa aérea	Traslado de pieza
Hornos de Tratamiento Térmico	Tratamiento de las piezas
Esmeriles	Acabado de la pieza
Granalladora	Limpieza de la pieza
Tornos	Equipos para acabado mecanizado
Fresadoras	
Taladros	
Mandriladoras	
Centros de Mecanizado	
Geeradoras	
Cepillos	
Punzonadora	
Sierra	
Soldaduras	
Prensa Hidráulica	
Barrenadota	
Equipos de Oxicorte	
Cizalla	
Tolvas	
Equipo para secado de arena	Tratamiento de la arena
Moldeo resina	
Moldeo en verde	
Calentadores de cuchara	

**Fuente:** Elaboracion propia.

*e. Consumo de Energía Eléctrica*

La energía eléctrica que se utiliza y que es proporcionada por una empresa distribuidora autorizada por el estado peruano, es aproximadamente de unos 128 585 Kw/h al mes.

*f. Consumo de Agua*

El consumo mensual de agua para sus diferentes procesos productivos es en promedio unos 300 m<sup>3</sup>.

*g. Descripción del Proceso*

La fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil no solamente se realiza con una sola fórmula de fundición, sino, existen una serie de fundiciones que pueden fabricar, obteniendo un amplio rango de propiedades que dependen del control de la microestructura, siendo la característica más común de este grupo de materiales, la forma del grafito; este proceso se realiza utilizando materia prima de proveedores nacionales o importando en menor medida. El proceso de fundición comprende la fusión propiamente dicha, preparación de los moldes, enfriamiento, solidificación, desmoldeo, limpieza, tratamiento térmico, acabado, embalaje y finalmente el almacenamiento.

*2.5.1.5 Operaciones y Proceso Productivo*

**a. Recepción de la Materia Prima**

Se utiliza chatarra de proveedores nacionales como materia prima junto a los ferroaleantes, los cuales se almacenan de acuerdo a su composición y características.

**b. Limpieza**

Previo a la fundición de las piezas metálicas, en algunos casos se hace una limpieza con alcohol.

**c. Fusión**

Este proceso se realiza con hornos de inducción eléctrica e incluso con hornos de arco eléctrico.

- **Proceso de fusión.-** Luego de seleccionada la materia prima de acuerdo a las características requeridas por el cliente, pasa a los hornos para ser fundida a una temperatura que va de los 1200°C a 1400°C de acuerdo al material que se desea fundir en un tiempo aproximado de una hora, se realiza el control de la temperatura con una termocupla y luego de realizada la fusión completa del metal, se realiza la colada.
  
- **Colada:** El material que se funde y pasa al estado líquido, “se vierte de los hornos a las cucharas revestidas (refractaria) a una temperatura aproximada de 1350°C. Una vez vertido el caldo en las cucharas refractarias se transporta hasta la línea de moldeo, donde es vertido a los moldes, que previamente fueron diseñados de acuerdo a la pieza requerida. En el secado se va eliminar toda la humedad que contenga el refractario y quemar todas las resinas y aditivos de modo que al realizar la primera colada no se genere una gran cantidad de gases que no solo es nociva para la calidad de acero sino que también puede generar cierto peligro. La escoria de la superficie del baño debe ser eliminada antes de la colada, para realizar esta separación se le adiciona caliza que va actuar como fundente lo que hace que las impurezas se fundan a baja temperatura y así removerlas del fierro fundido, esto se debe porque la caliza reacciona químicamente con las impurezas. Por ello al momento de efectuar la colada debe eliminarse esta capa de escoria para evitar que caiga en el molde junto con la aleación y queden ocluidas partículas de la misma en el seno de la pieza sólida” (Huamán y Verde, 2016). Todo es proceso es bastante rápido para evitar la oxidación de los compuestos reactivos y no se produzca pérdida de elementos metálicos en la colada.
  
- **Enfriamiento y Solidificación:** Luego de ser vertido a los moldes el material fundido, empieza el proceso de enfriamiento hasta solidificarse, involucrando las diversas fases fisicoquímicas del metal. “Se requiere un tiempo considerable para completar este cambio de fase porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor. El metal adopta la forma de la cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición. Cuando el metal vertido se ha solidificado se lleva a un enfriamiento a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura aproximadamente menor de 200°C, proceso que tiene una duración que varía en un rango 5 a 6 horas” (Huamán y Verde, 2016). Luego de todo este proceso de enfriamiento y solidificación se retira o saca la pieza ya fundida fuera de su molde.

- **Desmoldeo y limpieza de las piezas:** Luego de que la pieza fundida se haya enfriado y solidificado, se realiza el desmoldeo, puede realizarse de varios modos, como por ejemplo, utilizando un péndulo de acero para separar la pieza del molde de arena y los demás componentes. “Una vez que la pieza ha sido desmoldada, se procede a la limpieza que consiste en retirar la arena calcinada que queda recubriendo la pieza, esta arena residual es llevada a un proceso de recuperación de arena, el cual consiste en hacerla pasar por una zaranda (separación primaria) y luego por un equipo donde se logra la separación de la arena contaminada y otros insumos de la reutilizable” (Huamán y Verde, 2016). La recuperación de la arena, sobre todo la que tiene la granulometría gruesa se vuelve a emplear en la fabricación de nuevos moldes y la arena que tiene la granulometría fina, se separa y almacena en varias tolvas junto a la escoria y polvo de hierro.

- **Limpieza y Acabado.-** Este proceso se realiza en el área designada para tal fin de dos maneras en relación al tamaño de la pieza:

**d. Acabado de Piezas Grandes:** Con estas piezas se llevan a cabo trabajos de desbaste, soldadura y esmerilado, que a continuación se detallan:

- **Desbaste:** Es el proceso mecánico que consiste en eliminar las rebabas presentes en las caras de apoyo de las piezas y así dejarlas completamente planas, este procedimiento es realizado con oxicorte y cincelado. El acabado final que se realiza en los orificios de las piezas, se definen y limpian haciendo un esmerilado fino con equipos de alta precisión como las puntas eléctricas.

- **Soldadura:** Procedimiento que se lleva a cabo para unir las partes de una determinada pieza que, por el tipo de diseño se fabrica por separado.

- **Esmerilado:** Etapa que forma parte del acabado final de las piezas grandes, se realiza con diversos tipos de esmeriles y partículas abrasivas a las piezas ya limpias y que estén soldadas, dándoseles el acabado superficial y cierto contorneado y forma para obtener las dimensiones solicitadas, finalmente las piezas se someten a una limpieza exhaustiva con alcohol isopropílico para ser luego pintadas.

**e. Acabado de Piezas Pequeñas:** Se realizan trabajos de corte de las rebabas e hilos presentes en las piezas, con diversos utensilios mecánicos como podría ser un eslabón placa, este acabado puede hacerse mediante:

- **Corte:** Procedimiento de eliminación del material sobrante como las rebabas o hilos con diversos utensilios como podría ser un eslabón placa.

- **Desbaste primario:** Luego del corte, la pieza podría presentar alguna imprecisión, la que es corregida con los esmeriles que pulen toda la superficie dejándola completamente lisa.

- **Desbaste secundario:** Es realizado usualmente de modo manual para darle el acabado específico requerido de diseño y contorneado final a la pieza que luego es sometida a inspección, donde, “se selecciona las medidas primarias que debe tener, así como su acabado final, de ser positiva la inspección, se deriva al área de despacho nuevamente. De lo contrario el producto es rechazado y retorna al esmeril secundario (técnico) para realizar la corrección de la pieza y luego llevarla a despacho. Según el requerimiento del cliente la pieza es llevada a un acabado final o se le puede realizar un tratamiento térmico” (Huamán y Verde, 2016)

**f. Tratamiento Térmico:** Procedimiento que consiste en “someter la pieza a una determinada temperatura para mejorar sus propiedades físicas. Este tratamiento permite mejorar la calidad de ciertos parámetros como el endurecimiento, revenido y templado (calentamiento ligero para liberar tensiones), ajustes que se realizan a requerimiento del cliente” (Huamán y Verde, 2016). En la producción del hierro dúctil, las piezas muy eventualmente son sometidas a este procedimiento.

**g. Endurecido:** Se realiza calentando la pieza de metal de modo uniforme y a una temperatura específica teniendo en cuenta la composición química de dicha pieza y luego se enfría inmediatamente utilizando agua o aire. Este procedimiento produce una estructura granular fina que nos permite aumentar la resistencia a la tracción (tensión) y disminuir la ductibilidad.

**h. Revenido:** “Se lleva a cabo en un horno circular. La temperatura de exposición de la pieza normalmente está dentro de un rango de 350°C y 750°, mientras para una pieza de Acero al Manganeso la temperatura es 900°C se realiza durante un tiempo determinado en función del espesor de la pieza” (Huamán y Verde, 2016).

**i. Templado:** En este procedimiento, la pieza es calentada a una temperatura de entre 800°C a 1000°C en función a su composición química para obtener finalmente una composición uniforme de todo el material que conforma la pieza.

#### **j. Enfriamiento post Tratamiento Térmico**

Existen varios métodos o técnicas para poder enfriar a las piezas luego del tratamiento térmico, como los que se describen:

- **Inmersión en agua:** Se sumerge directamente a la pieza caliente para ser enfriada mediante el contacto directo con el agua a temperatura ambiente en una poza diseñada para tal fin. El agua contenida en la poza se evacúa cada cuatro meses, realizándose también la extracción de los lodos y mantenimiento de la misma.

- **Rocío de agua:** Se realiza mediante un sistema de rociado de agua conocido como “rocío de lluvia” por un tiempo determinado en función a la temperatura con la que ingresó y el tipo de material constitutivo de la pieza.

- **Aire inducido:** Es realizado usando ventiladores industriales de acuerdo al requerimiento y diseño de la pieza de metal, siendo este procedimiento esporádico y bastante infrecuente.

- **Temperatura ambiente:** Se coloca en el patio de la planta, en un área destinada para tal fin para que la pieza se enfríe lentamente a temperatura ambiente.

#### **k. Mecanizado**

Es un conjunto de procedimientos que le confieren el acabado final a la pieza metálica y se realiza de acuerdo a los requerimientos y solicitudes específicas, cumpliendo con las fichas y normativas técnicas pertinentes, para este fin, se utilizan diversos tipos de máquinas como por ejemplo:

- Mandriladoras.- Máquinas de precisión que realizan los orificios y agujeros en línea.
- Generadoras de engranajes.- Se utilizan para realizar los dientes de los piñones de los engranajes. Para este proceso se utiliza un aceite refrigerante, el cual recircula impulsado por una bomba a través de toda la máquina.
- Taladros.- Máquinas que utilizan diversos tipos de brocas, los cuales son colocados de acuerdo al tamaño y profundidad del orificio que se pretende realizar.
- Centro de maquinado.- Máquinas de alta precisión mecánica que pueden realizar diversas funciones, individuales o múltiples, las cuales se programan de acuerdo a la necesidad de producción, como por ejemplo realizar funciones de taladrado, torneado, etc.
- Torneadores verticales y horizontales.- Realizan funciones de torneado preciso de acuerdo a la forma, tamaño y requerimiento de las piezas.
- Fresado.- Máquinas diseñadas para poder realizar rebajes, ranuras y molduras, así como igualar o trazar un hueco a las piezas requeridas.
- Punzonadora.- Es como un taladro bastante grande que puede realizar orificios a planchas de diversos espesores.
- Prensa hidráulica.- Muy utilizada en armar y desarmar piezas, trabaja colocando ejes a presión.
- Cepillado.- Cumple también la función de limpieza de la pieza, haciendo un cepillado horizontal o vertical y hacer canales arrancando la viruta.

## **I. Embalaje y Almacenamiento**

Luego de las inspecciones y supervisión realizadas a las diversas piezas, éstas se codifican y de acuerdo al acabado final de las mismas, se embalan utilizando cajas de madera, para que, sean llevadas finalmente al área de despacho para su entrega final al cliente.

### **2.5.1.6 Actividades Complementarias**

Durante todo el proceso de producción se llevan a cabo operaciones que ayudan a la fabricación del producto, algunas de ellas se describen:

### **a. Laboratorio**

Es el “corazón” de la fábrica, tiene equipos automatizados en los que se analizan las muestras de producción y la chatarra, como espectrómetros de emisión óptica, microscopios metalográfico de luz polarizada, durómetros, equipos de ensayos de tracción, etc., para verificar la calidad de las muestras de producción y la chatarra adquirida, analizar el buen balance de materia en la fundición, analizar la granulometría del hierro de acuerdo al tiempo de enfriamiento, analizar la composición química de las muestras de cada proceso de fundición, hasta obtener un producto con las especificaciones determinadas y poder obtener un buen producto de hierro dúctil.

Se saca una muestra de la materia prima, la que en forma de una briqueta de metal se analiza para verificar el cumplimiento de la composición requerida mediante el uso del espectrómetro de emisión óptica, el cual determina la composición química de la aleación, para luego poder iniciar el proceso de fusión de todo el material.

