



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO CON ALTA CONCENTRACIÓN DE ORO Y PLATA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO INYECCIÓN – EXTRACCIÓN Y SU IMPACTO ECONÓMICO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bach. Jose Luis Mercado Lezama

Bach. Angelica Maria Serrano Balarezo

Asesor:

Mg. Ing. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con todo cariño a mi amada esposa, por apoyarme constantemente y creer en mi capacidad, aunque siempre hubo momentos difíciles siempre me brindo su cariño y amor. A mis queridos hijos Marianela, Marcelo y Alejandro, por ser mi motivación diaria inspiración para mi superación. A mis padres por guiarme e inculcarme todos los valores que poseo para poder sacar a mi familia adelante y lograr este sueño
anhelado.

José Mercado

A mis adorados padres: Alberto y Margarita, que, con su confianza y amor,
han hecho de mí una persona de bien.

A mi hermano: Luis Alexander, quien me acompaña y motiva en todas las
metas que me he trazado.

Angélica Serrano.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad nuestro sueño anhelado.

Gracias a nuestras familias, quienes con sus consejos fueron el motor y nuestra constante motivación, gracias por su paciencia y amor.

José Mercado y Angélica Serrano.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos.....	13
1.4. Hipótesis	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación.....	15
2.2. Población y muestra	15
2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....	18
2.3. Procedimiento	31
2.5. Matriz de consistencia	35
CAPÍTULO III. RESULTADOS	36
3.1. Resultados de diagnóstico situacional de la empresa.....	36
3.2. Resultados del diagnóstico situacional en el área de estudio	46
3.3. Resultados del diseño e implementación del sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata basado en el modelo inyección – extracción.....	62
3.4. Resultados de la evaluación económica de la viabilidad del sistema de recuperación de material particulado	82
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	85
4.1. Discusión	85
4.2. Conclusiones.....	86
REFERENCIAS	88
ANEXOS	92
Anexo n.º 1. Guía de Entrevista	92
Anexo n.º 2. Fotografías.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Reporte del muestreo de material particulado con oro y plata.....	17
Tabla 2 Determinación de frecuencia de las causas.	28
Tabla 3 Guía de observación utilizada.	24
Tabla 4 Ficha resumen de leyes de oro y plata.	25
Tabla 5 Ficha resumen de recolección de material particulado.	25
Tabla 6 Matriz de consistencia.	35
Tabla 7 Características del Doré producido en la planta minera.	46
Tabla 8 Problemas presentados en la planta de fundición.	47
Tabla 9 Cálculo de material particulado perdido en fundición.	55
Tabla 10 Precio de oro y plata actualizados.	60
Tabla 11 Ganancias aprovechadas por la empresa.	60
Tabla 12 Resumen actual de los indicadores.	61
Tabla 13 Ciclo PHVA para el sistema de recuperación de material particulado.	62
Tabla 14 Evaluación de ideas de mejora.	65
Tabla 15 Descripción de la campana de captación de humos.	68
Tabla 16 Descripción del filtro de mangas para captar material particulado.	70
Tabla 17 Descripción del ventilador centrífugo.	71
Tabla 18 Descripción del filtro de cartón.	73
Tabla 19 Descripción del filtro de carbón activado.	73
Tabla 20 Descripción los costos de los equipos.	73
Tabla 21 Resumen de los indicadores después del diseño e implementación del sistema de recuperación. ...	81
Tabla 22 Costos de mantenimiento del sistema de recuperación.	83
Tabla 23 Flujo de caja del sistema de recuperación de material particulado.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Muestreo del material particulado con alta concentración de oro y plata.	18
Figura 2 Reactivos para tratamiento de muestras en la planta.	19
Figura 3 Equipo de absorción atómica para determinar leyes de oro y plata.	20
Figura 4 Balanza analítica en la planta minera.	20
Figura 5 Chancadora de muestras en la planta.	21
Figura 6 Pulverizadora de muestras en la planta.	21
Figura 7 Equipo de fundición de muestras en la planta.	22
Figura 8 Equipo de ataque con ácidos.	23
Figura 9 Equipo de copelación de muestras en la planta.	23
Figura 10 Esquema de Ishikawa 5Ms.	27
Figura 11 Diagrama de Pareto.	28
Figura 12 Procedimiento metodológico de la investigación.	31
Figura 13 Planta minera en estudio.	32
Figura 14 Estructura organizacional de la gerencia de procesos.	39
Figura 15 Proceso general de la empresa.	40
Figura 16 Proceso en la planta de carbón.	42
Figura 17 Proceso Merrill Crowe.	43
Figura 18 Proceso de filtros y retortas.	44
Figura 19 Proceso de fundición.	45
Figura 20 Área de fundición de la planta minera.	46
Figura 21 Pérdidas de material particulado en fundición.	47
Figura 22 Material particulado impregnado en los equipos de fundición.	48
Figura 23 Material particulado acumulado en las tuberías de ventilación.	48
Figura 24 Diagrama de Pareto de las causas de problema.	50
Figura 25 Material particulado sin recuperarse.	51
Figura 26 Equipo de recuperación de material particulado.	52
Figura 27 Material particulado perdido por insuficientes equipos de recuperación.	53
Figura 28 Gases tóxicos generados en fundición.	53
Figura 29 Flujograma de limpieza de extractores para recolectar el material particulado.	57
Figura 30 Ciclo PHVA del sistema de recuperación de material particulado.	62
Figura 31 Entrevista al supervisor.	64
Figura 32 Reunión de tormenta de ideas de recuperar el material particulado.	66
Figura 33 Esquema del sistema de recuperación de material particulado en fundición.	67
Figura 34 Recomendaciones AMCA, conexiones tuberías.	69
Figura 35 Eficiencia del sistema de filtración con carbón activado.	72

	Pág.
Figura 36 Vista 3D del sistema de recuperación de material particulado.....	75
Figura 37 Detalle del sistema de recuperación de material particulado.	76
Figura 38 Instalación del colector de polvos.	77
Figura 39 ventilador centrifugo.	78
Figura 40 Flujograma de recolección de material particulado.	79
Figura 41 Filtros de las mangas colector de polvos.....	93
Figura 42 Trabajos en la planta de fundición.	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Fórmula de la muestra	16
Ecuación 2. VAN	34
Ecuación 3. TIR.....	34
Ecuación 4. Borax (20%)	54
Ecuación 5. NaNO ₃ (1%).....	54
Ecuación 6. Fluor Spar (1%)	54
Ecuación 7. Ingreso total	54
Ecuación 8. % de Oro en Doré	54
Ecuación 9. % de Plata en Doré	54
Ecuación 10. % de impurezas de Doré	54

RESUMEN

La tesis tuvo como objetivo general diseñar e implementar un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción y su impacto económico en una empresa del sector minero, y los objetivos específicos fueron medir la cantidad de emisión de material particulado, calcular los ingresos que la empresa deja de percibir, diseñar e implementar el modelo inyección – extracción en la planta de fundición de minera y evaluar económicamente la viabilidad del sistema de recuperación. La investigación fue aplicada, explicativa, cuantitativa y experimental. El diagnóstico en el área de fundición evidencia que la empresa con limpieza de extractores percibió 157,698.16 dólares, desde julio del 2019 hasta marzo del 2020 por recuperar el material particulado. El diseño del sistema de recuperación de material particulado mediante el modelo inyección – extracción, comprende un filtro mangas tipo Pulse-jet, filtro de carbón activado y ventilador centrífugo. Para su implementación es necesario anular 2 equipos de extracción de techo y reemplazarlos por la campana superior, el cual extrae un caudal aproximado de 13800 CFM. La implementación del diseño del sistema de recuperación de material particulado mediante el modelo inyección – extracción es viable ya que se determinó TIR 144%, VAN de 699,757.72 dólares y la relación B/C 1.30. es decir, la inversión va a ser recuperada en menos de 1 año.

Palabras claves: sistema de recuperación, modelo inyección – extracción, fundición, material particulado.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las plantas de procesamiento mineral se producen humos y partículas originados por la fundición de ciertos elementos presentes en la materia prima. Es conveniente implementar un sistema de captación de estas emisiones, porque se producen escapes de grandes cantidades de partículas recargadas de mineral metálico generando pérdidas en la utilidad de las empresas dedicadas a este rubro (Guamanquispe, 2013).

Existen equipos y sistemas para recuperar la mayor cantidad posible de material particulado, tales como campana y ductos, sistemas de arranque y dámper.

Las empresas mineras internacionales en su gran mayoría utilizan precipitadores electrostáticos para la recuperación de partículas, estos equipos sólo recuperan el material en un 50%, por ello es necesario buscar sistemas de recuperación entre un 70 – 90%, tales como el captador de partículas Pulse Jet, para lograr captar mayor cantidad de material valioso lo cual produce mayor rentabilidad en el proceso de fundición (Gómez, 2016).

En Perú, las empresas mineras sugieren retener el material particulado mediante un sistema de extracción formada por una campana extractora, tuberías, codos, un sistema de regulación, un ventilador centrífugo, y filtros de mangas. Con este diseño se pretende recuperar el 60% de material particulado valioso y con ello aumentar la producción de la empresa.

El material particulado que se genera en las plantas de fundición aparte de ser valioso, se impregna en las paredes y techos, lo cual obstruye las fuentes de iluminación existentes provocando accidentes y posibles enfermedades por exposición a partículas en suspensión.

Al diseñar un sistema de recolección de polvos, se minimizarán estos problemas respecto a seguridad industrial (Muñoz, 2016).

Ante esta problemática, se analizaron diversos modelos y técnicas que ayuden a recuperar dicho material particulado, tal como es el estudio de Moscoso (2018) quien desarrolló pruebas de desorción en donde revelaron que es posible conseguir un menor tiempo de operación y un ligero incremento en los porcentajes finales de recuperación de oro en la solución, permitiendo la reducción de los costos de operación y la optimización del circuito. Asimismo, Nonalaya (2014) en su investigación explicó que se puede solucionar el problema de generación de cadmio al fundir todo el polvo disponible en un Horno Rotativo Corto (asumiendo que las unidades 9 y 11 de la Planta de Tostación sigan operando con normalidad), llegando a alcanzar recuperaciones mayores a 90%.

Guarda (2015) en su tesis “Efecto del enfriamiento controlado en el consumo de energía y la recuperación de valiosos en el procesamiento de escorias de fusión de Cobre” realiza el procesamiento de escorias de fusión, mediante molienda y flotación, se inicia con el enfriamiento de la escoria fundida, etapa durante la cual existe sedimentación y coalescencia de gotas de especies de cobre. Como resultado del enfriamiento controlado, precipita y solidifica una fase sulfurada de mata de cobre que se retorna a la operación unitaria de conversión; igualmente se forma una escoria sólida que se envía a molienda y flotación.

Barrios (2018) en su tesis “Optimización de la fundición de concentrados de Oro y Plata” realiza un ensayo al fuego, los sulfuros interfieren en la recuperación de los metales preciosos. La fundición hace uso de fundentes tradicionales, como el Bórax, nitrato de sodio, carbonato de sodio, nitrato de potasio y sílice que sólo recuperan en las barras doré un 92% del contenido metálico. Los ensayos variando la adición de los fundentes de 2%, 2.5%, y 3%

de cal cálcica del peso de precipitado se obtiene resultados por encima del 97.5% de contenido metálico.

Arancibia (2014) en su tesis “Mejoramiento proceso de limpieza de escoria en fundición de concentrado Chuquicamata” realizó el proceso de tratamiento de escoria vía Horno Basculante, como resultados operacionales se trabajó con 700 lt/h durante los primeros 30 min de reducción, y los restantes 30 min se trabajará con 450 lt/h, con una razón aire/combustible de 3. Con esto se logra optimizar el consumo de petróleo además de asegurar una producción adecuada de agentes reductores de magnetita (C, CO y H₂ principalmente). Se estima que la implementación de este proyecto, producirá un ahorro global cercano a los 6 MUS\$/año, en comparación al escenario referente de operación (actual).

Condori y Pimentel (2013), instalaron un sistema de recuperación de partículas en los costados de los hornos de fundición de Yanacocha, con ello se logró recuperar este material valioso que se está perdiendo, al volverlos a procesar se obtuvo precipitados de oro y plata. Sin embargo, este sistema no ha sido lo suficientemente eficiente para captar las partículas generadas en la parte superior del horno. En esta investigación se pretende implementar un sistema integrado de captación de material particulado y con ello incrementar la rentabilidad de la empresa ya que las leyes minerales de ese material son altas. Para el nuevo diseño se tendrá en cuenta la distancia entre la campana y el horno, ya que mientras más cerca del horno este la campana, mayor cantidad de partículas van a ser recuperadas, adicionalmente se puede implementar metodologías como Kaizen para eliminar desperdicios.

En la empresa minera se asigna como material valioso a las partículas que contienen altas concentraciones de Oro y Plata, es necesario recalcar que este material valioso se pierde entrar en contacto con los electrodos de carbón que se utilizan en la fundición, este material

se esparce en el ambiente y se impregna en las estructuras contiguas. Debido a esta problemática la empresa está perdiendo aproximadamente 10 onzas de oro cada mes, considerando el precio actual de estos minerales representa una pérdida de 17,259.5 dólares mensuales (sin considerar la recuperación por plata). Es necesario recalcar que el sistema de recuperación es físico compuesto por equipos que absorban el material valioso y no se pierdan en el ambiente.

Cada mes en la planta de fundición se hace la limpieza de los 7 extractores del techo de la fundición, donde se llega a recuperar aproximadamente 1 Kg de material (impregnados en el impeler del extractor), hay buena parte que se pierde al exterior, por ello es necesario recuperar ese material particulado e incrementar la utilidad de la empresa.

1.2. Formulación del problema

¿El diseño e implementación de un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción impacta económicamente en una empresa del sector minero, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción y su impacto económico en una empresa del sector minero, 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Medir la cantidad de emisión de material particulado con alta concentración de oro y plata en la planta de fundición minera.

- Calcular los ingresos que la empresa percibe sólo con limpieza de extractores de material particulado con alta concentración de oro y plata en la planta de fundición minera.
- Diseñar e implementar un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata basado en el modelo inyección – extracción en la planta de fundición de minera.
- Evaluar económicamente la viabilidad del sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata basado en el modelo inyección – extracción en la planta de fundición de minera.

1.4.Hipótesis

La implementación de un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción tiene un impacto económico positivo en una empresa del sector minero, 2020.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La investigación es aplicada, ya que se aplica teoría enfocada a lograr el objetivo general, utilizando conceptos ya definidos.

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se estudió las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de la recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante y el impacto económico para empresa minera.

Según la naturaleza de datos: La investigación es cuantitativa, ya que se va a medir la cantidad de material particulado con alta concentración de oro y plata y las pérdidas generadas por no contar con un sistema de recuperación.

Según su manipulación de la variable: La investigación es experimental, ya que se ha manipulado la variable independiente que es el sistema de recuperación de material con alta concentración de oro y plata (Oblitas, 2018).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La empresa minera en estudio, realiza sus fundiciones 4 veces al mes analiza una muestra de 200 gramos de material particulado con alta concentración de oro y plata, en esta investigación el periodo de análisis fue de julio 2019 hasta marzo del 2020. Por lo tanto, la población está representada por 36 muestras de material particulado.

2.2.2. Muestra

La población son 36 muestras, pero para la investigación se seleccionó la muestra de acuerdo a la fórmula estadística para población finita utilizando un margen de error del 0.05%, utilizando la ecuación 1.

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{(N-1)E^2 + Z^2 * P * Q} \dots\dots\dots(1)$$

Fuente: Monge, Reyes y Rodríguez (2013).

En donde:

n= Tamaño de muestra

Z= Valor Z curva normal (1.96)

P= Probabilidad de éxito (0.50)

Q= Probabilidad de fracaso (0.50)

N= Población (36 muestras)

E= Error muestral (0.05)

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 36}{(36 - 1)0.05^2 + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{3.84 * 0.5 * 0.5 * 36}{(36 - 1)0.0025 + 3.84 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{34.56}{0.0875 + 0.96}$$

$$n = \frac{34.5744}{1.0475}$$

$$n = 34 \text{ muestras}$$

El total de la muestra de la investigación fue de 34 muestras de material particulado con altas concentraciones de oro y plata, recogidas en la planta de fundición y se evidencian en los reportes de la tabla 1.

Las fechas de muestreo se han tomado a partir del 20 de Julio, ya que a partir de esa fecha se iniciaron las mediciones del material particulado con altas concentraciones de oro y plata.

Tabla 1
Reporte del muestreo de material particulado con oro y plata.

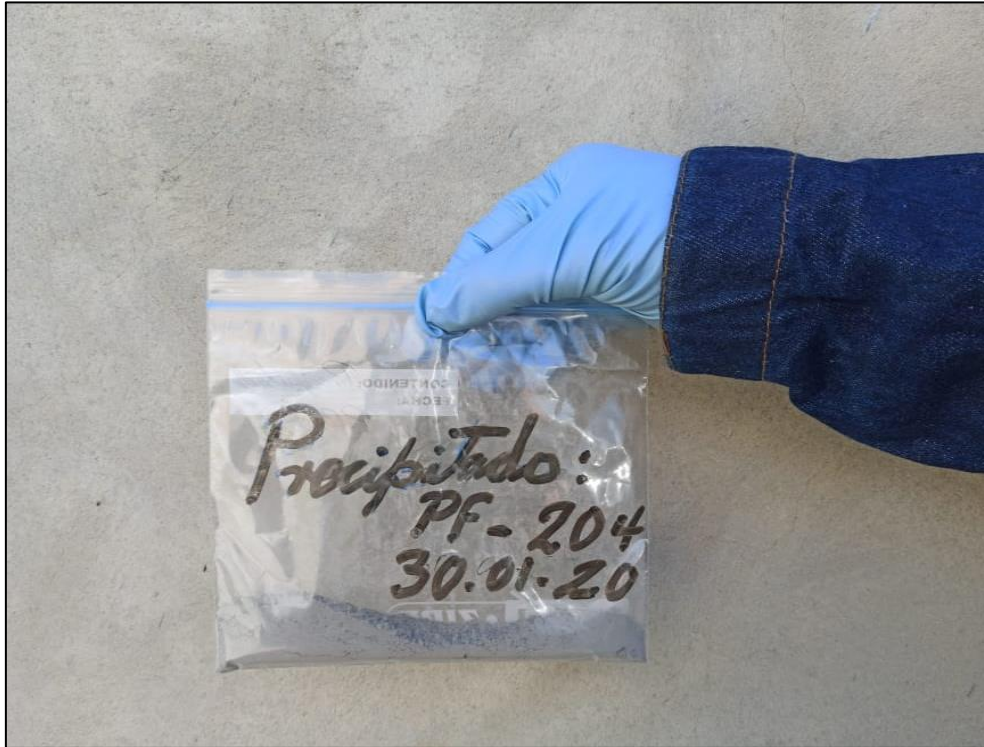
Nro de muestra	Código de muestra	Fecha tomada	Hora tomada	Peso de la muestra	% Ley de Oro	% Ley de Plata	Encargado del muestreo
1	PF-105	20-Jul-19	3:00 p.m.	200 gr.	32%	43%	Jose Minchán
2	PF-117	22-Jul-19	5:00 p.m.	200 gr.	34%	41%	Rodolfo García
3	PF-120	26-Jul-19	1:00 p.m.	200 gr.	31%	42%	Rodolfo García
4	PF-128	27-Jul-19	11:00 a.m.	200 gr.	32%	45%	Rodolfo García
5	PF-130	21-Ago-19	8:00 p.m.	200 gr.	33%	44%	Cristhiam León
6	PF-133	22-Ago-19	9:00 p.m.	200 gr.	34%	41%	Cristhiam León
7	PF-137	27-Ago-19	3:00 a.m.	200 gr.	35%	40%	Cristhiam León
8	PF-144	30-Ago-19	5:00 a.m.	200 gr.	31%	42%	Cristhiam León
9	PF-148	20-Set-19	6:00 p.m.	200 gr.	33%	43%	Cristhiam León
10	PF-152	23-Set-19	1:00 p.m.	200 gr.	38%	44%	Jose Minchán
11	PF-163	28-Set-19	2:00 p.m.	200 gr.	32%	41%	Jose Minchán
12	PF-169	29-Set-19	10:00 a.m.	200 gr.	33%	42%	Jose Minchán
13	PF-175	18-Oct-19	9:00 p.m.	200 gr.	34%	44%	Jose Minchán
14	PF-178	21-Oct-19	1:30 p.m.	200 gr.	35%	41%	Jose Minchán
15	PF-182	26-Oct-19	5:40 p.m.	200 gr.	31%	42%	Carlos Salazar
16	PF-192	30-Oct-19	4:00 p.m.	200 gr.	32%	43%	Carlos Salazar
17	PF-192	20-Nov-19	10:00 a.m.	200 gr.	33%	41%	Rodolfo García
18	PF-193	25-Nov-19	11:30 a.m.	200 gr.	34%	40%	Rodolfo García
19	PF-194	26-Nov-19	7:30 p.m.	200 gr.	31%	45%	Rodolfo García
20	PF-195	27-Nov-19	1:00 p.m.	200 gr.	32%	44%	Rodolfo García
21	PF-196	21-Dic-19	2:00 p.m.	200 gr.	35%	46%	Daniel Escobar
22	PF-197	23-Dic-19	1:00 p.m.	200 gr.	34%	47%	Daniel Escobar
23	PF-198	30-Dic-19	5:00 a.m.	200 gr.	35%	42%	Daniel Escobar
24	PF-199	31-Dic-19	3:00 p.m.	200 gr.	36%	43%	Carlos Salazar
25	PF-200	20-Ene-20	2:00 a.m.	200 gr.	31%	41%	Jose Minchán
26	PF-201	22-Ene-19	11:00 a.m.	200 gr.	32%	42%	Jose Minchán
27	PF-202	25-Ene-20	12:00 p.m.	200 gr.	33%	42%	Jose Minchán
28	PF-203	30-Ene-20	1:00 p. m.	200 gr.	34%	40%	Jose Minchán
29	PF-204	18-Feb-20	2:00 p. m.	200 gr.	31%	43%	Jose Minchán
30	PF-205	20-Feb-20	3:00 p. m.	200 gr.	32%	44%	Jose Minchán
31	PF-206	22-Feb-20	8:00 p. m.	200 gr.	31%	45%	Daniel Escobar
32	PF-207	28-Feb-20	5:00 p. m.	200 gr.	30%	42%	Daniel Escobar
33	PF-208	21-Mar-20	3:40 p. m.	200 gr.	35%	41%	Carlos Salazar
34	PF-209	23-Mar-20	4:00 p. m.	200 gr.	32%	43%	Rodolfo García
PROMEDIO					33%	43%	

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Estas muestras sirvieron para estandarizar la ley promedio de oro que es 33% y la ley de plata que es 43%.