### **b. Modelería**

Procedimiento que se realiza tomando a la madera como materia prima y en la que también puede utilizarse planchas de acero, ello para poder realizar los diferentes moldes para las piezas que se requieran.

Este procedimiento tiene algunos subprocesos como:

- **Preparación de Moldes:** Actividad de gran importancia para realizar la preparación de los de acuerdo a las características solicitadas y especificaciones solicitadas. “Los moldes usados para la fundición en arena consisten de un material aglomerado de tal manera que mantenga su forma durante la colada. Todas las piezas fundidas en metales comienzan de la misma manera: se crea un molde con una cavidad que define una forma y se introduce el metal líquido en el molde para crear la pieza fundida. El modelo debe compensar la contracción y el cambio en volumen que se produce cuando el líquido se transforma en sólido, a fin de ajustarse a las dimensiones de la pieza fundida. Las líneas de moldeo se alimentan de arena proveniente del sistema de arenerías que constan de zarandas vibratorias, fajas transportadoras y tolvas de mezcla. Los moldes se preparan en una base de caja de hierro forjado de acuerdo a la geometría de las piezas a fabricar, en el caso de las zonas de difícil acceso o en las que

se requieran orificios se hacen uso de piezas denominadas almas” (Huamán y Verde, 2016). Se podría realizar este moldeo en verde o el moldeo químico.

- **Moldeo en Verde:** “El material de moldeo en verde consiste en una mezcla de arena de sílice, fécula de maíz, agua y bentonita (aglomerante); este último componente, proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, además de la resistencia suficiente para mantener la forma requerida a medida que se vierte el material fundido. Esta técnica se aplica para la fabricación de piezas de diversos tamaños. Para efectuar la compactación de la mezcla se utiliza un pistón o martillo neumático” (Huamán y Verde, 2016).

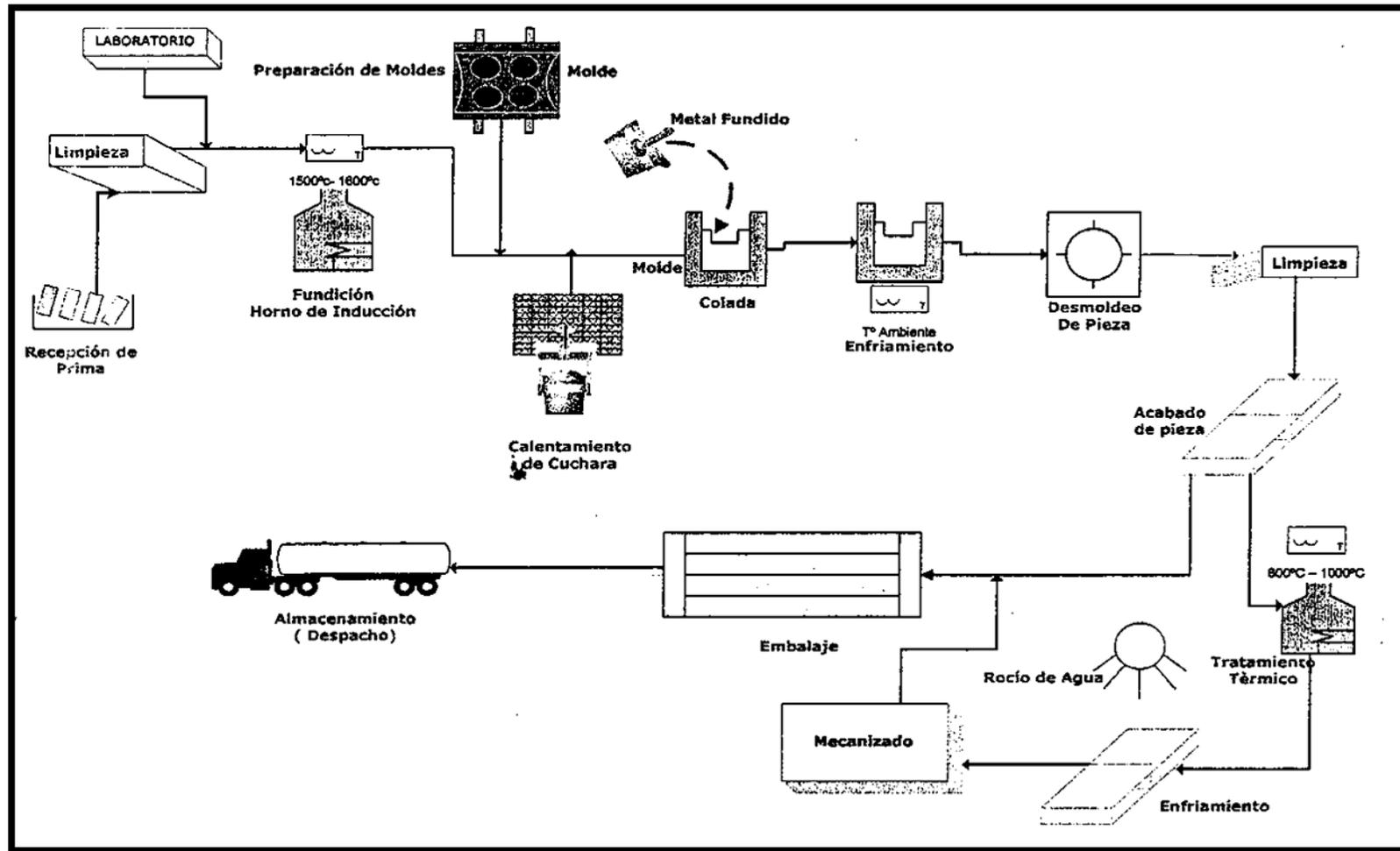
- **Moldeo Químico:** “El moldeo químico consiste en una mezcla de arena con un aglomerante químico (resina furánica ó fenólica). El agregado de resina ayuda a que el producto sea más compacto. Este tipo de moldeo preferentemente se emplea para la fabricación de piezas de gran tamaño. Para este tipo de molde es necesario aplicar pintura refractaria para evitar que se peguen las piezas” (Huamán y Verde, 2016).

- **Recuperación de arena:** La arena que presenta una granulometría fina luego del desmoldeo, es reprocessada y se recupera para luego utilizada nuevamente en el proceso productivo. Esta arena residual es mezclada con arena “virgen”, es decir nueva, ingresando ambas al proceso, para luego ser separadas inicialmente mediante una zaranda vibratoria y posteriormente ingresar al equipo de extracción de los granos más finos.

- **Calentamiento de cuchara:** Se denomina de este modo al procedimiento que se realiza con un recipiente de acero dulce que tiene un contenido máximo de carbono del 2% y está interiormente revestido de ladrillos los cuales son refractarios. Éstos calentadores denominados de cuchara deben secar los ladrillo al realizarse una cuchara nueva y luego calentarlos en cada ocasión que se reciba las diversas coladas del horno.

c. **Almacén:** Se ubica fuera de las instalaciones de la fundición, está dividido de manera práctica en secciones, en las que se realiza el almacenamiento de todos los insumos, materia prima y materiales necesarios para los diferentes procesos productivos.

Figura N° 02.- Gráfico que muestra el flujo del proceso de producción.



Fuente: HUAMAN y VERDE, Diagnóstico de desempeño ambiental y propuesta de un PMA en una fundición de metales ferrosos.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

##### 3.1. Hipótesis General.

La determinación del nivel de contaminación y daño ambiental es significativa debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, lo que permitirá tomar acciones de mitigación del impacto ambiental debido al uso de la mencionada resina.

##### 3.2. Hipótesis Específicas.

**HE<sub>1</sub>:** El uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a que las emisiones gaseosas provenientes de las fundiciones sean contaminantes a tal punto que se supera el límite máximo permisible para los elementos asociados con dicha resina.

**HE<sub>2</sub>:** El uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil ha contribuido a que los efluentes líquidos provenientes de las áreas de fabricación de piezas, sean altamente contaminantes a tal punto que superen el límite máximo permisible para los elementos asociados con dicha resina.

**HE<sub>3</sub>:** El uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición en los trabajadores de las fundiciones, a tal punto que no se cumple las recomendaciones de la OIT relacionadas con la seguridad e higiene en el trabajo.

**HE<sub>4</sub>:** El uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil conlleva altos niveles de contaminación.

**HE<sub>5</sub>:** El uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil causa daño ambiental.

### 3.3. Identificación de Variables.

Se considera tres variables que, relacionadas lógicamente sientan las bases estructurales de la misma; en efecto las variables consideradas son:

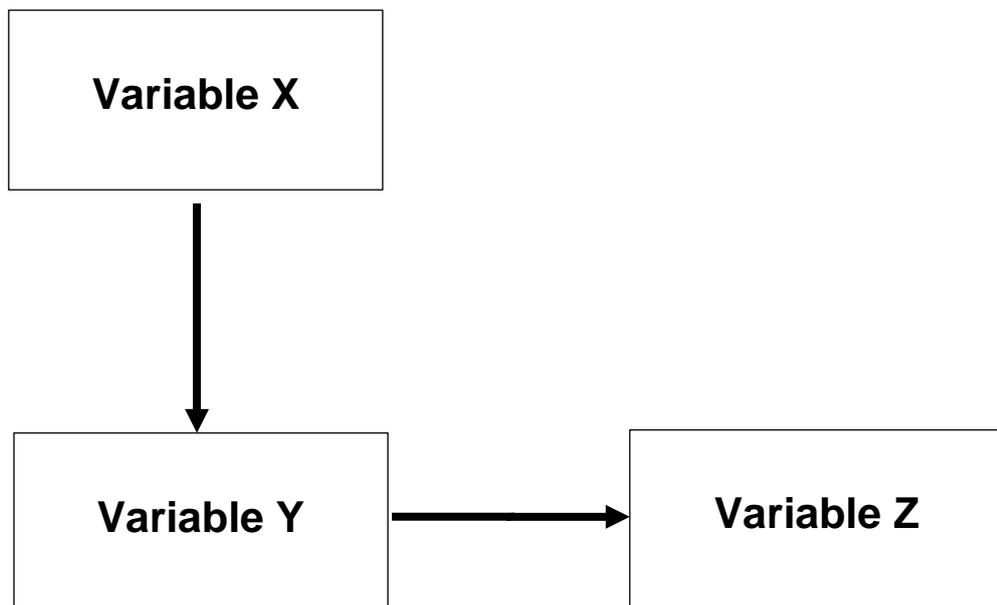
*Primera variable (Variable X):* Contaminación debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos.

*Segunda variable (Variable Y):* Daño ambiental debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.

*Tercera variable (Variable Z):* Grado de contaminación debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.

La relación existente entre las variables antes mencionadas, en la cual el símbolo «↓» representa la relación causal entre las variables X e Y, y, el símbolo «→» representa la relación de medición que la variable Z hace de la variable Y; se esquematiza en la figura siguiente:

**Figura 03.-** Relación entre las variables.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4. Matriz de Consistencia.