Figura 1

Muestreo del material particulado con alta concentración de oro y plata.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Insumos

– **Material particulado**

Estas partículas vienen en muchos tamaños y formas, y se genera al momento de fundir el polvo de zinc rico en Oro y Plata, en ese momento se libera dicho polvo que también contiene Oro y Plata. Y es el insumo principal, que para este tema de estudio se va a recuperar los minerales de interés económico.

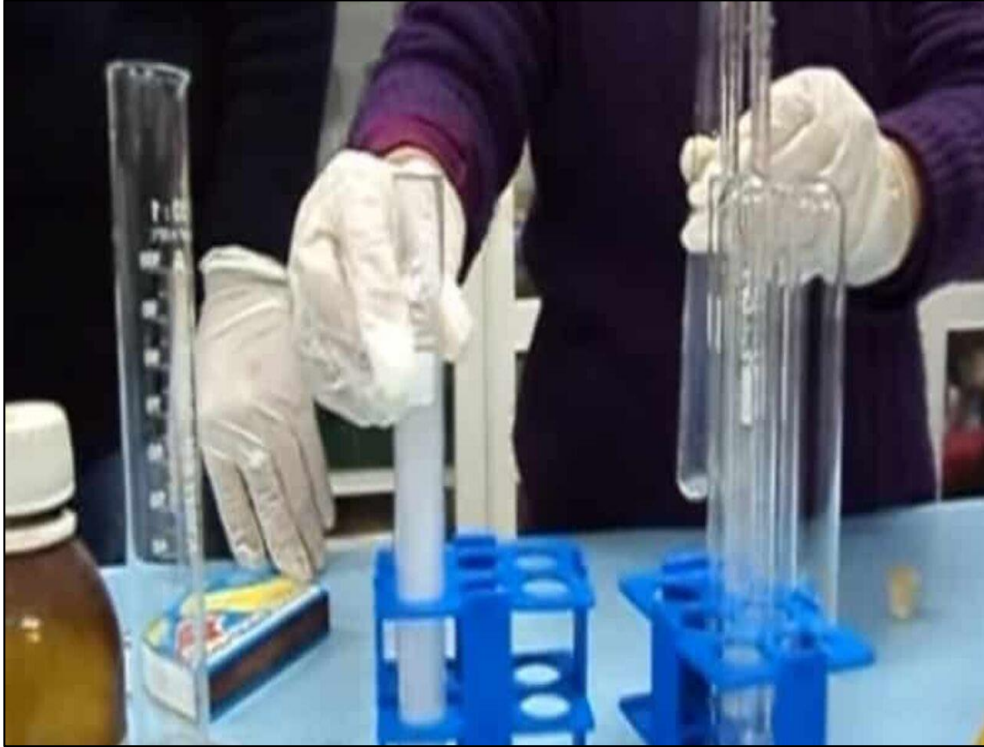
– **Reactivos para determinar la ley de oro y plata**

- Ácido Nítrico.

- Ácido Clorhídrico.
- H₂O destilada.

Figura 2

Reactivos para tratamiento de muestras en la planta.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

2.3.2. Materiales

– Equipos para determinar la ley de oro y plata

En la planta minera en estudio, se utiliza el espectrómetro de absorción atómica para determinar la ley de oro y plata, de marca Perkin Elmer modelo PINAACLE™ 900H (ver figura 3).

Figura 3

Equipo de absorción atómica para determinar leyes de oro y plata.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Adicionalmente se utilizan equipos complementarios que son:

- Balanza analítica, para determinar el peso de las muestras de material particulado, se utiliza antes y después de la fundición de las muestras.

Figura 4

Balanza analítica en la planta minera.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Chancadora de muestras: este equipo reduce el tamaño de las partículas con la finalidad de homogenizar sus componentes minerales.

Figura 5

Chancadora de muestras en la planta.

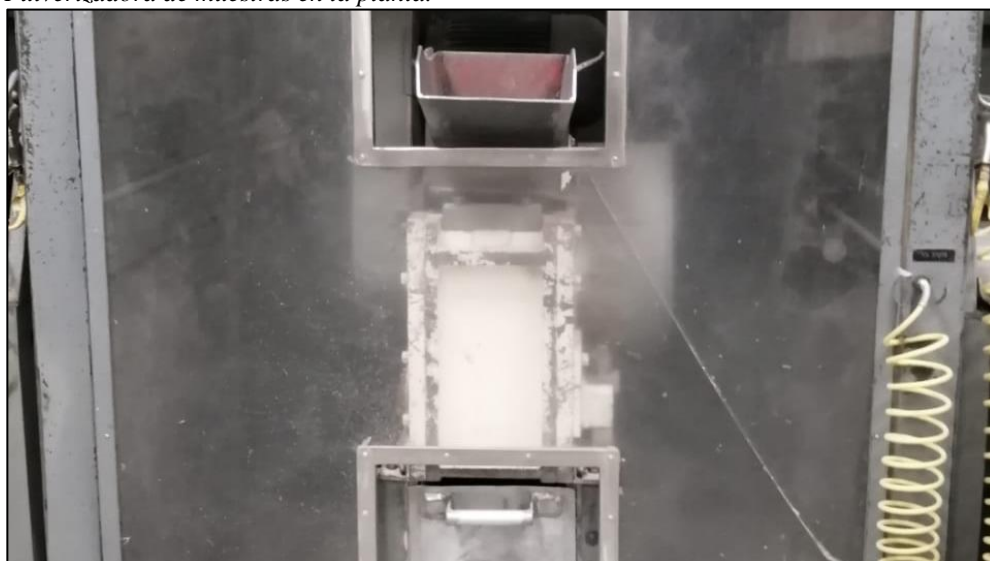


Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Pulverizadora de muestras: reduce las partículas entre 150 y 75 μm para que las muestras preparadas sean apropiadas para los análisis físicos y químicos.

Figura 6

Pulverizadora de muestras en la planta.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Equipo de fundición: la muestra pulverizada ingresa a este equipo para separar minerales mediante la aplicación de calor. En esta actividad se hace uso de fundentes tradicionales, como son el Bórax, nitrato de sodio, carbonato de sodio, nitrato de potasio y sílice.

Figura 7

Equipo de fundición de muestras en la planta.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Equipo de ataque con ácidos: realiza una agresión violenta, en este equipo se arroja ácido a las muestras con la intención de separar los minerales.

Figura 8
Equipo de ataque con ácidos.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Equipo de copelación: en este equipo las muestras se tratan a temperaturas muy altas y en operaciones controladas para separar los metales oro y la plata.

Figura 9
Equipo de copelación de muestras en la planta.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

2.2.2. Técnicas e Instrumentos

a. Técnica - Observación directa: Instrumento - Guía de observación del área de fundición

Es el documento el cual permite observar ciertos fenómenos, o procesos (Pérez y Merino, 2012). Esta guía, ha sido estructurada a través de columnas que ayudan a organizar los datos recogidos.

La guía de observación elaborada contiene 10 preguntas o ítems con las cuales se analizará todo el proceso de fundición desde la perspectiva de los tesisistas (ver tabla 3).

Tabla 2

Guía de observación utilizada.

Guía de observación del área de fundición	
Empresa:	
Proceso observado:	
Fecha:	Hora:
1. ¿Qué procesos se realizan en el área de fundición?	
2. ¿Qué máquinas/equipos intervienen en la fundición de oro y plata?	
3. ¿Cuántos operarios intervienen en la fundición de oro y plata?	
4. ¿Qué problemas se detectan en la relación operario-maquinaria?	
5. ¿Cuáles son los problemas referentes al material particulado con oro y plata?	
6. ¿Qué impactos genera la generación de material particulado con oro y plata?	
7. ¿Existe retrocesos en la producción, debido a la generación de material particulado de oro y plata?	
8. ¿Observa métodos definitivos de trabajo?	
9. ¿Qué observaciones existen respecto al área de trabajo?	
10. Describa la generación material particulado con alta concentración de oro y plata	

Fuente: Elaboración propia, (2020).

b. Ficha resumen

Este instrumento contiene información de los reportes del área de fundición, se ha utilizado porque facilita el registro de información, facilita la organización y la clasificación de los reportes, además permite el procesamiento de la información. En esta investigación se elaboraron dos fichas resumen, la primera fue para clasificar la información de las leyes de oro y plata en cada muestra (ver tabla 4).

Tabla 3

Ficha resumen de leyes de oro y plata.

Nro de muestra	Código de muestra	Fecha tomada	Hora tomada	Peso de la muestra	% Ley de Oro	% Ley de Plata	Encargado del muestreo

Fuente: Elaboración propia, (2020).

La segunda ficha sirvió para clasificar los reportes de la cantidad de material particulado recogida (ver tabla 5).

Tabla 4

Ficha resumen de recolección de material particulado.

Fecha de recolección	Cantidad de material particulado recolectado	Tiempo de acumulación	Ley de Au	Ley de Ag	Oro recuperado (onz)	Plata recuperada (onz)

Fuente: Elaboración propia, (2020).

El objetivo de las fichas resumen fue seleccionar a los reportes de leyes de oro y plata y de las cantidades de material recuperado.

Las fichas resumen se aplicaron en 34 ocasiones, y duró tres días de análisis, los datos obtenidos en la ficha sirvieron para el cumplimiento del objetivo específico 1 y 2.

c. Guía de entrevista

La entrevista se realizó al Supervisor de la Planta de fundición ya que es el colaborador de la empresa que tiene más conocimiento del tema.

La entrevista está compuesta por 10 preguntas abiertas, la primera pregunta se enfocó en conocer la secuencia del proceso de fundición, la segunda pregunta estuvo orientada en conocer los equipos que se utilizan en dicho proceso, la tercera pregunta se realizó con la finalidad de conocer el material particulado que se genera en fundición y la cuarta pregunta fue para conocer las características de los equipos de fundición, la quinta pregunta se orientó a determinar la cantidad recuperada de dicho material, la sexta pregunta sirve para determinar el target de recuperación de la empresa, la séptima pregunta se enfoca en conocer el histórico de leyes de oro y plata, la octava pregunta sirvió para conocer la frecuencia de muestreo de leyes, la novena pregunta ayudó a conocer los impactos que se generan cuando se pierde material particulado y la última pregunta fue para conocer las mejoras que propone el supervisor para recuperar el material particulado de fundición (Ver anexo 1).

2.2.2. Métodos

A continuación, se detallan los instrumentos que se han utilizado, para la recolección de datos.