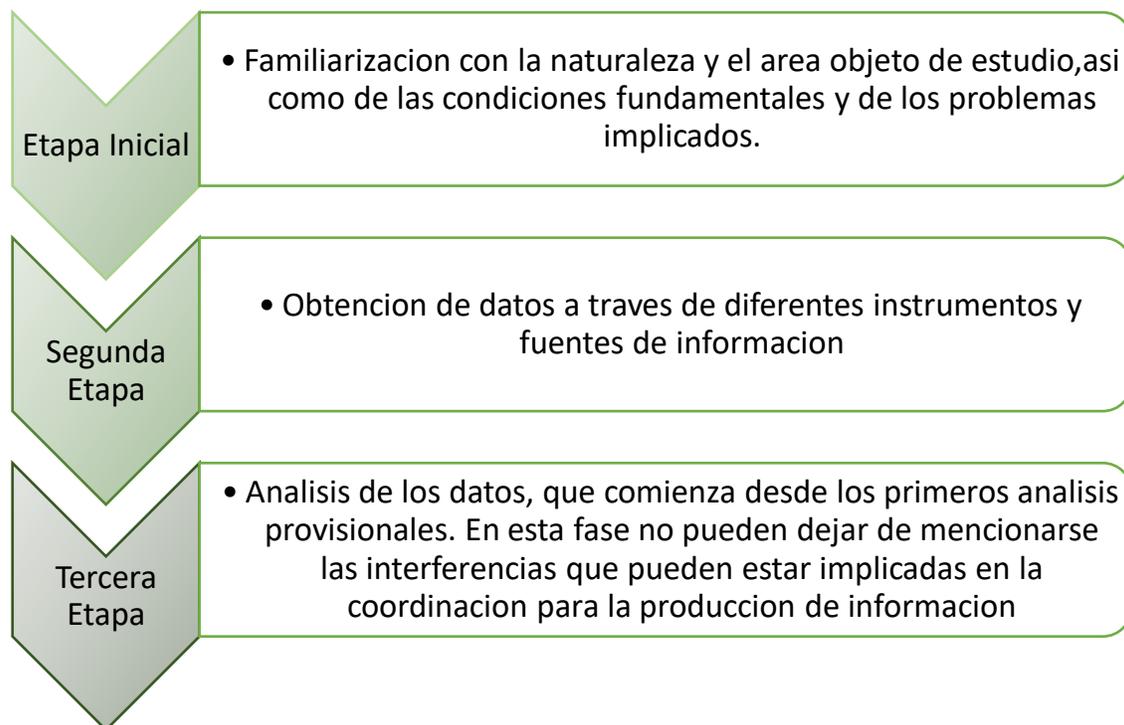
<b>Título:</b> Determinación del Grado de Contaminación y Daño Ambiental por Resinas Furánicas en la Preparación de Moldes para la Fabricación de Piezas Fundidas de Hierro Dúctil.				
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
¿Cuál es el grado de contaminación y daño ambiental debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?	Establecer el nivel de contaminación y daño ambiental debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, a fin de proponer alternativas de solución.	La determinación del nivel de contaminación y daño ambiental es significativa debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, lo que permitirá proponer acciones de mitigación del impacto ambiental debido al uso de la mencionada resina.	<b>Variable X:</b> Contaminación debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos.	<b>X<sub>1</sub>:</b> contaminación del aire. <b>X<sub>2</sub>:</b> contaminación del agua. <b>X<sub>3</sub>:</b> Exposición de los trabajadores a elementos contaminantes.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable Y:</b> Daño ambiental debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.	<b>Y<sub>1</sub>:</b> Estándar de calidad ambiental para el aire. <b>Y<sub>2</sub>:</b> Estándar de calidad ambiental para el agua. <b>Y<sub>3</sub>:</b> Recomendaciones OIT de seguridad e higiene en el trabajo.
<b>PE<sub>1</sub>:</b> ¿En qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación al aire?	<b>OE<sub>1</sub>:</b> Determinar en qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación al aire.	<b>HE<sub>1</sub>:</b> El uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil genera emisiones de elementos asociados que contribuyen a la contaminación del aire.	<b>Variable Z:</b> Grado de contaminación debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.	<b>Z<sub>1</sub>:</b> Límites Máximos Permitidos para elementos contaminantes del aire. <b>Z<sub>2</sub>:</b> Límites Máximos Permitidos para elementos contaminantes del agua. <b>Z<sub>3</sub>:</b> Requisitos mínimos de seguridad e higiene en el trabajo. <b>Z<sub>4</sub>:</b> Niveles de contaminación.
<b>PE<sub>2</sub>:</b> ¿En qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación del agua?	<b>OE<sub>2</sub>:</b> Determinar en qué medida el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil contribuye a la contaminación del agua.	<b>HE<sub>2</sub>:</b> El uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil genera efluentes de elementos asociados que contribuyen a la contaminación del agua.		
<b>PE<sub>3</sub>:</b> ¿De qué manera el uso de la resina furánica en la	<b>OE<sub>3</sub>:</b> Identificar en qué medida el uso de la resina	<b>HE<sub>3</sub>:</b> El uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para		

<p>preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición a los trabajadores?</p> <p><b>PE4:</b> ¿Cuál es el grado de contaminación debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?</p> <p><b>PE5:</b> ¿Qué daño ambiental causa el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil?</p>	<p>furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición en los trabajadores de las fundiciones.</p> <p><b>OE4:</b> Establecer el nivel de contaminación debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.</p> <p><b>OE5:</b> Cualificar el daño ambiental que causa el uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.</p>	<p>la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, genera riesgo por exposición a los elementos contaminantes en los trabajadores de las fundiciones.</p> <p><b>HE4:</b> Es alto el nivel de contaminación debido al uso de la resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil.</p> <p><b>HE5:</b> El uso de resina furánica en la preparación de moldes y machos para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil causa daño ambiental.</p>		
---	---	--	--	--

### 3.5. Tipo, Diseño y Viabilidad de la Investigación

La presente investigación es del tipo aplicada no experimental de corte transversal. Dado que se cuenta con la tecnología necesaria y suficiente para lograr satisfactoriamente los objetivos planteados, siendo ésta, viable técnicamente. Desde una perspectiva económica, la investigación es viable, ya que se cuenta con los recursos necesarios para su ejecución; por otro lado, desde la perspectiva ambiental, es viable por la orientación de la misma y la naturaleza del problema objeto de estudio. Esto es luego de seguir los procedimientos de investigación que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 04.-** Etapas del Proceso de Investigación.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6. Unidad de Análisis.

La unidad de análisis de la presente investigación lo constituyen las emisiones gaseosas y líquidas de la fundición de hierro dúctil, así como los trabajadores de la misma.

### 3.7. Población de Estudio.

La población en estudio lo constituyen los elementos contaminantes a medirse, que emite la fundición de hierro dúctil a la atmósfera, los flujos y los trabajadores dedicados a la conformación por moldeo y posterior fusión de las piezas de hierro dúctil, durante la jornada laboral que desempeñan.

### 3.8. Tamaño de Muestra.

La muestra determinada, estará conformada por los compuestos que por su concentración o característica, pueden ser considerados contaminantes tomados en cuenta para la medición durante un lapso 24 hrs. realizado en un monitoreo ambiental efectuado para tal fin

### 3.9. Variables de Investigación.-

Con el objeto de realizar de manera objetiva y clara esta etapa de la investigación, se aplica el Modelo Numérico de Correlación Multivariable, para lo cual se han considerado las siguientes variables (cualitativas y cuantitativas):

**Cuadro N° 04.- Variables**

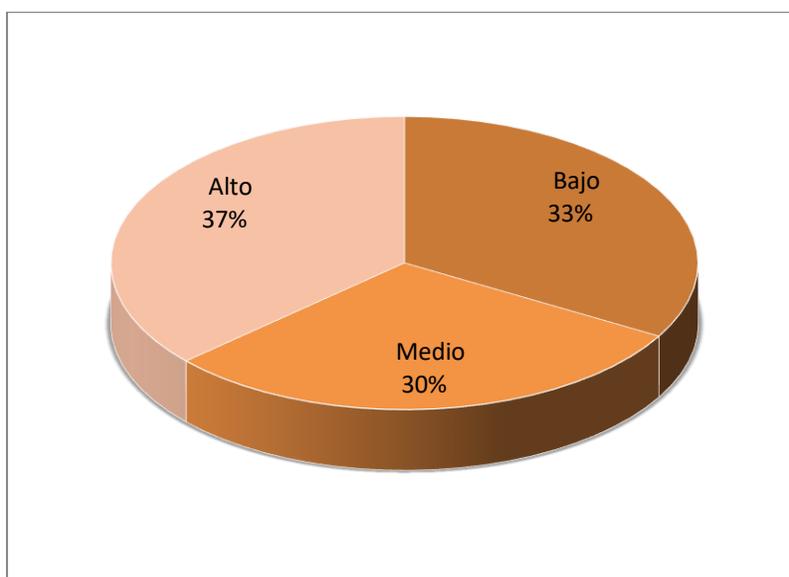
Variable	Tipo de variable	Unidades de medición	Parámetro
1. Potencial de Hidrógeno	Cuantitativa	pH	Media Aritmética
2. Temperatura	Cuantitativa	Grados Celsius (°C)	Media Aritmética
3. CO <sub>2</sub>	Cuantitativa	ppm	Media Aritmética
4. CO	Cuantitativa	ppm	Media Aritmética
5. NO <sub>2</sub>	Cuantitativa	ppm	Media Aritmética
6. Contaminación aparente	Cualitativa	(1)alto (2)medio (3)Bajo	Moda

### 3.10. Manejo de Resultados.-

**Cuadro N° 05.- Datos: Contaminación Aparente**

Contaminación Aparente	Número de mediciones	Proporción estimada
Alto	11	36.7
Medio	09	30.0
Bajo	10	33.3
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100,0</b>

**Gráfico N° 01.- Contaminación Aparente**



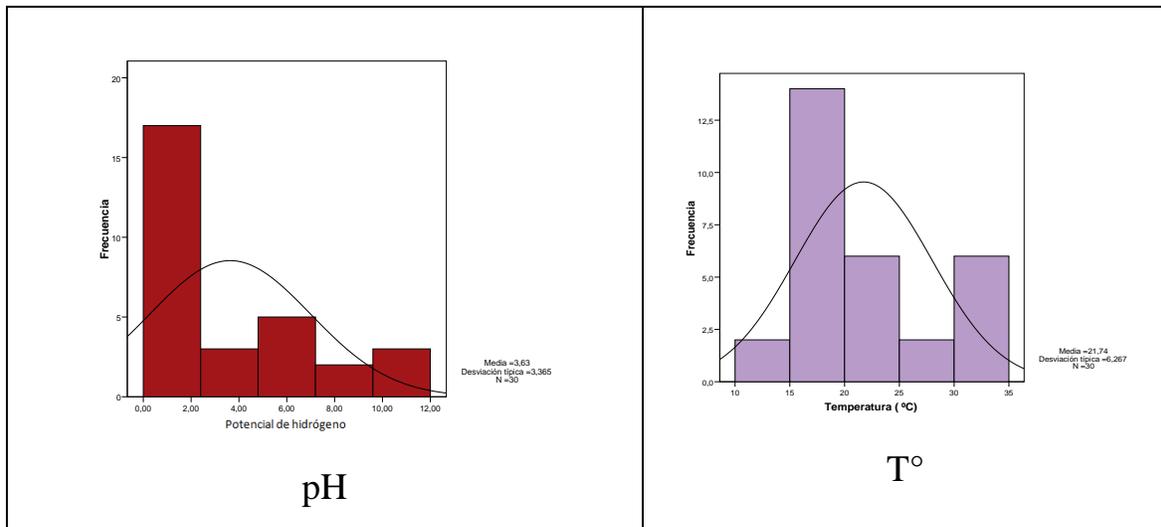
**Cuadro N° 06.- Medias, Medianas y Desviación Estándar de las variables asociadas**

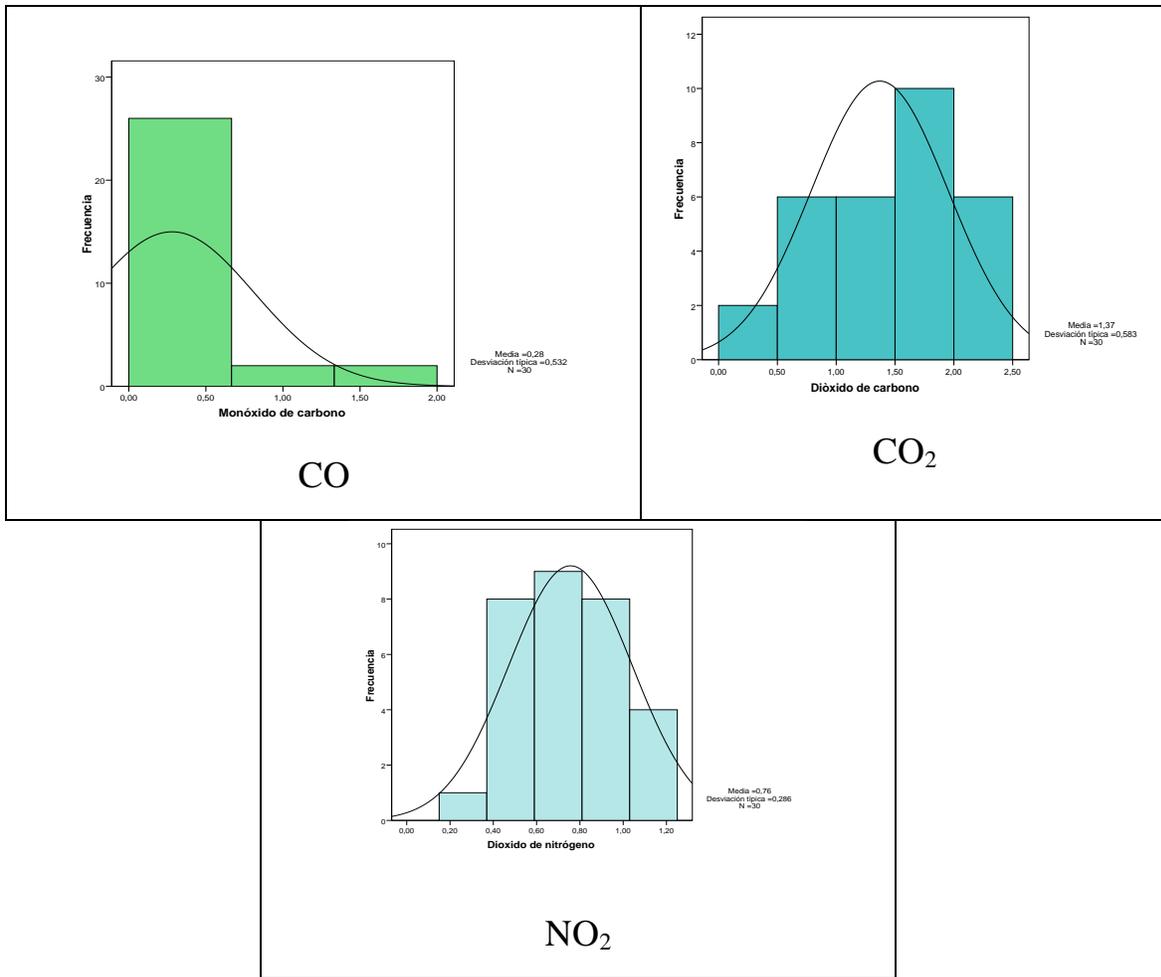
Contaminación Aparente	Estadísticas	pH	T°	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
Bajo	Mediana	2.00	17.50	1.70	0.06	0.70
	Media	3.10	21.40	1.58	0.27	0.72
	Mínimo	1.00	15.00	1.00	0.01	0.20
	Máximo	10.00	34.00	2.00	1.00	1.20
	Desviación E	3.21	7.12	0.34	0.40	0.35
	Mediana	3.00	19.00	1.60	0.20	1.00
	Media	3.78	20.47	1.46	0.53	0.90