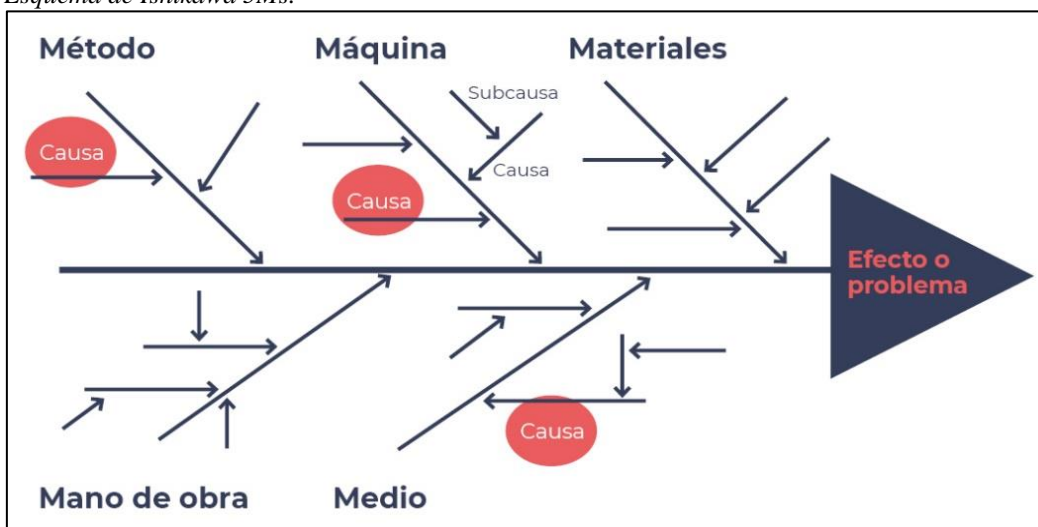
d. Diagrama de Ishikawa:

Este instrumento se ha utilizado para determinar las causas potenciales de las pérdidas de material particulado con alta concentración de oro y plata. Para ello se ha utilizado el método 5Ms, en donde se fijan cinco pilares fundamentales alrededor de los cuales giran las posibles causas de un problema (Ishikawa, 1977). Estas cinco “M” son las siguientes:

- Máquina: analizó entradas y salidas de cada máquina que interviene en el proceso de fundición, así como de su funcionamiento y de sus parámetros de operación.
- Método: evalúa la forma en la que se hacen la recuperación de material particulado. Así pues, al evaluar los métodos se busca la falla al hacer las cosas que ocasionan la pérdida de material con alta ley mineral.
- Mano de obra: se consideran todos los aspectos asociados al personal. Las interrogantes asociadas que se tuvieron en cuenta fueron: ¿Está capacitada la mano de obra? ¿Esta seleccionado el personal idóneo para ese trabajo? ¿El personal se siente motivado y trabaja con deseo? ¿El trabajador muestra habilidad en su trabajo?
- Medio ambiente: se consideraron las condiciones del entorno en el que se trabaja. Se tienen en cuenta los aspectos del medio ambiente.
- Materia prima: Los materiales empleados en el proceso de recuperación del material particulado con alta concentración de oro y plata es otro de los posibles focos en los que puede surgir la causa raíz de un problema.

Considerando estos aspectos, se utilizó el esquema mostrado en la figura 10.

Figura 10
Esquema de Ishikawa 5Ms.



Fuente: Aguilar, (2017).

Las causas definidas en el diagrama de Ishikawa han sido ponderadas para determinar las que tienen mayor impacto, utilizando el diagrama de Pareto.

e. Diagrama de Pareto:

Este instrumento permite separar los problemas más relevantes de aquellos que no tienen importancia, mediante la aplicación del principio 80-20 o principio de Pareto, que quiere decir que el 20% de las causas genera el 80% de las consecuencias (Sales, 2017).

Para la elaboración de este diagrama se recogieron los datos en la tabla

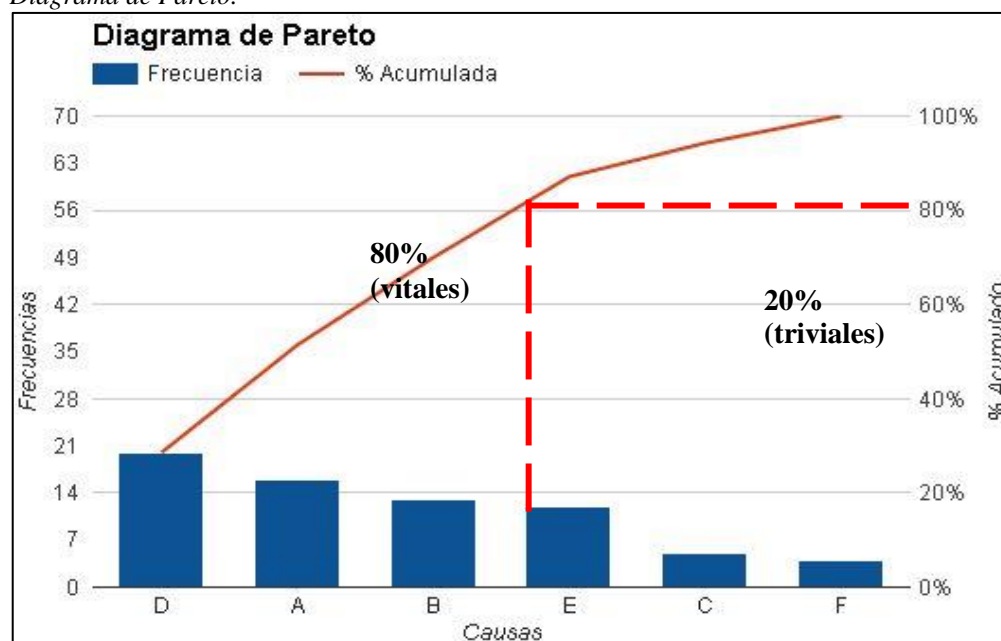
Tabla 5
Determinación de frecuencia de las causas.

Causa	Cantidad de ocurrencia	Frecuencia	Frecuencia acumulada

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Luego de determinar la frecuencia y frecuencia acumulada de las causas se elaboró el gráfico de Pareto, considerando el siguiente esquema.

Figura 11
Diagrama de Pareto.



Fuente: Echevarría, (2013).

a. Copelación

Este método tiene el objetivo de eliminar el mercurio liberando el oro y la plata mediante el uso de copelas entre 900 a 950°C, este método se realiza por el técnico fundidor bajo la supervisión del ingeniero de turno. Se inicia con el precalentado de las copelas (30 minutos entre 800°C y 900°C) previamente numeradas con la ayuda de la pinza manteniendo el mismo orden de fundición. Luego, con la ayuda de una pinza se colocan los regulos en las copelas precalentadas en forma ordenada, manteniendo la temperatura a 950°C, paralelamente se enciende el equipo de extracción de gases. Luego de finalizar la copelación dejar enfriar aprox. 5 minutos abriendo la puerta y se retira las copelas conteniendo las muestras en forma ordenada en el porta copelas. Finalmente se deja enfriar las muestras para continuar con el análisis respectivo (Núñez & Vidal, 2015).

b. Ataque de muestras con ácidos

Este método se base en la disolución de la plata para la liberación del oro. Se inicia con el encendido del extractor de gases, luego se coloca la muestra en su respectivo crisol de porcelana previamente numerado y ordenado. Después se colocan los crisoles de porcelana conteniendo la muestra en la plancha de calentamiento (entre 80°C a 100°C), adicionar aproximadamente 5ml. de Ácido Nítrico 1:5. Después de terminar la reacción (disolución de la plata), se elimina la solución de Nitrato de Plata. Después se lavó la muestra de oro con agua destilada por 2 etapas, evitando perdidas de dicha muestra. Se adicionó aproximadamente 3 ml. de Agua Regia y se dejó reaccionar hasta la disolución de la muestra y la desaparición de los gases nitrosos. Además, se adicionó a cada crisol una porción de agua destilada, evitando salpicadura o pérdida de muestra.

Luego se vació la solución contenida en el crisol a fiolas previamente numeradas y ordenadas, con la ayuda de un embudo y aforar con agua destilada. Después se homogenizó las muestras, que quedaron listas para su respectiva lectura. Finalmente se apagó el equipo de extracción de gases verificando que todo quede absolutamente limpio (Rosado, 2017).

c. Absorción atómica

Con este método se determina cuantitativamente el oro en cada muestra analizada. Se inicia con el encendido del equipo y se precalienta por 30 minutos. Paralelamente se enciende el extractor de gases del equipo. Luego se calibró el equipo mediante usos de estándares, con ello se midió las concentraciones y se apaga los equipos (Egas, 2017).

d. Modelo de inyección – extracción

Este modelo está compuesto por (Núñez & Vidal, 2015):

Ingreso de Aire: se inyecta aire por un ventilador principal que ingresa al área estudiada por medio de 7 rejillas.

Extracción en techo: se utiliza una sonda de velocidad de 16 mm, con ventiladores absorbentes tipo Hongo.

Colectores de Polvo: Se enlaza la sonda de medición de 16 mm, con un dámper regulador ubicado en la descarga del horno de fundición.

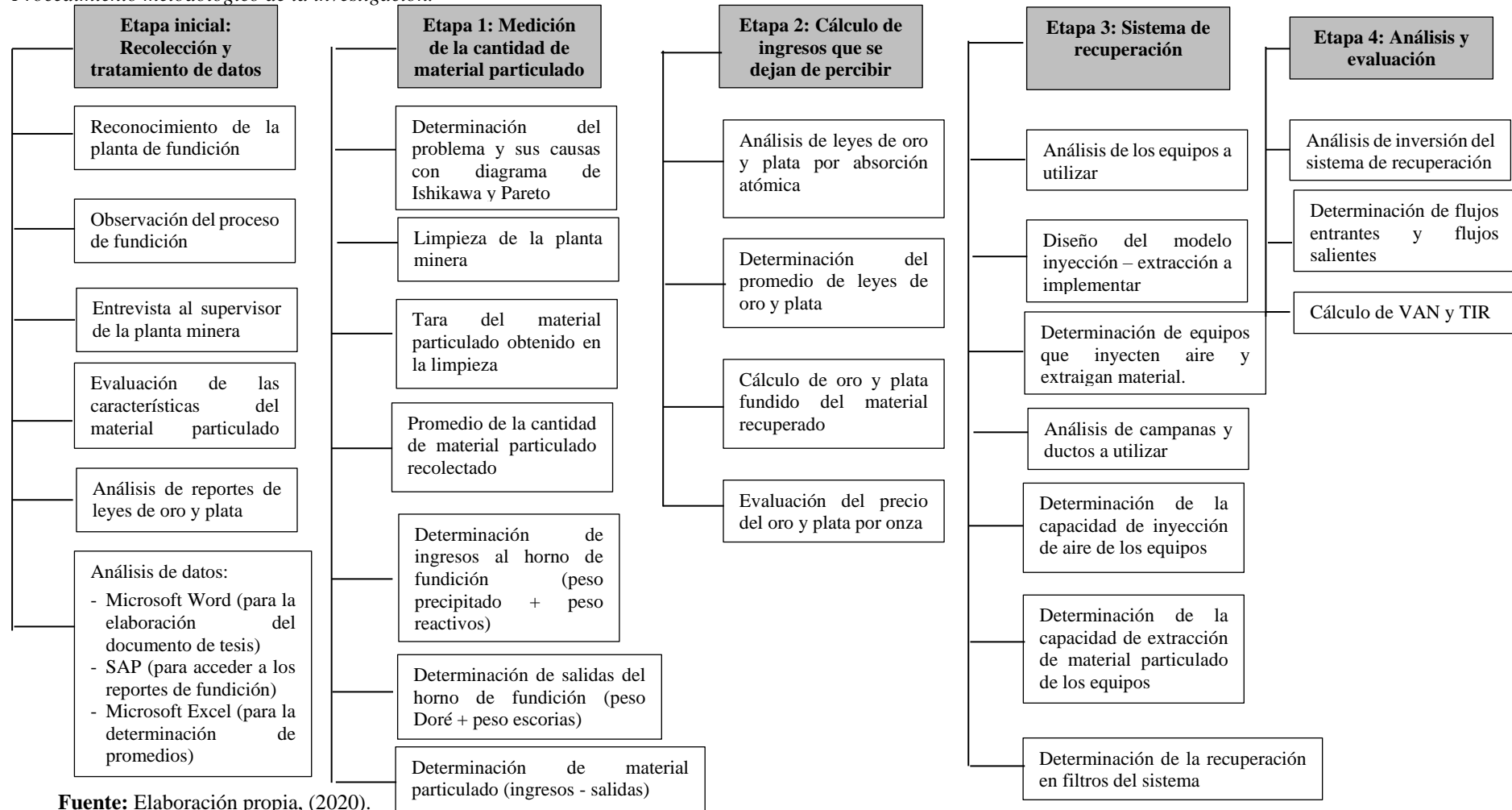
Inyección principal: Se ingresa la sonda de medición, para inyectar aire y crear un circuito de ventilación en donde el material queda atrapado en filtros (Egas, 2017).