Medio	Mínimo	1.00	16.00	0.40	0.01	0.40
	Máximo	8.00	31.20	2.10	2.00	1.20
	Desviación E	2.95	4.80	0.62	0.84	0.27
Alto	Mediana	2.00	23.00	0.80	0.03	0.70
	Media	4.00	23.09	1.11	0.09	0.67
	Mínimo	0.50	14.00	0.20	0.01	0.40
	Máximo	12.00	33.00	2.10	0.40	1.00
	Desviación E	4.02	6.80	0.67	0.13	0.20
Total	Mediana	2.00	19.00	1.50	0.03	0.70
	Media	3.63	21.74	1.37	0.28	0.76
	Mínimo	0.50	14.00	0.20	0.01	0.20
	Máximo	12.00	34.00	2.10	2.00	1.20
	Desviación E	3.37	6.27	0.58	0.53	0.29

**Gráfico N° 02**

**Factores ambientales relacionados con la Contaminación Atmosférica.**





### 3.11. Técnica e instrumentación

#### Técnica

Las principales técnicas que se utilizará en la investigación son:

- *Monitoreo de calidad de Aire.-* A Sotavento y Barlovento, de la fundición seleccionada.
- *Monitoreo de calidad del Agua.-* Pruebas de lixiviación como evaluación potencial de un residuo sólido para contaminación de agua subterránea.
- *Monitoreo de calidad de Aire.-* En ambiente de trabajo por tiempo de exposición.

## **Instrumento**

Los principales instrumentos que se aplicarán en las técnicas son:

- Guía de análisis de calidad del Aire.

La presencia de contaminantes en el aire que rebasen los Estándares de Calidad Ambiental en el Aire de los elementos seleccionados como: fenoles, HCN, S, C, N, Pb, entre otros elementos en muestras de PM10 y PM2.5.

- Guía de análisis de calidad del Agua.

La presencia de contaminantes en los efluentes que rebasen los Límites Máximos Permisibles de Calidad Ambiental del agua de los elementos seleccionados como: fenoles, HCN, S, C, N, Pb, entre otros elementos en muestras seleccionadas analizadas por ICP.

- Reglamento de Seguridad y Salud ocupacional del Ministerio de trabajo y normas de la OIT y derivados de elementos nocivos presentes en las Resinas Furánicas.

- Matriz de Riesgo de Exposición de los trabajadores a los elementos nocivos presentes en la resinas Furánicas usadas en la Preparación de Moldes para la Fabricación de Piezas fundidas de Hierro Dúctil, en periodos de exposición de 08 horas diarias y 06 días a la semana, bajo el siguiente principio:

**RIESGO = PELIGRO x VULNERABILIDAD.**

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Análisis e Interpretación de Resultados**

##### **4.1.1 Contaminación de aire por emisiones de gases (CO; NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>) y de otros Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's).**

Sobre la base de la evaluación química de las arenas recuperadas o gastadas, se analizó el contenido de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y otros gases. Cuando los moldes con aglutinantes orgánicos, son vertidos con aleaciones metálicas líquidas de Hierro Nodular a altas temperaturas (1300 °C - 1530 °C), una reacción térmica se produce y la descomposición de diversos gases contaminantes como CO; NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub> y otras emisiones de sustancias peligrosas como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) entre ellas Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos) son generados de los cuales una parte significativa de estos compuestos se emite a la atmósfera durante el vaciado del molde y luego en el momento del enfriado, sin embargo, una parte de ellos se condensa en espacios intergranulares en arenas de moldeo las cuales son desechadas o recuperadas para un nuevo proceso.

Lo que da lugar a la mayor preocupación porque contribuye significativamente a la contaminación del agua y aire, ennegreciendo el entorno de la fundición, paredes, suelos, ventanas y más. Los aglutinantes de furano han demostrado ser cancerígenos y se descomponen en temperaturas de fundición con emisión de gases tóxicos.

##### **4.1.1.1 Propiedades de la Resina Furánica y Catalizador.-**

Las arenas autografantes utilizan una resina de furano a base de alcohol furfurílico y un catalizador ácido. Tal como se muestra en la tabla N° 1 y N° 2. Comparación de resultados de un tipo de resina furánica según especificación u hoja técnica y los valores reales encontrados.

**Cuadro N° 07.- Propiedades Resina Furánica**

<b>Parámetros</b>	<b>Especificación Proveedor</b>	<b>Valor Real</b>
% Alcohol Furfurilico	50-65	No se determinó
% Sólidos (135 °C, 3.15-1h)	No Reporta	51
% Humedad (KF)	No Reporta	17.45
Índice de acidez (mg KOH/g muestra)	No Reporta	1.1852
pH (25 °C)	6.5 - 8.5	6.85
Formol Libre (% peso)	< 0.1	0
Viscosidad (25 °C,cP)	< 100	105
Índice de Referencia (20°C)	1.4860 - 1.5100	1.5064
Cenizas (%Peso)	No Reporta	0.58
Nitrógeno (%Peso)	Libre de Nitrógeno	0.12

**Cuadro N° 08.-** Propiedades del Catalizador

<b>Parámetros</b>	<b>Especificación Proveedor</b>	<b>Valor Real</b>
Ácido Xilen-Sulfónico (% peso)	83-91	85.35
Viscosidad 25 °C	260-300	540
Densidad (25 °C, g/cm <sup>3</sup> )	1.230-1.265	1.2539
Índice de acidez (mg KOH/g muestra)	No Reporta	268.40
% Humedad (KF)	No Reporta	4.90
Ácido Sulfúrico Libre (% peso)	< 0.1	3.37
pH a 25 °C	< 0.1	Cumple

#### **4.1.1.2 Pérdida de Peso por Ignición (L.O.I.)**

La determinación de la pérdida de peso por ignición (L.O.I.) es una metodología empleada para determinar el contenido en materia orgánica.

“Las pérdidas por ignición se refieren a la diferencia de peso antes y después de la ignición de una muestra de arena. Esta prueba es empleada para determinar la presencia de materiales orgánicos o de otro tipo que puedan formar gases en la mezcla de arena o en sus constituyentes, incluyendo arenas nuevas y recuperadas con mezcla de resina y catalizador. La medición de L.O.I. indica la cantidad de combustibles en la arena quemada. Por lo tanto, las mediciones L.O.I. pueden proporcionar información esencial acerca de la calidad general del sistema de arena para fundición, la presencia de materiales orgánicos en arenas de

fundición es problemática porque estos materiales pueden volatilizarse a temperaturas mucho más bajas que las requeridas para el proceso de fundición.” (Elisa Villacis, 2015)

Se realizó la evaluación del método y se llegó a la conclusión que el L.O.I. aporta una información rápida y barata en la determinación de los contenidos de materia orgánica. La determinación de estos parámetros se obtiene de una manera precisa, comparado, por ejemplo, con otros métodos químicos más sofisticados.

Materiales y Equipos según Handbook de la AFS (Sociedad Americana de Fundición)

A. Procedimiento: AFS 5100-00-S (5-1)

B. Loss On Ignition, L.O.I.

La pérdida de peso de una muestra a 982°C es la pérdida de peso debido a la volatilización de sustancias orgánicas, el aumento de peso debido a las reacciones de oxidación (específicamente cromita, olivino y magnetita)

C. Equipos y materiales requeridos

- Balanza de 0.001 g de sensibilidad
- Dispositivo de secado con flujo de aire (107°C+- 3°C)
- Horno de mufla (982 +- 6°C)
- Crisoles refractarios
- Tenazas
- Desecador
- Ladrillos refractarios para apoyar crisoles calientes

D. Cálculo de Resultados

$$\% \text{ LOI} = \left[ \frac{\text{B} + \text{C}}{\text{B} - \text{A}} \right] \times 100$$

Actualmente casi todas las plantas de fundición, que utilizan arenas de moldeo con resinas furánicas, reutilizan el material recuperado en cantidades de 50 a casi el 100%. La pérdida de material recuperada en la ignición (LOI) constituye una presencia medida de sustancias

orgánicas. Cuando el metal líquido es vertido en los moldes de arenas preparados con adiciones de regeneración de arena, aumentan las emisiones de gases (CO; NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>); y otros como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV'S) las que hacen referencia a las sustancias o compuestos que contienen los productos químicos que se convierten fácilmente en vapores o gases entre ellos los del grupo BTEX (acrónimo que significa benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos).

Los resultados de las investigaciones de descomposiciones térmicas de arenas de moldeo preparadas con resinas furánicas, en las que la arena nueva es la base, se muestra en la siguiente tabla:

Resultados:

1.1 - 1.5% de Resina Furánica

20 – 40% Catalizador

**Cuadro N° 09.- Porcentaje (%) L.O.I. Arena para Moldeo**

Meses de Muestreo	% L.O.I.		
	100AN	25AN/75AR	100AR
Marzo	1.38	4.98	5.34
Junio	1.65	5.52	5.78
Setiembre	1.43	5.21	5.48
Diciembre	1.29	4.85	5.25

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro N° 10.- Ph de Arena de Moldeo**

<b>Meses de Muestreo</b>	<b>Ph</b>		
	<b>100AN</b>	<b>25AN/75AR</b>	<b>100AR</b>
Marzo	4.35	3.81	2.51
Junio	4.85	3.21	2.35
Setiembre	4.63	3.52	2.41
Diciembre	4.49	3.95	2.71

**Fuente:** Elaboración Propia

#### **4.1.1.3 Monitoreo Ambiental**

“El monitoreo ambiental se realiza a efectos de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente, así como el estado de conservación de los recursos naturales” (OEFA).

“Esta actividad se efectúa en el marco de la función evaluadora del OEFA con el objetivo último de buscar quién es el responsable de la alteración ambiental identificada. En este sentido, a través de dicha actividad se brinda soporte para las acciones de supervisión, fiscalización y sanción ambiental, en tanto que permite conocer el nivel de afectación ambiental que puede ser atribuido a un potencial responsable” (Planefa 2017).

#### 4.1.1.4 Estándares Ambientales de Calidad del Aire (ECA – Aire)

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM – Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y Disposiciones Complementarias, aprobado el 07 de Junio del 2017, el cual deroga el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, el D. S. N° 003-2008-MINAM y el D. S. N°006-2013-MINAM. Esta norma establece los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los lineamientos de estrategia para alcanzarlos progresivamente.

**Cuadro N° 11.- Estándares de Calidad Ambiental para Aire**

Parámetros	Periodo	Valor (µg/m <sup>3</sup> )	Criterios de Evaluación	Método de Análisis [1]
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM <sub>2.5</sub> )	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman  (Métodos automáticos)

Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM10	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10 (Espectrometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

“NE: No Exceder

[1] Ó método equivalente aprobado

[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrara en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo”

#### 4.1.1.5 Límites Máximos Permisibles (LMP)

- Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, “Niveles Máximos Permisibles de Elementos y Compuestos presentes en Emisiones Gaseosas provenientes de las Unidades Minero – Metalúrgicas”.
- Reglamento sobre Valores Limite Permisibles para agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo
- Environmental, Health, and Safety Guidelines, Foundries- World Bank Group, Abril 2007.
- “Límites establecidos por la República de Venezuela: Decreto Presidencial 638 – Normas sobre la Calidad del aire y Control de la Contaminación Atmosférica, 26 de Abril 1995”.

**Cuadro N° 12.- “Niveles Máximos Permisibles de Elementos y Compuestos presentes en Emisiones Gaseosas provenientes de Unidades Minero – Metalúrgicas”**

Parámetro	Periodo	Niveles Máximos Permisibles (mg/m <sup>3</sup> )
Partículas en Suspensión	Concentración media aritmética diaria	100 (1)

**Fuente:** R.M. N° 315-96-EM/VMM.

(1) No debe ser excedido más de una vez al año.

**Cuadro N° 13.- Guía de Seguridad, Salud y Medioambiente**

Contaminante	Nivel Máximo Permisible (mg/Nm <sup>3</sup> )
Dióxido de Azufre, SO <sub>2</sub>	50*
Óxidos de nitrógeno, Nox	400**

**Fuente:** Environmental, Health, and Safety Guidelines Foundries World Bank Group Abril 2007.

\*Fusión de metales Ferrosos- Horno de Cubilote.

\*\*"Fusión de metales ferrosos. Nivel máximo de emisiones para las mejores tecnologías disponibles (BAT) y para hornos de cubilote sin coque"

**Cuadro N° 14.- Límites Permisibles de Emisiones Atmosféricas de Venezuela**

Parámetro	Actividad	Unidad (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de Carbono	Actividades sin Normas Específicas	1437.5

**Fuente:** “Límites establecidos por la República de Venezuela: Decreto Presidencial 638 Normas sobre la Calidad del aire y Control de la Contaminación Atmosférica, 26 de Abril 1995” Condiciones de Conversión de ppm a µg/m<sup>3</sup>: P= 1013.25, T= 25° C

#### **4.1.1.6 Planificación de Monitoreo Ambiental**

A fin de realizar el monitoreo que corresponde al tema de investigación de una empresa de fundición de hierro dúctil, se establecieron parámetros de medida como se detalla:

- ✚ Calidad de Aire (01 estaciones de monitoreo)
- ✚ Meteorología (01 estación de monitoreo)
- ✚ Emisiones Gaseosas (02 estación de monitoreo)

Se establecieron estaciones de monitoreo de acuerdo al Plan de Manejo del estudio ambiental respectivo. El monitoreo y evaluación, busca de manera objetiva, tener información que permita tomar conocimiento de los posibles efectos negativos que la actividad productiva de la Planta de Fundición de Hierro Dúctil pueda producir ocasionar en el entorno y así poder establecer medidas preventivas, de corrección y mitigación de considerarse necesario.

Los objetivos planteados con esta investigación, tienen por finalidad emitir una conclusión sobre los resultados, la metodología y los procedimientos empleados en el monitoreo, para tal fin, la investigación se realizó tomando en cuenta las normas y los procedimientos detallados en las normas vigentes aplicables a la Planta de Fundición de Hierro Dúctil.

A continuación se detallan las principales actividades realizadas:

#### **4.1.1.7 Trabajos de Gabinete**

- Sistematización de todos los datos recopilados y el procesamiento de la información obtenida como las características de operación y producción
- Obtención y realización de los cálculos técnicos que justifiquen las concentraciones de los diversos elementos contaminantes evaluados.
- Elaboración de la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.
- Realización y emisión Desarrollo de comentarios técnicos.

#### 4.1.1.8 Trabajos de Campo

- Coordinaciones de logística para acceso a las instalaciones de la Fundación.
- Reconocimiento de las instalaciones y facilidades de operación.
- Ubicación de las estaciones de monitoreo de Calidad de Aire y Meteorología.
- Obtención de las muestras con los instrumentos necesarios.
- Acopio de la información técnica obtenida en las instalaciones y en las estaciones de monitoreo definidas.

**Cuadro N° 15.- Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire**

Estación	Parámetros Evaluados	Coordenadas UTM (WGS 84)	Descripción
E-01	Partículas: PM10	N: 8 679 177 E: 0 274 738	Extremo Suroeste
E-02	Gases: CO, NO2 y SO2 COV'S	N: 8 679 313 E: 0 274 738	Extremo Noreste
MET-01	Temperatura, Presión Atmosférica, Dirección y Velocidad del Viento	N: 8 679 309 E: 0 274 779	Techo del tanque de agua

**Cuadro N° 16.- Emisiones Gaseosas**

Estación	Parámetros Evaluados	Coordenadas UTM (WGS 84)	Descripción
Vaciado y Fundición	Medición directa.- Temperatura de salida de gases, CO, NO2, SO2 y % O2 Cálculo matemático: Puntos, flujo de salida de gases, velocidad de salida y flujo másico de salida de gases.	AT (10 000 m <sup>2</sup> aprox.)	Vaciado de Moldes y Fundición de Piezas

**Fuente:** Elaboración Propia

**AT:** Área Total

#### 4.1.1.9 Resultados y métodos de ensayo de monitoreo de la calidad del aire

##### A. Partículas en suspensión menores a 10 micras, PM10

Bravo M Plus, es un muestreador de flujo constante que incorpora un módulo controlador con microprocesador. Su versatilidad, unida a su amplia capacidad de muestreo, lo hace adecuado para el muestreo de polvo y gas, ya sea en la pila o en el ambiente. Su sistema electrónico actualizado permite programar las muestras con la fecha y hora reales. Los valores de volumen y temperatura se miden electrónicamente en el medidor de gas seco durante el muestreo.

Se realizó el monitoreo de partículas menores a 10 micras utilizando un equipos PM10 de bajo volumen de la marca TECORA – BRAVO M PLUS, que funciona aspirando el aire del medioambiente a un flujo constante +/- 10%, consta de un amplio rango de flujo, el cual ingresa por un conducto de tal forma que el material particulado en suspensión se separa inercialmente en fracciones de tamaños dentro del rango muestreable de PM10. Las partículas son retenidas y concentradas en un filtro de fibra de cuarzo (47 mm de diámetro) durante un periodo de muestreo de 24 hrs., expresándose los resultados en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Cuadro N° 17.** Equipo Muestreador de Calidad de Aire PM10

<b>ÍTEM</b>	<b>Descripción Técnica del Muestreador de Partícula</b>		
Marca	TECORA		
Modelo	BRAVO M PLUS		
Tipo de Muestra	Gas; Polvo		
Tecnología	Automática	Aplicación	Para Evaluaciones Medioambientales

**Fuente:** Elaboración Propia

## B. Gases

- ❖ El monitoreo de gases (CO; NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) se hizo con el sistema de muestreo dinámico por absorción en solución de captación, el cual se compone de una solución específica que capta la absorción de cada gas en frascos burbujeantes de vidrio llamados impingers y bombas de succión para generar vacío.

Para que la muestra sea adecuadamente representativa y se eliminen las interferencias en el sistema de captación, se usó material normalizado para las líneas de muestreo y se orientaron adecuadamente los frascos burbujeantes y se verificó la hermeticidad del sistema.

**Cuadro N° 18.- Metodología de Análisis**

<b>Parámetro</b>	<b>Referencia del Método</b>
Partículas PM10	EPA- Compendium Method IO-2,3/ EPA- Compendium Method IO-3,1
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	EPA 40 CFR, Appendix A-2 to part 50, 2010
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	ASTM D1607-91, (Reapproved 2011)
Monóxido de Carbono (CO)	ETL - 130511/ Referenciado en análisis de los contaminantes del Aire - Peter O. Wamer (Validado) 2013.

- ❖ Para el muestreo de gases de compuestos orgánicos volátiles del grupo BTEX se realizó por el método de cromatografía de gases con la aplicación del detector de ionización de llama.

“La cromatografía de gases es probablemente la técnica con más aplicaciones, ya que ninguna técnica puede ofrecer la capacidad de separación o sensibilidad al analizar compuestos volátiles” (Museo Nacional de Ciencias Naturales, 2006).

Con una velocidad de calentamiento lineal de hasta 1200 °C por minuto, el TRACE GC Ultra puede reducir drásticamente los tiempos de análisis de muestras en una amplia gama de aplicaciones de GC, desde la determinación de aceites crudos, pesticidas e hidrocarburos, hasta la detección de drogas y la caracterización de alimentos y sabores.

La nueva técnica splitless de gran volumen, solo disponible con la plataforma Ultra, amplía el volumen de inyección de muestras de los métodos GC convencionales sin requerir una inversión adicional, más capacitación o la necesidad de revalidar métodos.

Esta nueva capacidad da como resultado aumentos drásticos en la sensibilidad, sin costos incrementales de preparación de muestras en una gran variedad de determinaciones de trazas, y es extremadamente fácil de configurar y operar con un inyector split / splitless estándar.

Las nuevas notas de aplicación ilustran cómo la tecnología patentada de calentamiento directo de columna puede reducir el tiempo total de análisis a niveles inalcanzables con el análisis GC rápido convencional. Las notas de aplicación discuten cómo el TRACE GC Ultra es capaz de realizar una destilación simulada de productos petrolíferos y la determinación del índice de hidrocarburos en muestras ambientales en menos de dos minutos.

La técnica de análisis, instrumentos e insumos para la realización de la cromatografía de gases es bastante más sencilla y de menor costo que la realizarla en HPLC.

El análisis por cromatografía de gases se emplea muy seguido para confirmar la existencia o ausencia de un determinado compuesto en una muestra.

Son muchas las aplicaciones ambientales de los diversos tipos de análisis como las usadas para analizar pesticidas y herbicidas, analizar hidrocarburos volátiles y semivolátiles, análisis del aire, entre otros.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó un cromatógrafo de gases que contiene un detector de ionización por llama, a continuación se describen los componentes básicos de un equipo de cromatografía.

### **C. Sistema de gas portador**

“La finalidad principal del gas portador es transportar los analitos a través de la columna, para ello el gas deberá cumplir con dos características: ser inerte y ser de alta pureza, de manera que no haya interacción entre el analito de la muestra ni en la fase estacionaria. Los gases utilizados generalmente son helio, nitrógeno o argón. La selección del gas portador influye en la separación de los analitos de interés, así como de la velocidad de análisis” (MNCN, 2006).

### **D. Sistema de inyección de la muestra**

“El sistema de inyección consta de una cámara situada a la entrada de la columna, que se calienta para que el analito pase a estado gaseoso y pueda ingresar a la columna. La temperatura de inyección debe ser 10 a 50 °C mayor a la temperatura establecida en la columna. Existen dos tipos de inyección, con división de flujo y sin división de flujo. El sistema sin división de flujo, conocido como Splitless, es recomendable cuando la concentración del analito es muy baja y hay la posibilidad de perder muestra en la inyección. El sistema con división de flujo, conocido como Split, es recomendable cuando la concentración del analito es alta, por lo que dividir el flujo evita sobrecargar la columna y contaminación excesiva” (MNCN, 2006; Skoog, Holler y Crouch, 2008).

### **E. Horno de la columna**

“La columna cumple el objetivo principal de esta técnica, la separación de los analitos mediante las fuerzas de interacción entre el soluto y la fase estacionaria a medida que la muestra pasa por la columna. La fase estacionaria puede ser un sólido o líquido dispuestos sobre un sólido que actúa como soporte. El sólido de la fase estacionaria puede ser de aluminio, sílica gel o tierra de diatomeas. Para su elección hay que tomar en cuenta la polaridad de los solutos respecto a la fase móvil, ya que unos tendrán

mayor afinidad que otros, por lo que la separación se ve directamente afectada. Las columnas varían en longitud, diámetro y recubrimiento interno, cada columna está diseñada para su uso en diferentes compuestos. La columna se coloca en un horno al cual se le puede aplicar temperatura controlada. La temperatura óptima depende del punto de ebullición de la muestra y es la que determina el tiempo de elución de los compuestos, por ende del tiempo necesario para completar el análisis” (MNCN, 2006; Skoog et al., 2008).

#### **F. Sistema de detección**

“El detector es un dispositivo que mide la concentración de cada uno de los componentes de la muestra mediante la generación de señal eléctrica, proporcional a dicha concentración. El detector debe cumplir con algunas características como: sensibilidad adecuada, estabilidad y reproducibilidad, tiempos de respuesta cortos y respuesta selectiva. Algunos detectores comúnmente usados son: ionización por llama, conductividad térmica, captura de electrones y termoiónico” (Skoog et al., 2008).

“El detector más usado es el de ionización por llama conocido por sus siglas en inglés como FID. Aquí la muestra es dirigida a una pequeña llama de hidrógeno y aire, donde la mayoría de los compuestos orgánicos producen iones y electrones cuando son pirolizados por la llama. La detección implica controlar la corriente producida al recolectar los iones y electrones. El número de iones que se produce es relativamente proporcional al número de átomos de carbono que se reducen en la flama. Este detector manifiesta una elevada sensibilidad, un gran intervalo de respuesta lineal y bajo ruido. Su principal desventaja es la destrucción de la muestra durante la combustión, sin embargo, es uno de los detectores más utilizados en la industria” (Skoog et al., 2008).

**Cuadro N° 19.-** Equipo Detector de ionización de llama (FID)

ÍTEM	Descripción Técnica		
Marca	THERMO FINNIGAN		
Modelo	TRACE GC ULTRA		
Método	Detector de ionización de llama (FID)		
Tipo de Muestra	Gas		
Tecnología	Automática	Aplicación	Para Evaluaciones Medioambientales

**Cuadro N° 20.-** Metodología de Análisis de Gases Aromáticos

Parámetro	Referencia del Método
Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Cromatografía de Gases EPA TO-17 “Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes”
Etilbenzeno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	
Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	
Xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	

#### 4.1.1.10 Parámetros Meteorológicos

Se seleccionó los lugares donde colocar las estaciones de monitoreo tomando en cuenta la dirección del viento predominante, la ubicación de las instalaciones, los lugares de influencia directa de la población, además del protocolo de monitoreo de calidad del aire y gestión de los datos de DIGESA y los criterios que se mencionan en el Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Emisiones del Ministerio de Energía y Minas.