2.3. Procedimiento

El procedimiento de la investigación se ha realizado mediante el esquema mostrado en la figura siguiente.

Figura 12

Procedimiento metodológico de la investigación.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

El procedimiento metodológico se ha dividido en las siguientes etapas:

- Etapa inicial:

En la etapa inicial, se inició con el reconocimiento de la planta de fundición, se observaron, los equipos y procesos empleados para obtener las barras Doré. Para conocer la problemática de la planta, las causas y las medidas a tomar se realizó la entrevista al supervisor.

Figura 13

Planta minera en estudio.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Se evidenció que el material particulado producto de fundición se impregna en los equipos de la planta, sin embargo, este material contiene alta concentración de oro y plata, de acuerdo al análisis de las leyes realizados.

- Etapa 1: Medición de la cantidad de material particulado

Esta etapa se ha iniciado con la determinación del problema y sus causas mediante la ficha de observación. Una empresa contratista realiza la limpieza de material particulado

de la planta mensualmente, este material es pesado en una balanza analítica, y luego se junta con el precipitado para volverse a fundir. El material recolectado en la limpieza se tara en una balanza analítica, de todas las limpiezas realizadas se ha promediado la cantidad mensual de material particulado. Posteriormente se ha determinado las entradas y salidas de material al horno de fundición.

- Etapa 2: Cálculo de ingresos que se dejan de percibir

De acuerdo, a la cantidad recolectada de material particulado se analizó la concentración de oro y plata que se va a recuperar mediante la determinación de leyes, posteriormente se calculó el oro y plata fundido del material particulado que se ha recuperado, luego se investigó el precio actual del oro y la plata, ya que el mercado de minerales es muy cambiante. Se multiplicó la cantidad de oro y plata por su precio, y con ello se finalizó el cálculo de ingresos aprovechados.

- Etapa 3: Sistema de recuperación

El sistema de recuperación en el modelo de inyección extracción, es decir, se inyecta aire del exterior y se extrae el material particulado por ductos que llegan a un recolector de polvos. Este sistema está compuesto por los siguientes equipos:

- Rejillas de Ingreso de Aire: El aire inyectado por el ventilador principal ingresa al Área de Fundición por medio de 7 rejillas de ingreso.
- Extractores de Techo: En la planta minera se cuenta con siete extractores de gases, estos no están diseñados para atrapar material particulado (sin filtros) por donde se pierde el material particulado al exterior.

- Etapa 4: Análisis y evaluación

Para el análisis económico, se determinaron los costos de inversión fija que se requiere para la implementación de un sistema de recuperación, segundo, se determinó el impacto

económico que tuvo con el funcionamiento de las mejoras y finalmente se determinó los gastos que se tuvieron con las mejoras. Con estos datos se determinaron el VAN y TIR:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+k)^i} \quad (2)$$

Fuente: Ibarra y Ballesteros, (2015).

Donde:

- I_0 : Inversiones inicial.
- B_i : Ingresos.
- C_i : Costos y gastos proyectados.
- n : periodo del proyecto.
- K : Tasa de descuento.

$$TIR = \sum_{i=0}^n \frac{Q_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (3)$$

Fuente: Ibarra y Ballesteros, (2015).

Donde:

- n : periodo del proyecto.
- i : Inversión inicial.
- Q_n : Flujo de caja en un periodo n .

2.5. Matriz de consistencia

Tabla 6

Matriz de consistencia.

Título	Formulación del problema	Objetivos	Variables y = f(x)	Indicadores	Diseño de la investigación
Implementación de un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción y su impacto económico en una empresa del sector minero, 2020.	¿La implementación de un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción impacta económicamente en una empresa del sector minero, 2020?	<p>Implementar un sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata mediante la aplicación del modelo inyección – extracción y su impacto económico en una empresa del sector minero, 2020.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medir la cantidad de emisión de material particulado con alta concentración de oro y plata. - Calcular los ingresos que la empresa percibe sólo con limpieza de extractores de material particulado con alta concentración de oro y plata en la planta de fundición minera. - Diseñar e implementar un sistema de recuperación de material particulado. - Evaluar económicamente la viabilidad del sistema de recuperación. 	<p>Variable dependiente (y): impacto económico</p> <p>Variable independiente (x): Sistema de recuperación inyección – extracción</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Y.1. Costo de extracción - Y.2. Ganancias aprovechadas - X.1. Cantidad de personal - X.2. Cantidad de actividades - X.3. Tiempo de tarea - X.4. Material particulado recuperado - X.5. Oro recuperado - X.6. Plata recuperada 	<p>Según su propósito: la investigación fue aplicada.</p> <p>Según su profundidad: La investigación fue explicativa.</p> <p>Según la naturaleza de datos: La investigación fue cuantitativa.</p> <p>Según su manipulación de la variable: la investigación fue experimental.</p>

Fuente: Elaboración propia, (2020).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de diagnóstico situacional de la empresa

3.1.1. Explotación de minerales en la empresa

La empresa minera en estudio es el mayor productor de oro en Sudamérica, considerada muy importante para compañía, debido a su alta producción y bajos costos.

La empresa se dedica a la explotación y producción de oro, en la Provincia de Cajamarca, al norte del Perú. El distrito minero en estudio es un conjunto de yacimientos epitermales diseminados de oro de alta sulfuración (AS).

El proceso de explotación de mineral se inicia con la etapa de exploración, esta etapa consiste en analizar el suelo para saber si existe o no mineral apoyándose en pruebas de laboratorio, si esta prueba de laboratorio es positivo se empieza a realizar el trabajo de movimientos de tierras construyendo accesos y plataformas para que ingresen las perforadoras, estos equipos son los que realizan las perforación del área con la finalidad de realizar los taladros y cargar con explosivos para luego realizar el disparo, que tienen como finalidad fracturar las rocas y luego con equipos gigantes se acarrea hasta las pilas de lixiviación, en este lugar mediante la aplicación de productos químicos y por medio de tuberías el oro disuelto es transportado hacia las pozas de solución rica y por último por medio de sistemas de bombeo se traslada hasta la planta de procesos lugar donde el oro líquido a base de químicos se solidifica convirtiéndose en doré, este producto doré pesa 22 kg y está compuesto de 42% ley de oro y 58 % ley de plata con un tiempo de fundición de 4 horas. La producción de oro de la empresa es 1 333 onzas de oro diarias, con un costo actual de 1,725.95 dólares.

3.1.2. Proceso de producción de la empresa minera en estudio

a. Exploración

Con este proceso se inicia toda actividad minera, consiste en ubicar zonas donde exista la presencia de minerales cuya explotación sea económicamente rentable.

b. Minado

Consiste en la extracción del material que contiene oro y plata. Inicia con la perforación del terreno, para hacer unos agujeros que son llenados explosivos, al detonar, fragmentan la roca y exponen el material a la superficie.

c. Carguío y acarreo

Camiones gigantes llevan el mineral extraído del tajo a la pila de lixiviación (o PAD), que es la estructura donde se acumula el mineral extraído del cerro para ser lixiviado y así recuperar el oro existente.

d. Lixiviación en pilas

La pila o PAD de lixiviación es una estructura a manera de pirámide escalonada donde se acumula el mineral extraído. A este material se le aplica una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua, la cual disuelve el oro.

e. Proceso Gold Mill

Mediante la planta de procesamiento de minerales Gold Mill (Molino de Oro) se busca procesar el metal que no puede ser obtenido mediante la lixiviado en pilas. El oro se recupera en 24 horas, a diferencia del proceso de lixiviación en pilas que dura casi 60 días.

f. Merrill Crowe

La solución rica en oro y plata es filtrada y limpiada. Luego se le elimina el oxígeno y se añade polvo de zinc para precipitar el metal y hacerlo sólido.

g. Fundición

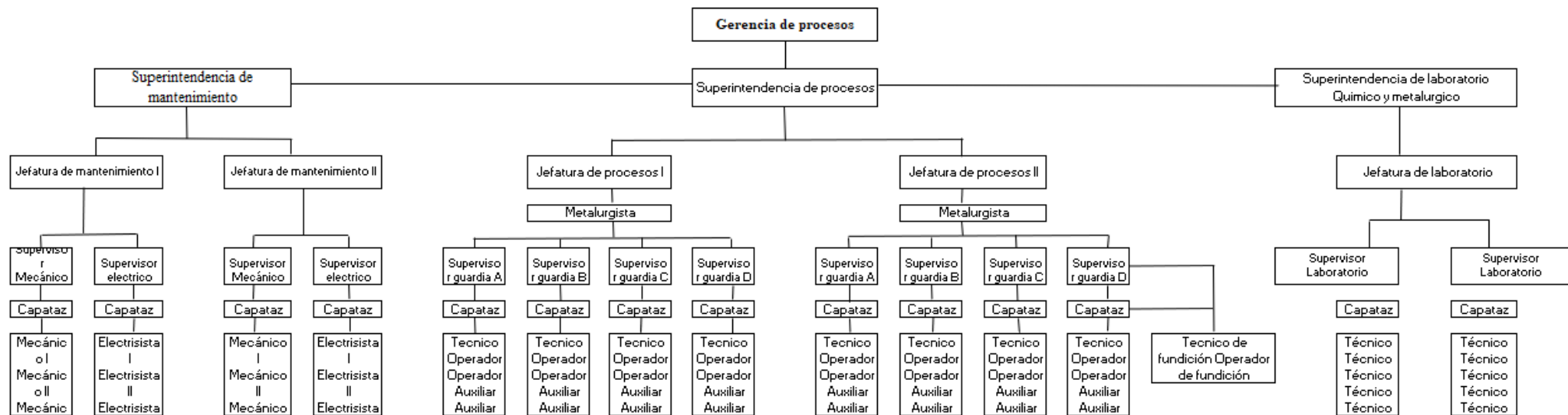
El oro obtenido en el proceso Merrill Crowe es sometido a operaciones de secado en hornos de retortas a 650° C. Finalmente, el producto obtenido pasa por un proceso de fundición en horno de arco eléctrico a 1 200° C para obtener el Doré, que es una barra hecha de una mezcla de oro y plata.

3.1.3. Estructura organizacional del área de operaciones

El área de fundición, pertenece a la gerencia de procesos, la cual tiene la siguiente estructura organizacional.

Figura 14

Estructura organizacional de la gerencia de procesos.