**Cuadro N° 21.-** Equipo de monitoreo de los parámetros meteorológicos

<b>Descripción de la Estación Meteorológica</b>	
Modelo de la estación	VANTAGE VUE
Marca	DAVIS
Tipo	ESTACIÓN METEREOLÓGICA
N° serie	MB 121203004

La información obtenida en la estación portátil, sirvió para realizar la caracterización meteorológica..

Se registraron los parámetros meteorológicos como la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la presión atmosférica y humedad relativa, considerándose los factores según (EPA, 2014).

**Cuadro N° 22.-** Rango y unidades operativas de los sensores meteorológicos

<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Rango</b>
Velocidad del viento	m / s	1 - 80
Dirección del viento	grados	0 - 360
Temperatura	° C	-40 a +65
Humedad relativa	%	1 - 100
Presión atmosférica	mbar	540 – 1,100

#### 4.1.1.11 Medición de emisiones atmosféricas mediante el método de celdas electroquímicas

Este método permite realizar la medición de emisiones de oxígeno, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

Se realizó la medición de emisiones atmosféricas mediante un analizador de gases portátil, de la marca TESTO, modelo 340, el cual tiene la aprobación de la U.S. Environmental Protection Agency para realizar los análisis de gases de combustión, utilizando el Método de Prueba Condicional (CTM-030). La máquina analizadora utiliza celdas electroquímicas para realizar su procedimiento y es posible leer los resultados de las concentraciones de manera directa. En el siguiente cuadro se muestran los rangos de medición que puede realizar el analizador TESTO, modelo 340.

**Cuadro N° 23.- Características del Analizador de Gases**

<b>Analizador de Gases Testo 340</b>			
Marca	Testo AG	Rango O <sub>2</sub>	0 a 25 % Vol
Modelo	T - 340	Rango CO	0 a 1,000 ppm
N° de serie	0,9/min (controlado)	Rango NO	0 a 3,000 ppm
Bomba de diafragma	0,9/min (controlado)	Rango de NO <sub>2</sub>	0 a 500 ppm
Memoria	100 carpetas	Rango de SO <sub>2</sub>	0 a 5,000 ppm

#### 4.1.1.12 Evaluación de Resultados

##### A. Partículas en Suspensión Menores a 10 µm (PM10)

El cuadro muestra a continuación los resultados de concentración de PM10 en las dos estaciones de monitoreo de calidad de aire.

**Cuadro N° 24.-** Concentración de partículas menores a 10 µm

Estaciones de monitoreo	Fecha de toma de muestras	Tiempo de muestreo en minutos	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )	Estándar de Calidad Ambiental para Aire <sup>(1)</sup>
EM - 1	Del 08 al 09 Enero del 2018	1440	61,4	100 (µm/m <sup>3</sup> )
EM - 2			135,5	

(1) D.S. No 003-2017-MINAM

##### B. DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

La tabla muestra a continuación los resultados de la concentración de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) en las dos estaciones de monitoreo de calidad de aire.

**Cuadro N° 25.-** Concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Estaciones de monitoreo	Fecha de toma de muestras	Tiempo de muestreo en minutos	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )	Estándar de Calidad Ambiental para Aire <sup>(1)</sup>
EM - 1	Del 08 al 09 Enero del 2018	1440	< 12,15	250 (µm/m <sup>3</sup> )
EM - 2			< 12,15	

(1) D.S. No 003-2017-MINAM

### C. DIOXIDO DE NITROGENO (NO<sub>2</sub>)

La tabla muestra a continuación los resultados de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en las dos estaciones de monitoreo de calidad de aire.

**Cuadro N° 26.-** Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Estaciones de Monitoreo	Fecha de toma de muestras	Tiempo de muestreo en minutos	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )	Estándar de Calidad Ambiental para Aire (1)
EM - 1	Del 08 al 09 Enero del 2018	60	< 8,75	200 (µm/m <sup>3</sup> )
EM - 2			< 8,75	

(1) D.S. No 003-2017-MINAM

### D. MONOXIDO DE CARBONO (CO)

La tabla N° 18 muestra a continuación los resultados de la concentración de Monóxido de Carbono (CO) en las dos estaciones de monitoreo de calidad de aire.

**Cuadro N° 27.-** Concentración de Monóxido de Carbono (CO)

Estaciones de Monitoreo	Fecha de toma de muestras	Tiempo de muestreo en minutos	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )	Estándar de Calidad Ambiental para Aire (1)
EM - 1	Del 08 al 09 Enero del 2018	480	< 652	10 000 (µm/m <sup>3</sup> )
EM - 2			660	

(1) D.S. No 003-2017-MINAM

## E. Monitoreo Meteorológico

Es altamente recomendable que el monitoreo de la calidad del aire esté acompañado por un apropiado monitoreo meteorológico, considerando que el clima tiene una fuerte influencia en la dispersión y concentración de los contaminantes. (USEPA)

Se tiene por convención, que la dirección del viento, es la dirección que sopla desde un punto y se reporta tomando como referencia el norte geográfico, no el norte magnético. Esta dirección del viento se reporta frecuentemente en diferentes unidades, siendo la unidad preferente para reportarla, los metros por segundo (m/s).

Basado en la información registrada en la estación portátil, se realizó la caracterización meteorológica de toda el área de estudio. En el anexo N° 2 se muestran los datos registrados durante los meses de marzo, junio, setiembre y diciembre del 2018.

La tabla muestra a continuación los resultados promedios, máximos y mínimos de las variables meteorológicas que se obtuvieron durante el tiempo de muestreo de calidad de aire, estos resultados se separaron por registros de 24 hrs.

Se obtuvieron diferentes datos de la dirección del viento durante el periodo de realización del monitoreo de los parámetros meteorológicos, con esos datos se pudieron hallar, utilizando el análisis vectorial, la dirección resultante. El método para poder hallar la dirección resultante del viento, se tomó del protocolo de monitoreo de la calidad de aire y gestión de datos de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

**Cuadro N° 28.-** Parámetros Meteorológicos

Media Aritmética	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Presión Atmosférica (mbar)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección predominante del viento
Máximo	27	88	1013	9,72	SW (Sur Oeste)
Mínimo	21	62	1010	0,56	
Promedio	22,42	80,5	1011,54	4,61	

Durante los días 08 al 09 de enero del 2018 se obtuvieron los datos siguientes:

- La temperatura ambiental del área de estudio tuvo una variación comprendida entre 21.00 °C y 27.00 °C, así mismo, la humedad relativa presento valores que se encuentran entre 62 % y 88 %.
- La presión atmosférica presento valores que se encuentran entre 1010.00 mbar y 1013.00 mbar.
- Respecto al viento, este presento valores de velocidad comprendidos entre 0.56 m/s y un máximo de 9.72 m/s.
- La dirección del viento predominante (de donde viene) es Sur-Oeste (SW).

**Cuadro N° 29.- Emisiones de los Hornos**

<b>Resultados de la Estación de Monitoreo - Hornos</b>					
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>) %</b>	<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) %</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo Másico (kg/h)</b>	<b>Flujo Volumétrico (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
14,92	4,25	84,3	12 535,05	19 865,57	9,2

<b>Estación de Monitoreo (Hornos)</b>	<b>Partículas MP (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Monóxido de Carbono (CO) (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Óxido de Nitrógeno (NOX)O<sub>2</sub> al 11% (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
Resultados en Campo	0,06	15,79	11,5	0
Límite Máximo Permisibles (LMP)	100	1437,5	400	50

(1) Fuente: R.M. No 315-96-EM/VMM.

(2) "Límites establecidos por la Republica de Venezuela: Decreto Presidencial 638 – Normas sobre la Calidad del aire y Control de la Contaminación Atmosférica, 26 de Abril 1995".  
Condiciones de Conversión de ppm a ug/m<sup>3</sup>: P=1013.25 mbar, T= 25° C.

(3) Environmental, Health, and Safety Guidelines Foundries World Bank Group Abril 2007.  
"Fusión de metales ferrosos. Nivel máximo de emisiones para las mejores tecnologías disponibles (BAT) y para hornos de cubilote sin coque".

- ❖ La identificación de los HAP se realizó mediante el sistema compuesto por el cromatógrafo de gases Trace GC Ultra, equipado con la columna cromatográfica

capilar RTX 5MS (Restek) de 30 mm diámetro interno 0,25 mm. El análisis de los compuestos del grupo (PAH) se realizó según la norma ISO 11338-2: 2003, esta norma especifica los procedimientos para la preparación de muestras, limpieza y análisis para la determinación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) en fase gaseosa y de partículas en gases de chimenea y gases residuales. Los métodos analíticos son capaces de detectar concentraciones de HAP's de submicrogramos por metro cúbico de muestra, según el tipo de HAP's y el volumen de gases de combustión muestreados.

**Cuadro N° 30.- Metodología de Análisis de COV's**

Parámetro	Referencia del Método
Benzeno	Cromatografía de Gases ISO 11338-2: 2003
Etilbenzeno	
Tolueno	
Xilenos	

**Cuadro N° 31.- Emisiones Gases COV's Concentraciones de BTEX's Formados Durante la Descomposición Térmica de Arena de Moldeo**

N° CAS	AGENTE QUÍMICO	(µg/m <sup>3</sup> )		
		100AN	25AN/75AR	100AR
71-43-2	Benzeno	1.132	14.245	28.532
108-88-3	Tolueno	0.845	2.542	4.485
100-41-4	Etilbenzeno	0.253	0.425	0.652
1330-20-7	Xilenos, mezcla isómeros	0.114	0.194	0.409
95-47-6	o-xileno	0.025	0.045	0.075
108-38-3	m-xileno	0.055	0.064	0.142
106-42-3	p-xileno	0.034	0.085	0.192

#### 4.1.2. Contaminación del agua y suelo por metales pesados y otros

Se tienen procedimientos bastante útiles para realizar la caracterización de residuos y materiales que se emplean en la industria, como por ejemplo las pruebas de lixiviación, mientras que los materiales no convencionales como los residuos y subproductos industriales que se utilizan en las fundiciones, pueden contener sustancias y compuestos que al exponerse al agua, como la lluvia, el agua superficial o subterránea, probablemente se disuelvan y liberen al medio ambiente. Si la concentración de algún elemento es elevada, podría significar un riesgo significativo al medio ambiente en el que se encuentren.

Se utilizaron pruebas de lixiviación para determinar la potencial contaminación del suelo y agua de un residuo sólido en este caso las arenas de moldeo.

Se siguieron los procedimientos y métodos como el TCLP, Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad, por sus siglas en inglés, según el procedimiento estándar EPA 1311 y SPLP, Procedimiento de Lixiviación de Precipitación Sintética, por sus siglas en inglés, según estándar EPA 1312 y Métodos de prueba para evaluar desechos sólidos.

En la prueba TCLP la solución de pH = 4.9; es el líquido de lixiviación.

**Cuadro N° 32.- Lixiviación de Metales, Sustancias y Compuestos Tóxicos**

Metal/Sustancias/Compuestos	(mg/m <sup>3</sup> )		
	100AN	25AN/75AR	100AR
Arsenico	0.00012	0.00016	0.00022
Bario	0.00002	0.00004	0.00008
Cadmio	0.00015	0.00019	0.00024
Plomo	0.00003	0.0005	0.0011
Cromo	0.0015	0.0019	0.0024
Niquel	0.0002	0.0004	0.0008
Molibdeno	0.0015	0.0019	0.0014
Antimonio	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Selenio	0.0002	0.0004	0.0008
Mercurio	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Cobre	0.0022	0.0029	0.0038
Zinc	0.0015	0.0019	0.0024
Estaño	0.0021	0.0032	0.0015
Sulfatos	12.5	14.5	16.5

Carbón Orgánico Disuelto (COD)	158000	221000	524000
Carbón Orgánico Total (COT)	950000	1254000	2512000
Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos Σ Total - BTEX's	0.0015	0.0019	0.0024
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Σ Total - HAP's	<0.0010	<0.0010	<0.0010

### 4.1.3 Contaminación por exposición en ambiente laboral

#### 4.1.3.1 Monitoreo de exposición ocupacional:

“Los riesgos para la salud asociados a las actividades laborales en los ambientes de trabajo son prevenibles, sin embargo para una efectiva protección se requiere identificar y medir la presencia de éstos, así como otros factores determinantes de enfermedad, a fin de generar un diagnóstico correcto y completo que permita adoptar decisiones oportunas y efectivas. En los procesos productivos existen múltiples contaminantes del ambiente laboral que actúan como factores de riesgo y que pueden incidir negativamente en la salud de los individuos que entran en contacto. Entre estos revisten especial importancia los agentes de origen químico, físico y biológico. Genéricamente, se ha definido exposición como el contacto en el tiempo y el espacio entre una persona y uno o más agentes biológicos, químicos o físicos. El concepto de exposición depende de una serie de parámetros a considerar, por lo tanto al momento de evaluar exposición se deben considerar estos aspectos. En términos de salud ocupacional, se define exposición como el acto o condición de estar por razones de trabajo, en contacto dérmico, por inhalación o ingestión, con uno o una mezcla de estos agentes contaminantes, en un lugar y durante un período de tiempo determinado. La evaluación de la exposición en una determinada población trabajadora, corresponde a la medición de la intensidad y/o duración y frecuencia del contacto del individuo con un agente nocivo específico, se utiliza para caracterizar el riesgo de un individuo u grupo de individuos expuestos. La evaluación de la exposición en diferentes ambientes laboral implica identificar y evaluar los agentes que

pueden entrar en contacto con los trabajadores y analizar diferentes aspectos del proceso que determina el contacto” (Henao, 2010, p.17).