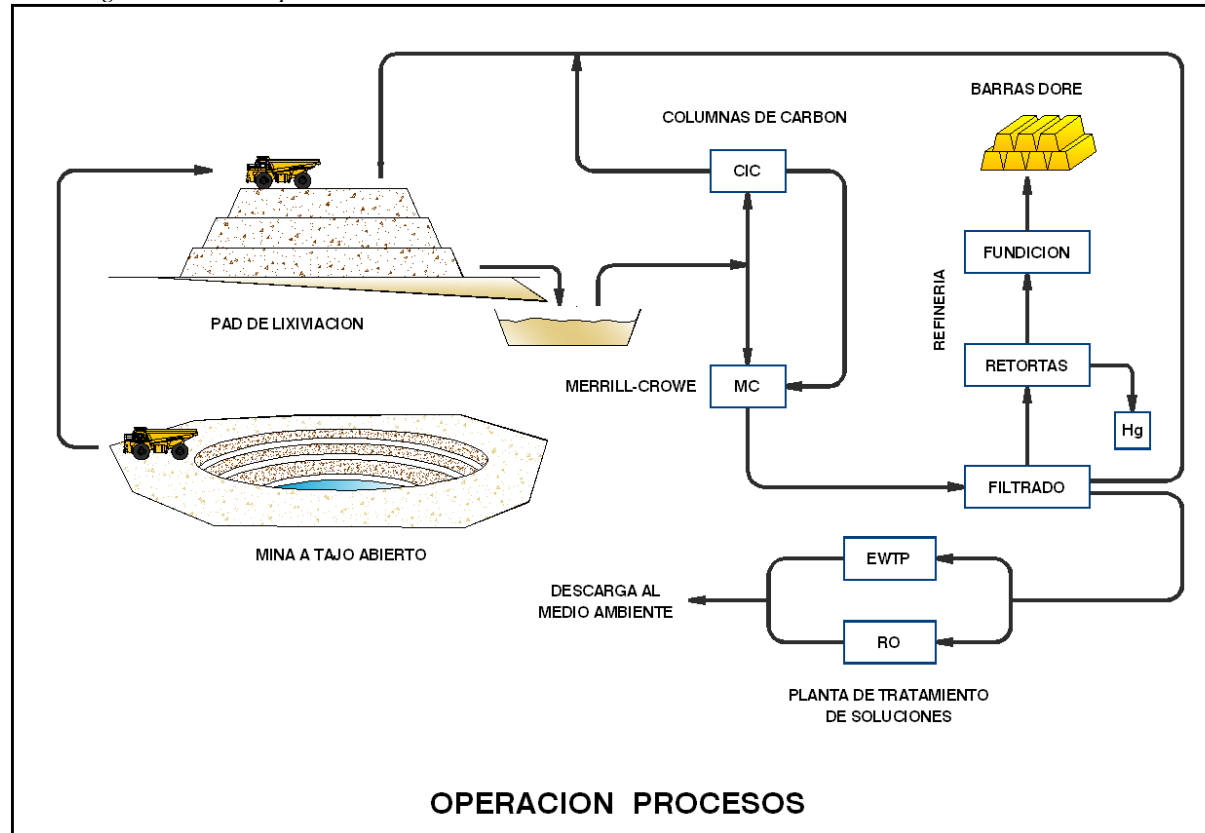


Fuente: Elaboración propia, (2020).

3.1.4. Flujogramas de procesos de la empresa

La empresa en estudio, presenta el siguiente proceso general, que inicia con la explotación del tajo hasta la producción de barras Doré.

Figura 15
Proceso general de la empresa.



Fuente: Egas, (2017).

a. Proceso en planta Carbón

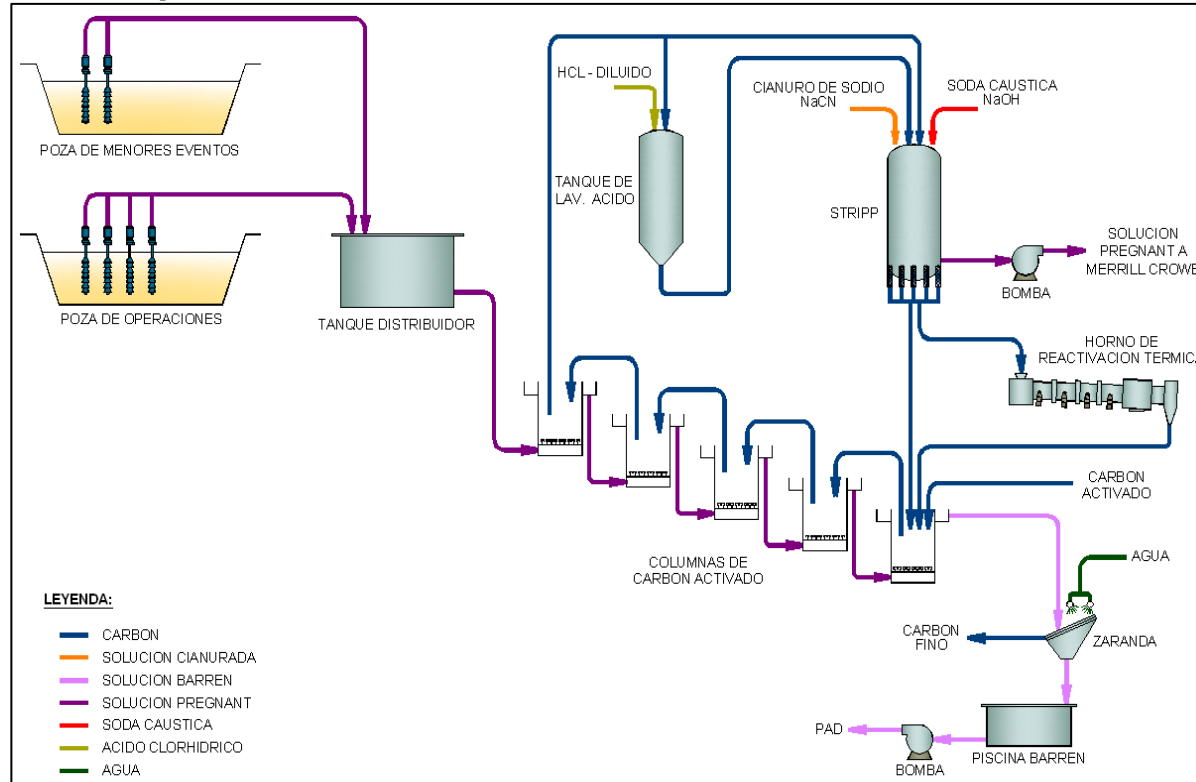
Proceso que permite concentrar la cantidad de oro que hay en la solución rica, el cual se da en dos etapas. La primera es la etapa de adsorción, para que el oro sea atrapado en los poros del carbón. La segunda etapa es la de desorción, se saca el oro atrapado en la superficie del carbón activado.

La adsorción es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material. Los procesos de transferencia de materia entre fase distintas, por ejemplo, entre una disolución de lixiviación y una fase sólida, como ocurre con la adsorción sobre carbón vegetal activado.

Desorción del carbón:

- El Carbón que ha sido completamente cargado con oro desde soluciones cianuradas es stripeado con hidróxido de sodio caliente y aparece en la solución como ión aurocianuro.
- En el circuito de desorción (stripp), las condiciones son más agresivas, las concentraciones de las soluciones son mayores y las temperaturas son más elevadas con la finalidad de acelerar el proceso de desorción.

Figura 16
Proceso en la planta de carbón.



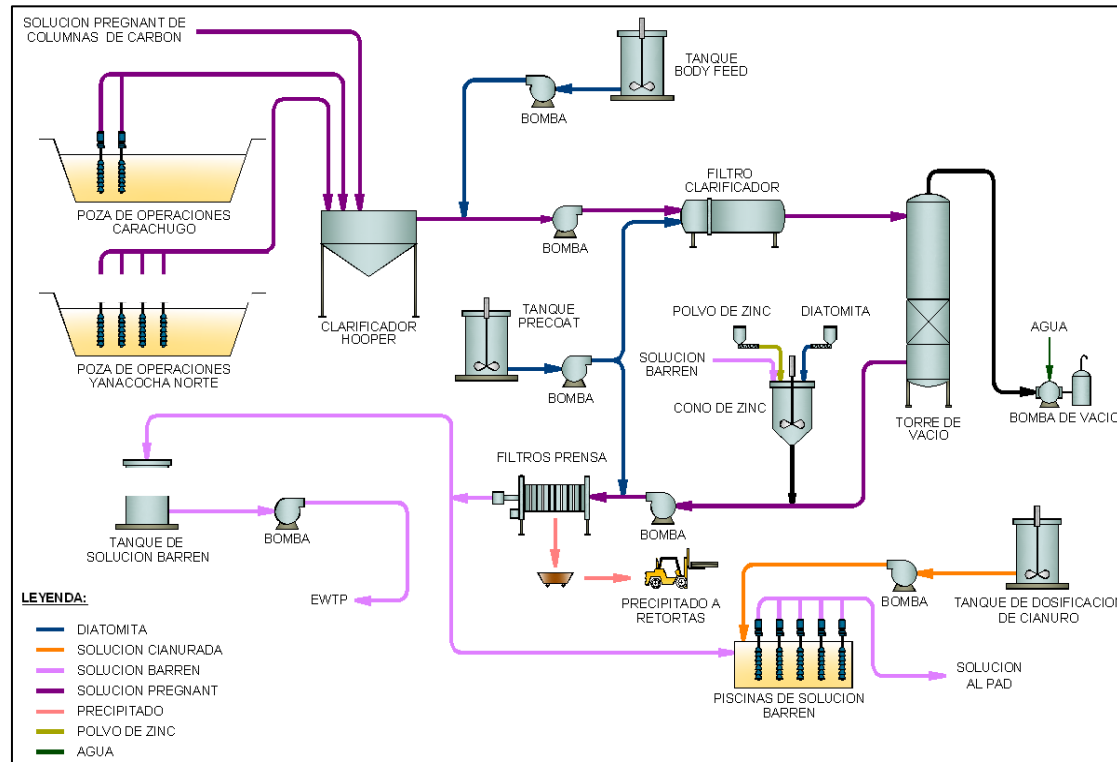
Fuente: Egas, (2017).

b. Proceso Merrill Crowe

El proceso Merrill-Crowe es una técnica de separación para eliminar el oro de una solución de cianuro. La solución con mayor ley es descargada a la Poza Operaciones, para luego ser enviada al Hopper Clarificador Doble V, la finalidad del HCDV es de reducir los sólidos en suspensión de la solución rica o pregnant, en la parte superior del Pedestal se adiciona Diatomita diluida con la finalidad de atrapar los sólidos en suspensión

que quedan en la solución preclarificada, el objetivo del Pedestal es el de almacenar la solución preclarificada del Hopper Clarificador para luego ser enviados a los Filtros Clarificadores de donde va al proceso Merrill Crowe. La solución rica preclarificada es bombeada a los filtros clarificadores. Este proceso cuenta también con un Tanque Pre Coat cuyo objetivo es de proporcionar de agente filtrante, (diatomita), al filtro clarificador, mediante un sistema de recirculación, de esta manera se forma una capa de filtración de aproximadamente 2 cm de espesor.

Figura 17
Proceso Merrill Crowe.