#### **4.1.3.2 Reglamento sobre Valores Limite Permisibles para agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo:**

“La Importancia de este reglamento, que se halla plenamente enmarcada en la función preventiva de riesgos ocupacionales por exposición a sustancias químicas, es inmensa, ya que por un lado permitirá actualizar la variedad de sustancias químicas que se utilizan en el país, y por otro, constituye un medio técnico legal, presentando el listado y precisando los valores tolerables de exposición ocupacional.

Es por ello que constituye un gran esfuerzo que pretende solucionar la problemática ambiental ocupacional del país en el ámbito y con la magnitud que le corresponde,” (Dirección Ejecutiva de Salud Ocupacional DESO - 2005).

- A. Media Ponderada en el Tiempo (TWA).**- Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo para la jornada laboral estándar de 08 horas al día.
- B. Exposición de corta duración: (STEL).**- Se determina como la concentración media del agente químico nocivo en la zona de respiración del trabajador, ésta se mide o calcula en cualquier período de 15 min. durante la jornada laboral, exceptuando aquellos agentes químicos que tienen la especificación de un período de referencia inferior en la lista de Valores Límite.

**Cuadro N° 33.-** Reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo

<b>VALORES LIMITE PERMISIBLES PARA AGENTES QUIMICOS EN EL AMBIENTE DE TRABAJO</b>							
<b>N° CAS</b>	<b>AGENTE QUÍMICO</b>	<b>LIMITES ADOPTADOS</b>				<b>Peso Molecular &lt;gramos&gt;</b>	<b>Notas</b>
		<b>TWA</b>		<b>STEL</b>			
		<b>ppm</b>	<b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>ppm</b>	<b>mg/m<sup>3</sup></b>		
100-41-4	Etilbenceno	100	434	125	543	106,16	Vía dérmica VLB
108-88-3	Tolueno	50	188			92,13	Vía dérmica VLB
1330-20-7	Xileno, mezcla isómeros	100	434	150	651	106,16	Vía dérmica VLB
95-47-6	o-xileno	100	434	150	651	106,16	Vía dérmica VLB
108-38-3	m-xileno	100	434	150	651	106,16	Vía dérmica VLB
106-42-3	p-xileno	100	434	150	651	106,16	Vía dérmica VLB

**Fuente:** D.S. N° 015-2005-SA

**Cuadro N° 34.- Valores Límite Permisibles**

VALORES LÍMITE PERMISIBLES PARA AGENTES QUÍMICOS CANCERIGENOS EN EL AMBIENTE DE TRABAJO					
CAS	CATEGORÍA A	AGENTE QUÍMICO	LÍMITES ADOPTADOS		Notas
			TWA		
			ppm	mg/m <sup>3</sup>	
65996-93-2	A1	Alquitrán de hulla, elevada temp. Brea comp. Volátil como soluble en Benceno		0.2	Vía dérmica, VLB
71-43-2	A1	Benceno	0.5	1.6	Vía dérmica, VLB

Fuente: D.S. N° 015-2005-SA

**Cuadro N° 35.- Lista de agentes químicos cancerígenos que debería evitarse su contacto<sup>1</sup>**

CAS	Categoría	Agente Químico
50-32--8	A2	Benzopireno
205-99-2	A2	Benzofluoranteno
569-55-3	A2	Benzoantraceno
97-87-5	A1	Bencidina
		Dimetilaminoazobenceno

<sup>1</sup> “Uso en estado puro o mezclado con otras sustancias cancerígenas o no”.

Fuente: D.S. N° 039-93-PCM “Reglamento de Prevención y Control del Cáncer Profesional”

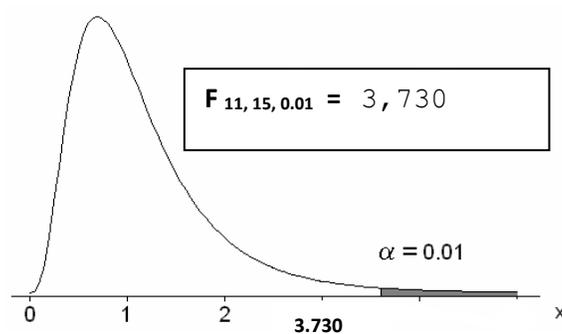
**Cuadro N° 36.- Emisión de Gases COV's Concentración de HAP's Formados  
Durante la Descomposición Térmica Arena de Moldeo**

N° CAS	Agente Químico	(mg/m <sup>3</sup> )		
		100AN	25AN/75AR	100AR
91-20-3	Naptaleno	28.42	112.55	140.55
83-32-9	Acenafteno	*	*	*
208-96-3	Acenaftileno	1.18	3.47	5.12
86-73-7	Fluoreno	3.53	3.31	7.35
85-01-8	Fenantreno	0.51	1.03	2.35
120-12-7	Antraceno	3.85	4.55	8.23
206-12-7	Fluoranteno	5.55	8.37	9.08
129-00-0	Pireno	3.52	3.86	7.35
56-55-3	Benzo[a]antraceno	0.81	2.98	3.93
218-01-19	Criseno	0.10	0.18	0.25
205-99-2	Benzo[b]fluoranteno	3.70	5.83	6.92
207-08-9	Benzo[k]fluoranteno	1.23	1.35	1.96
50-32-8	Benzo[a]pireno	0.95	3.47	4.09
53-70-3	Dibenzo[a,h]antraceno	0.22	*	*
191-24-2	Benzo[ghi]perileno	0.39	0.61	0.85
193-39-5	Indeno [1,2,3-c,d] pireno	*	*	*
132-64-9	Dibenzofurano	0.05	0.05	0.07
90-12-0	1-Metilnaftaleno	0.18	0.35	0.41
91-57-6	2-Metilnaftaleno	0.25	0.47	0.47
92-52-4	Bifenilo	0.06	0.09	0.10

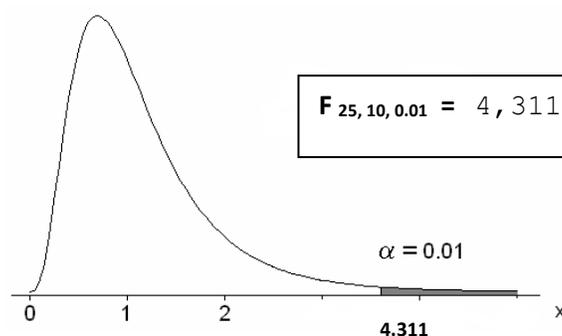
## 4.2 Prueba de Hipótesis

### Cálculo de la Región de Rechazo Modelo F – Snedecor

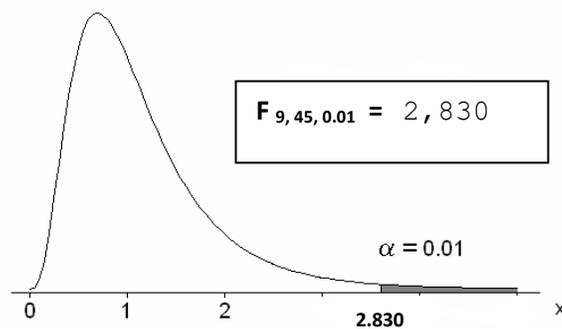
**Modelo probabilístico F-Snedecor, prueba de hipótesis bilateral.-** 11 grados de libertad en el numerador y 15 en el denominador. Región de rechazo al nivel de significación 0.01.



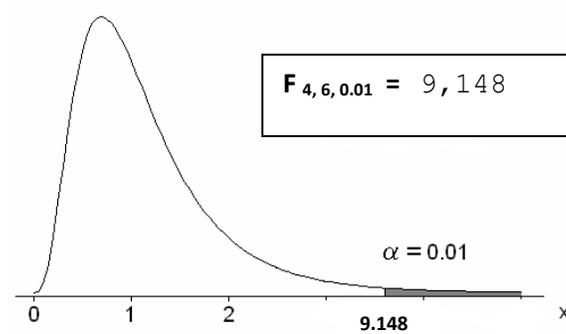
**Modelo probabilístico F-Snedecor, prueba de hipótesis bilateral.-** 25 grados de libertad en el numerador y 10 en el denominador. Región de rechazo al nivel de significación 0.01.



**Modelo probabilístico F-Snedecor, prueba de hipótesis bilateral.-** 09 grados de libertad en el numerador y 45 en el denominador. Región de rechazo al nivel de significación 0.01.

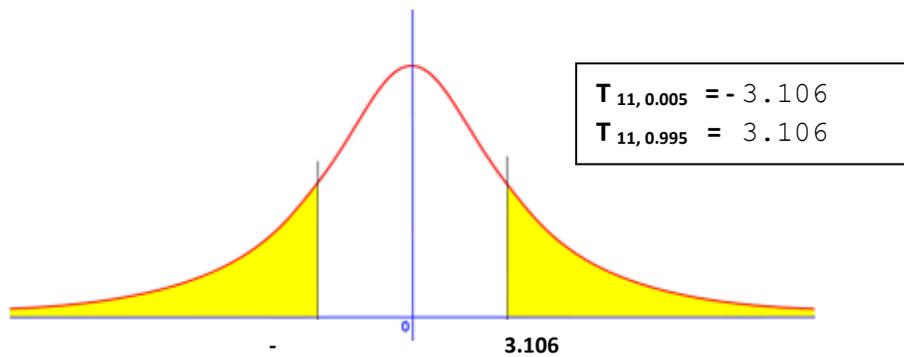


**Modelo probabilístico F-Snedecor, prueba de hipótesis unilateral.-** 04 grados de libertad en el numerador y 6 en el denominador. Región de rechazo al nivel de significación 0.01.

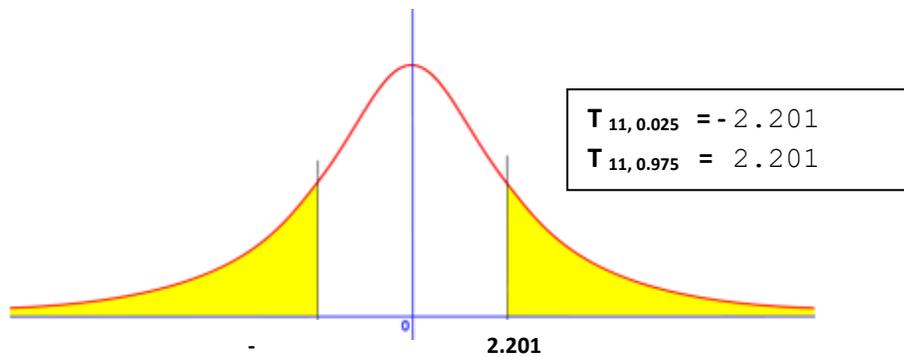


### Cálculo de la Región de Rechazo Modelo T – Student

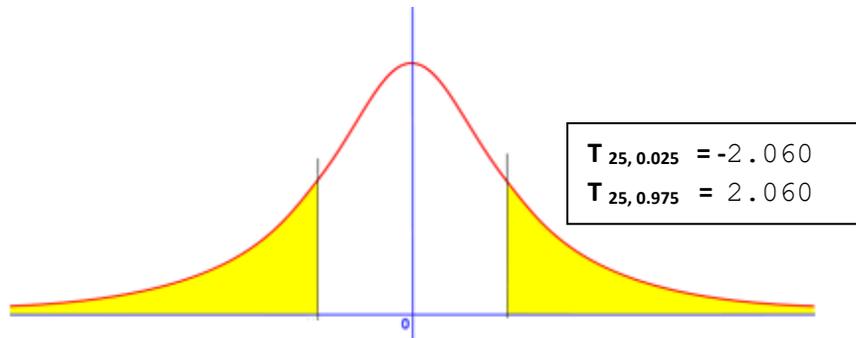
**Modelo probabilístico T, prueba de hipótesis bilateral.-** 11 grados de libertad. Región de rechazo al nivel de significación 0.05



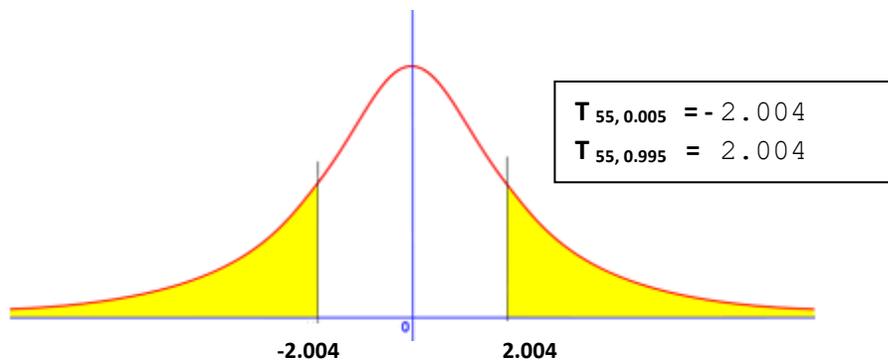
**Modelo probabilístico T, prueba de hipótesis bilateral.-** 11 grados de libertad. Región de rechazo al nivel de significación 0.05



**Modelo probabilístico T, prueba de hipótesis bilateral.-** 25 grados de libertad. Región de rechazo al nivel de significación 0.05.



**Modelo probabilístico T, prueba de  $\mu$  is bilateral**  $\mu$  dos de libertad. Región de rechazo al nivel de significación 0.05.



**Cuadro N° 37.-** Unidades y parámetros de medición de las variables

Variable	Tipo de variable	Unidades de medición	Parámetro
CO <sub>2</sub>	Cuantitativa	ppm	Media Aritmética
Contaminación aparente	Cualitativa	(1)alto (2)medio (3)Bajo	Moda

**Hipótesis Nula.-** La determinación del grado de contaminación y daño ambiental debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, No permitirá tomar acciones de mitigación del impacto ambiental.

**Hipótesis Alterna.-** La determinación del grado de contaminación y daño ambiental debido al uso de resina furánica en la preparación de moldes para la fabricación de piezas fundidas de hierro dúctil, permitirá tomar acciones de mitigación del impacto ambiental.

### Análisis de varianza

#### ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Dióxido de carbono	Inter-grupos	2,764	3	,921	3,383	,033
	Intra-grupos	7,079	26	,272		
	Total	9,843	29			

#### Test pos hoc de Duncan CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

Duncan <sup>a,b</sup>

Producción	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
Sin producción	8	.9250	
Baja	7	1,3429	1,3429
Media	7	1,4857	1,4857
Alta	8		1,7375
Sig.		0.059	,179

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- Usa el tamaño muestral de la media armónica = 7,467.
- Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

1. La investigación indica que las adiciones de arena recuperada a las arenas de moldeo tienen una influencia significativamente negativa sobre el medio ambiente y la salud de los trabajadores, principalmente se trata de compuestos orgánicos volátiles (COV's) y sustancias químicas, cuyas cantidades aumentan junto con el aumento de arena recuperada.
2. A mayor cantidad de arena recuperada en la arena de moldeo, aumentan las concentraciones de los compuestos del grupo BTEX's, generados durante el vertido del metal al molde, encontramos que éstas aumentan significativamente (casi tres veces). La concentración de benceno (componente principal de este grupo de propiedades cancerígenas) aumenta más que los otros compuestos. Todas estas concentraciones son proporcionales a los valores de L.O.I.
3. Adiciones de arena recuperada en la arena de moldeo provocan el aumento del valor de L.O.I. y en consecuencia, la emisión de mayores volúmenes de gases.
4. Con respecto al grupo HAP's para la arena de moldeo que contiene el 75% y 100% de arena recuperada se observa también un considerado aumento con respecto a la arena nueva de sustancias como; Benzo(a)antraceno; Benzo(b)fluoranteno y Benzo(a)pireno; según el listado de agentes químicos cancerígenos del decreto Supremo N° 015-2015-SA (Reglamento sobre Valores Limite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo), el contacto con estas sustancias en estado puro o mezclado deben evitarse.
5. Casi el 50% de las sustancias del grupo de los HAP's emitidas en el proceso de vertido del metal líquido al molde constituía naftaleno, que está prácticamente adsorbido en su totalidad sobre la espuma de poliuretano.

6. El nivel de concentración de material particulado PM10 medido en la estación de monitoreo E-01, está por debajo del ECA tomado como referencia ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), presentando un valor de  $61.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, en la estación E-02 se tuvo un valor de  $135.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual está por encima del ECA tomado como referencia.
7. La dirección del viento predominante, es decir el viento viene cargado de altas concentraciones de material particulado de la dirección Sur-Oeste (SW). Así también durante el monitoreo se registraron fuertes vientos con velocidades máximas de  $9.72 \text{ m/s}$ . Por lo que según a lo evaluado se concluye que la generación de material particulado (PM10) proveniente de las actividades de la empresa de Fundición es poco significativa, ya que el incremento de este parámetro se encuentra influenciado directamente por los factores externos mencionados anteriormente. La concentración de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en las estaciones de monitoreo E-01 y E-02 se encuentra por debajo del estándar de calidad ambiental tomado como referencia ( $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e incluso por debajo del límite mínimo de cuantificación del método de ensayo empleado por el laboratorio ( $<12.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
8. En líneas generales las actividades generadas por la Fundición tienen una incidencia negativa en la calidad de aire de la zona, ya que existe concentraciones de parámetros mencionados líneas arriba, se encuentran por encima de sus estándares de calidad ambiental tomados como referencia.
9. Los metales de lixiviación son muy bajos excepto que existan elementos especiales como una composición de fundición con altos porcentajes de cromo, manganeso u otros metales pesados o tóxicos. Junto al aumento de arena recuperada en la arena de moldeo, aumentan las cantidades de metales lixiviados; Cr, Cu, Ni y Pb, básicamente esto se debe a la disminución del valor de pH de la arena de moldeo preparada solo con arena recuperada (pH = 3,1) en relación con la arena de moldeo preparada con arena nueva (pH = 4,4). Una solución más ácida favorece la resolución de metales. (El pH es un factor esencial). La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino.

10. Adicionalmente se midieron las concentraciones de As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, Cu y Zn diferentes concentraciones de arena recuperada de fundición con respecto a las características de lixiviación. Se investigaron más a fondo las características de lixiviación del cromo dependiente del pH. El Cr lixiviado aumenta al aumentar el pH de la solución eluida, lo que puede utilizarse en la práctica para acortar el tiempo de lixiviación de las arenas de fundición gastadas. Las características de lixiviación del Cr dependen del pH. El Cr lixiviado aumenta con el aumento del pH de la solución eluida, que es una ruta útil en la práctica para acortar el tiempo de lixiviación.

### **Recomendaciones**

1. Las Investigaciones realizadas en condiciones normales indicaron una influencia significativa de la cantidad de regeneración en la matriz de arena de moldeo sobre la emisión de sustancias del grupo BTEX y HAPs, por lo tanto se recomienda que, cuando se aplique una adición de arena recuperada, se debe prestar especial atención a un aumento significativo de la emisión de sustancias nocivas para la salud y medio ambiente.
2. Se recomienda utilizar el porcentaje de L.O.I. como indicador de contaminación en arenas recuperadas en el caso de arenas con aglutinantes orgánicos (resinas furánicas), ya que es un método rápido, fácil y económico. La similar dependencia de los grupos BTEX's, HAP's y la pérdida por ignición de la cantidad de arena recuperada de moldeo, proporcionan la base para la evaluación de la nocividad de estas arenas.
3. La presente investigación debe utilizarse como herramienta para futuras evaluaciones ambientales en fundiciones que utilizan como base de moldeo resina furánicas con altos contenidos de alcohol furfúrico > 75% y presencia de nitrógeno en su formulación, del mismo modo tener en cuenta que la formulación del catalizador o endurecedor debería tener como contenido de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) <0.1 (% en peso) o en el mejor de los casos cero.

4. Con legislaciones ambientales cada vez más estrictas se recomienda hacer uso de estos aportes de investigación como apoyo de evaluaciones ambientales. La escasa o nula información de datos experimentales para describir las características químicas en el comportamiento de lixiviación y compuestos tóxicos de estas arenas recuperadas ha hecho de esta investigación un valioso aporte para el control ambiental que mantenemos en la actualidad.
5. Se recomienda investigaciones y/o monitoreo de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) de otro tipo de resinas y catalizadores autofraguantes, para implementar proyectos de investigación que determinen las fuentes de contaminantes orgánicos, para disminuir los riesgos evitando la biomagnificación y desarrollo de enfermedades por agentes contaminantes.
6. Debido a que no existe una relación entre la concentración total de metal en un desecho sólido y su capacidad de lixiviación, las pruebas de lixiviación a menudo se usan para determinar el potencial de un desecho sólido para contaminar el agua subterránea. Los metales de lixiviación son muy bajos, excepto que existan algunos elementos especiales como composiciones de piezas fundidas de aleaciones con altas concentraciones de metales pesados o tóxicos como es el caso de algunos aceros u otras aleaciones especiales no ferrosas, se recomienda tener en cuenta el tipo aleación para estos monitoreos.

## Referencias

- BELLAMY, David y otros. Salvemos la Tierra. Madrid: Ediciones Aguilar, 1991. Obra de carácter divulgativa sobre los problemas medioambientales.
- BILBAO, A. y otros. Desarrollo, pobreza y medio ambiente. Madrid: Ediciones Talasa, 1994. Obra divulgativa sobre el desequilibrio entre países ricos y pobres.
- BOLAÑOS LLANOS. Problemas ambientales, Lima, INAPMAS. Ministerio de Salud, 1998, 54 pg.
- CAFFERATTA, Néstor A. Introducción al derecho ambiental. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2004.
- CONAM. Contaminación Ambiental en Lima. Lima, CONAM, 1998. Pág. 37
- COMISIÓN AMBIENTAL METROPOLITANA DE MÉXICO. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Fundición: Manual de minimización, tratamiento y disposición. México: Autor, 1996.
- DEFENSORÍA DEL PUEBLO. La Calidad del Aire en Lima y su Impacto en la Salud y la Vida de sus Habitantes. Informe Defensorial No. 116. Lima: Autor, 2006.
- GÁLVEZ MORENO, Araceli. Formación y eliminación de contaminantes procedentes de la combustión de lodos de depuradora. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ingeniería Química. Alicante, España: Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante, 2009. Extraído el 10 de febrero de 2013 desde [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11455/1/tesis\\_galvez.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11455/1/tesis_galvez.pdf)
- HUAMAN y VERDE, “Diagnóstico del Desempeño Ambiental y Propuesta de un Programa de Manejo Ambiental en una Planta Fundidora de Metales Ferrosos Sólidos”. 2016, pág. 80

- ICPNA. "Forum Sobre contaminación Ambiental " Lima, ICPNA .Pág. 40
- MIGUEL, PORTA, BANDA y ROXANA, "Modelo de evaluación de gestión de residuos industriales aplicado en arenas descartadas de fundición", 2013. pág. 195, 196.
- MINISTERIO DE SALUD. Problemas ambientales y comunidad. INAPMAS, 1998, Pág. 76
- MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA (Editor). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (Tomo III). Madrid: Subdirección General de Publicaciones, 1998.
- MONROY GONZÁLEZ, Ester C. Estudio de factibilidad de generación de dioxinas y furanos (PCDD y PCDF) en el proceso de reformación catalítica de naftas en la industria petrolera y propuestas para minimizar su emisión. Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2008. Extraído el 23 de febrero de 2013 desde <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAR3336.pdf>
- PEREIRA DE OLIVA TELES MOREIRA, María Teresa. Contaminação ambiental associada às areias residuais de fundição, 204. pág. 172, 174.
- RUIZ LORENZO, María Luisa. Determinación y evaluación de las emisiones de dioxinas y furanos en la producción de cemento en España. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ingeniería Química. Madrid: Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid, 2007. Extraído el 10 de febrero de 2013 desde <http://eprints.ucm.es/7744/1/T30013.pdf>
- SAMAME Soto, luisa. " Medio Ambiente y Educación en el Perú". Lima Servicios gráficos Omega, 1998. 154 pg.
- SUARES, JOSE. Lima Contaminada. En el Comercio, 24 de abril de 1998.Lima, Editora el Comercio, 1998.

UNAI LOPEZ DE VERGARA, Vicente. Estudio de la polimerización de resinas furánicas, la degradación térmica y las propiedades mecánicas, 2014, pág. 327.

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA. Conformado por Moldeo. Málaga: Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación, 2009.

VEGA FAÚNDEZ, Abraham. Guía Didáctica de Educación Ambiental. Lima: Ministerio de Educación, 1999.

DUDLEY C. GOULD, Metalcasting Dictionary. AFS, American Foundry Society

JÜST – SCHARKUS, Tablas para la industria metalúrgica, segunda edición. Editorial Reverté S.A. 13 ° edición, 1979.

ASTIGARRA URQUIZA, Julio. AGUIRRE ORMAZA, José Luis. Hornos Industriales de Inducción. Editorial Mc Graw Hill, 1995.

H. HEMPEL, Eduard Dirección de plantas industriales. Fondo de cultura económica, 1963.

DERRICK'BAILES. The professional approach to overhead lifting. The Foundry Trade Journal, October - 2003.

CIFRA (Cámara Industrial de Fundidores de la República Argentina). *Revista el fundidor*. Abril – Mayo 2004, Número 117.

-Editorial-  
**CILADI**  
Centro de Investigación Latinoamericano  
para el Desarrollo e Innovación

ISBN: 978-9942-7217-4-7