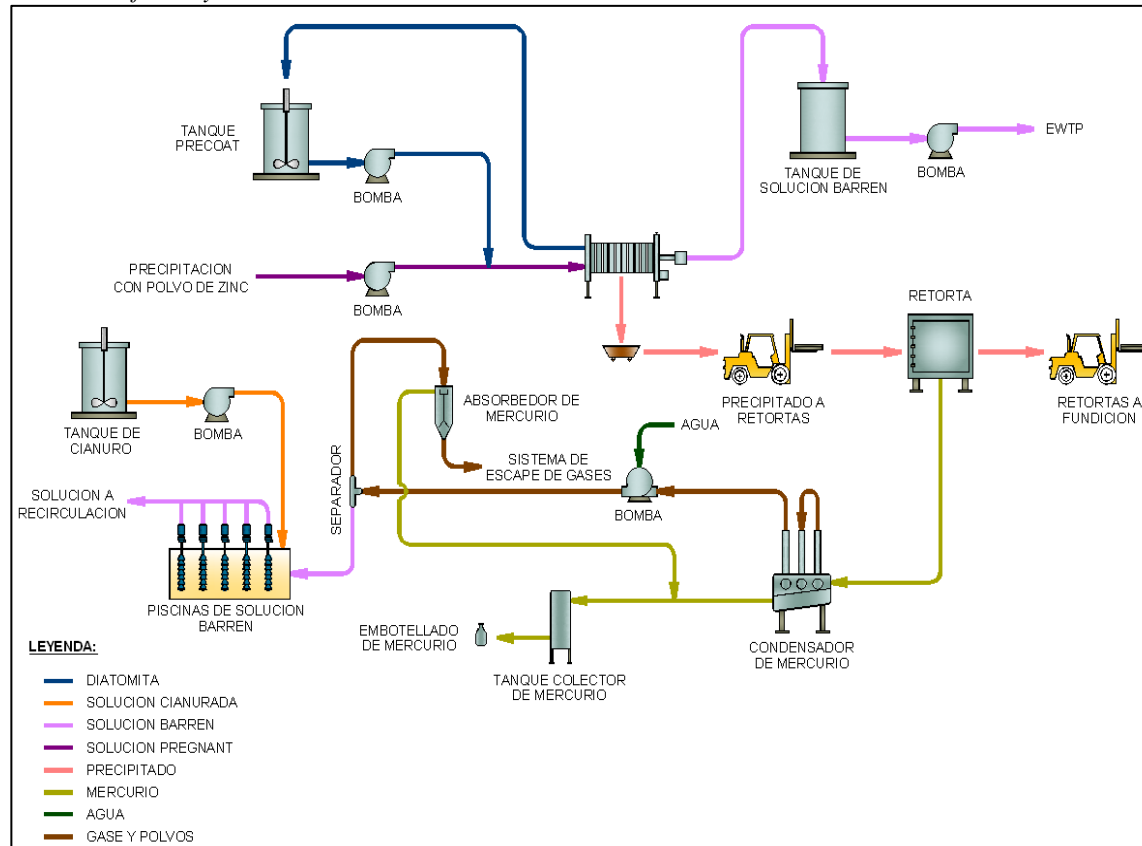


Fuente: Egas, (2017).

c. Proceso de Filtros y Retortas

El producto de la precipitación es enviado a las retortas, la planta tiene 4 retortas y la capacidad de cada retorta es de una tonelada; en las retortas el precipitado es sometida a un ciclo de calentamiento lento que dura 24 horas, la temperatura máxima alcanzada es 650° C.

Figura 18
Proceso de filtros y retortas.

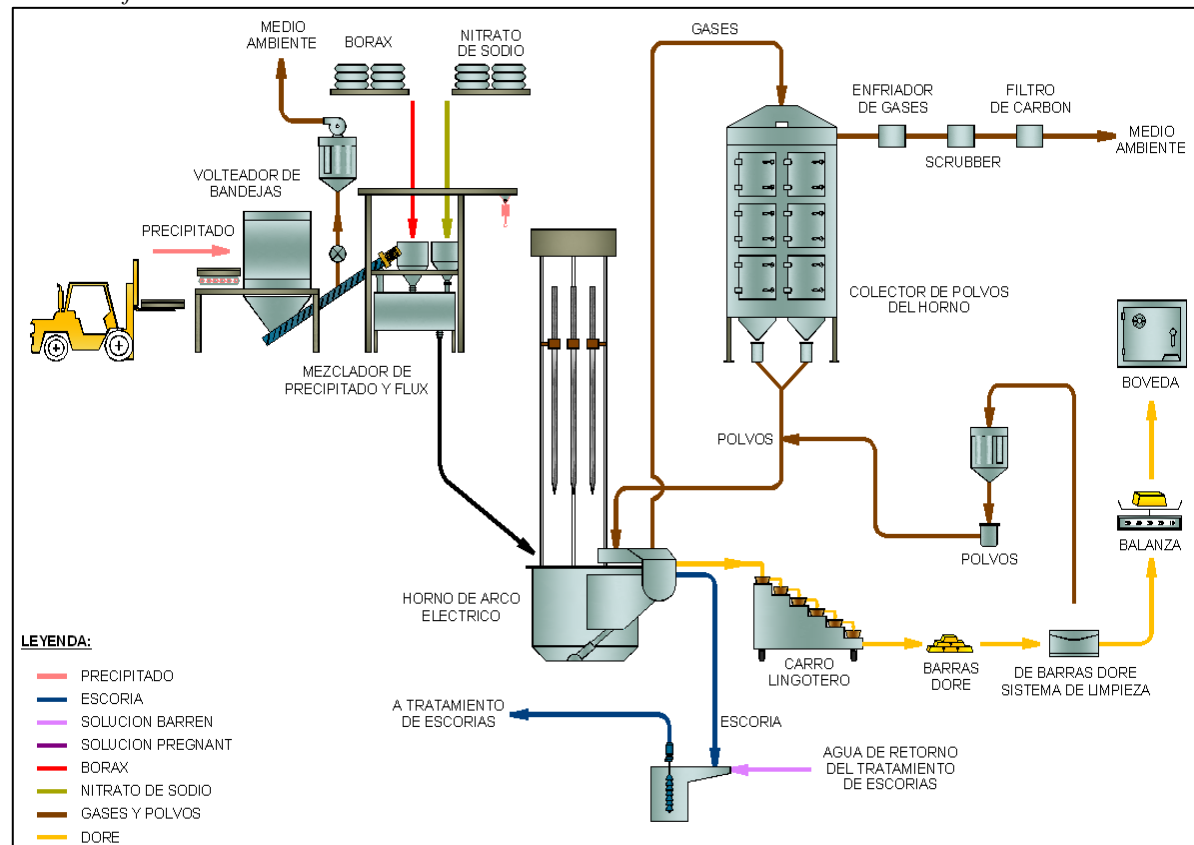


Fuente: Egas, (2017).

d. Proceso de fundición

Luego que el precipitado es mezclado con fundentes en distintas proporciones, la mezcla es cargada a un horno eléctrico de arco de una tonelada de capacidad, del horno salen dos productos escoria y doré.

Figura 19
Proceso de fundición.



Fuente: Egas, (2017).

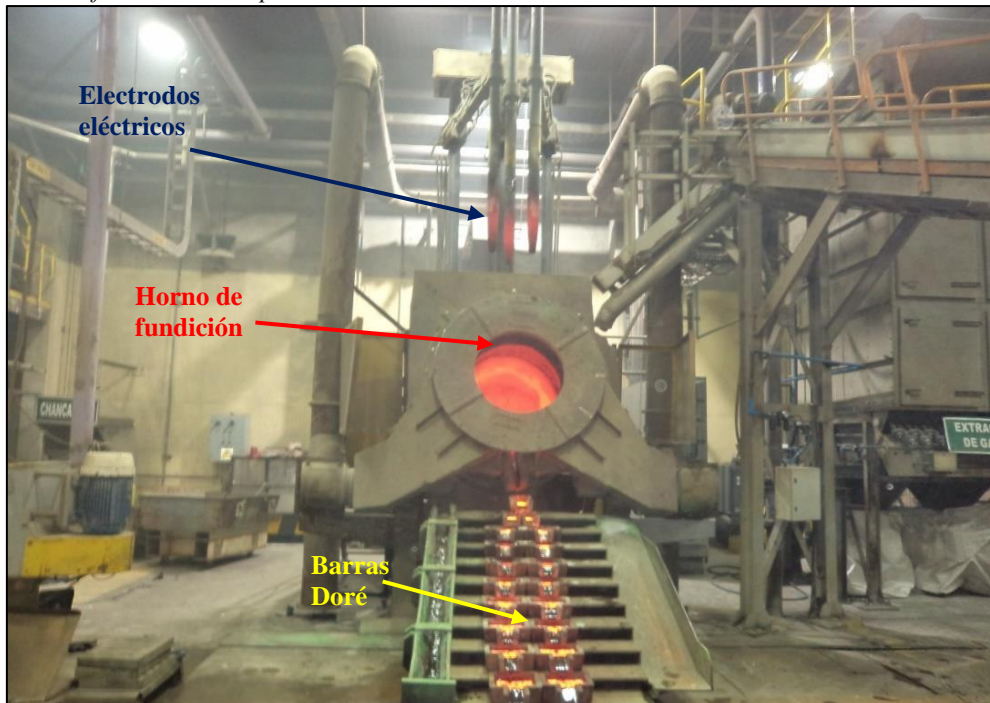
3.2. Resultados del diagnóstico situacional en el área de estudio

3.2.1. Descripción del proceso de fundición

El oro obtenido en el proceso Merrill Crowe es sometido a operaciones de secado en hornos de retortas a 650° C. Finalmente, el producto obtenido pasa por un proceso de fundición en horno de arco eléctrico a 1 200° C para obtener el Doré, que es una barra hecha de una mezcla de oro y plata.

Figura 20

Área de fundición de la planta minera.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

En la figura 20, se evidencia los equipos de fundición de la planta minera en estudio, teniendo como producto las barras Doré.

Tabla 7

Características del Doré producido en la planta minera.

Peso	22 Kg.
Precio	De acuerdo al contenido de oro y plata fino cotizado diariamente en el mercado mundial de los metales
Ley de oro	40%
Ley de plata	58%
Tiempo de fundición	4 horas

Fuente: Elaboración propia, (2020).

3.2.2. Problemas que se presentan en la planta de fundición

Para conocer los problemas que se presentan en la planta minera en estudio, se realizó la entrevista al supervisor de la planta y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8
Problemas presentados en la planta de fundición.

Problema	Prioridad
Pérdida de material particulado	1
Altos niveles de ruido y vibraciones	3
Falta de mantenimiento de equipos	2
Inadecuada programación de actividades de fundición	3
Formación de matas en las barras Doré	2
Generación de escorias	3

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Tal como se evidencia en la tabla 8, la pérdida de material particulado es un problema que debe tratarse de inmediato, ya que acarrea las siguientes consecuencias:

Figura 21
Pérdidas de material particulado en fundición.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Desgaste y obstrucción de los equipos.

Figura 22

Material particulado impregnado en los equipos de fundición.

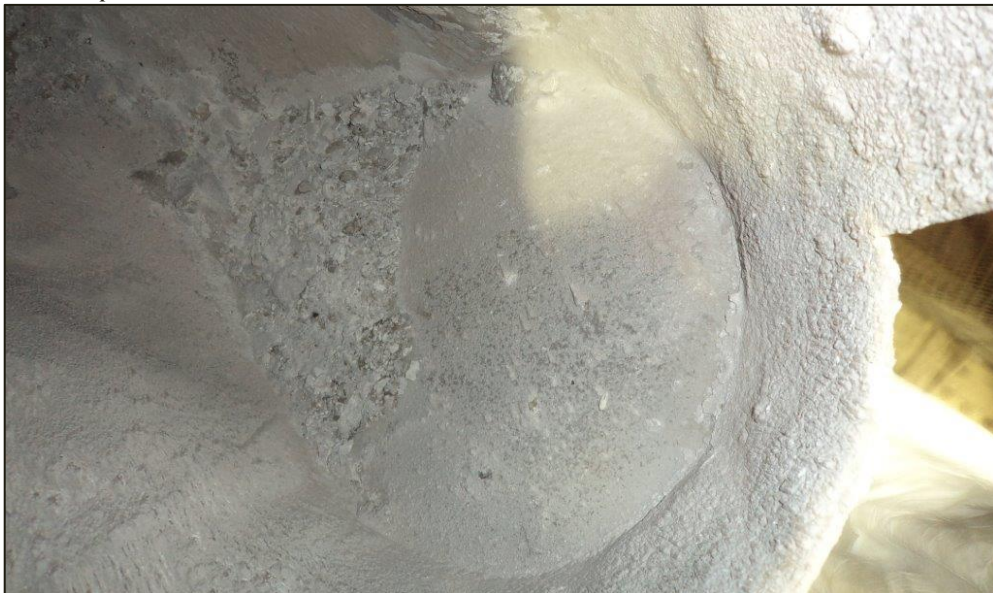


Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Obstrucción de las tuberías y accesorios de ventilación, dificulta la circulación de aire en la planta.

Figura 23

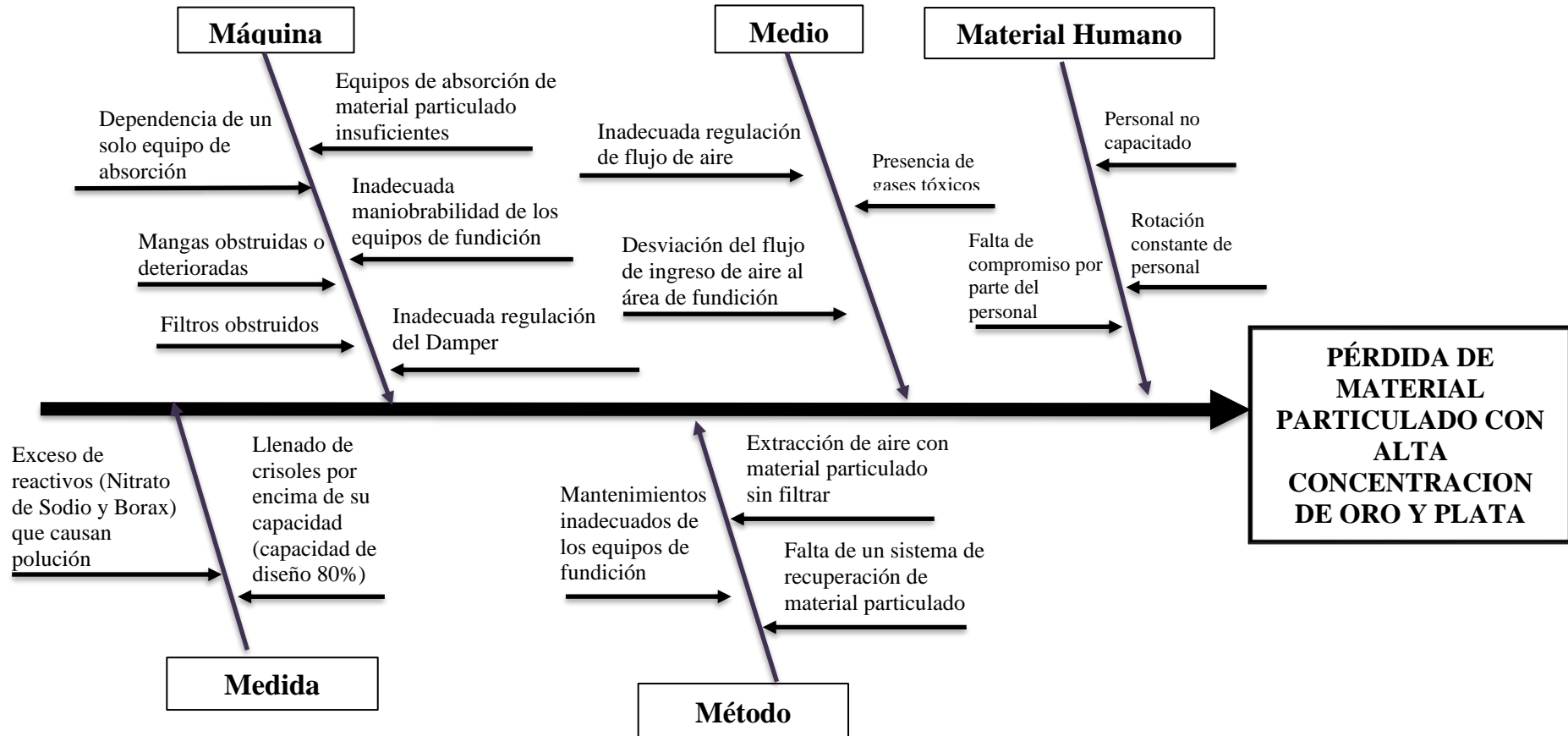
Material particulado acumulado en las tuberías de ventilación



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Este material particulado tiene altas concentraciones de oro y plata, si la empresa minera lo recupera tendría ingresos económicos adicionales.

3.2.3. Determinación de las causas de pérdida de material particulado

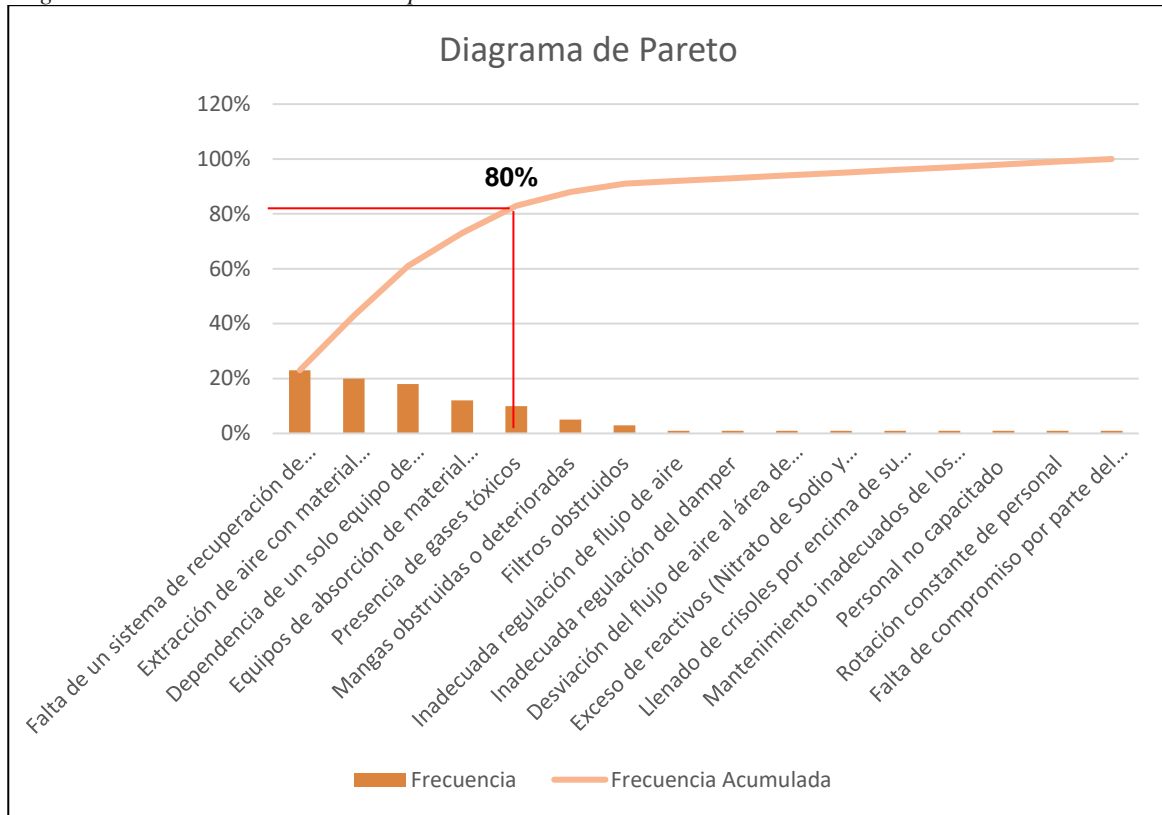


Fuente: Elaboración propia, (2020).

Para determinar las causas más relevantes se realizó un diagrama de Pareto.

Figura 24

Diagrama de Pareto de las causas de problema.



Como se evidencia en la figura anterior se determinaron que las causas más relevantes son falta de un sistema de recuperación de material particulado, extracción de material particulado sin filtrar, dependencia de un solo equipo de absorción de aire, equipos de absorción de material particulado insuficientes y presencia de gases tóxicos.

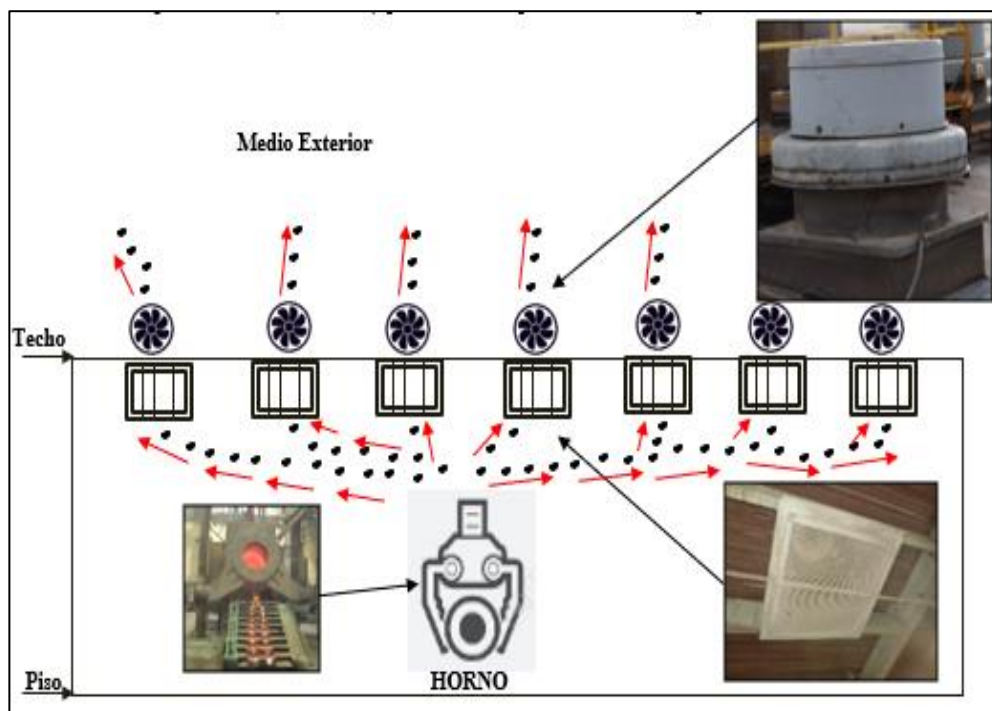
- Falta de un sistema de recuperación de material particulado: el material particulado no es absorbido ni aprovechado por ningún equipo.

Figura 25
Material particulado sin recuperarse.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Extracción de material particulado sin filtrar: en la planta minera se cuenta con siete extractores de gases, estos no están diseñados para atrapar material particulado (sin filtros) por donde se pierde el material particulado al exterior.

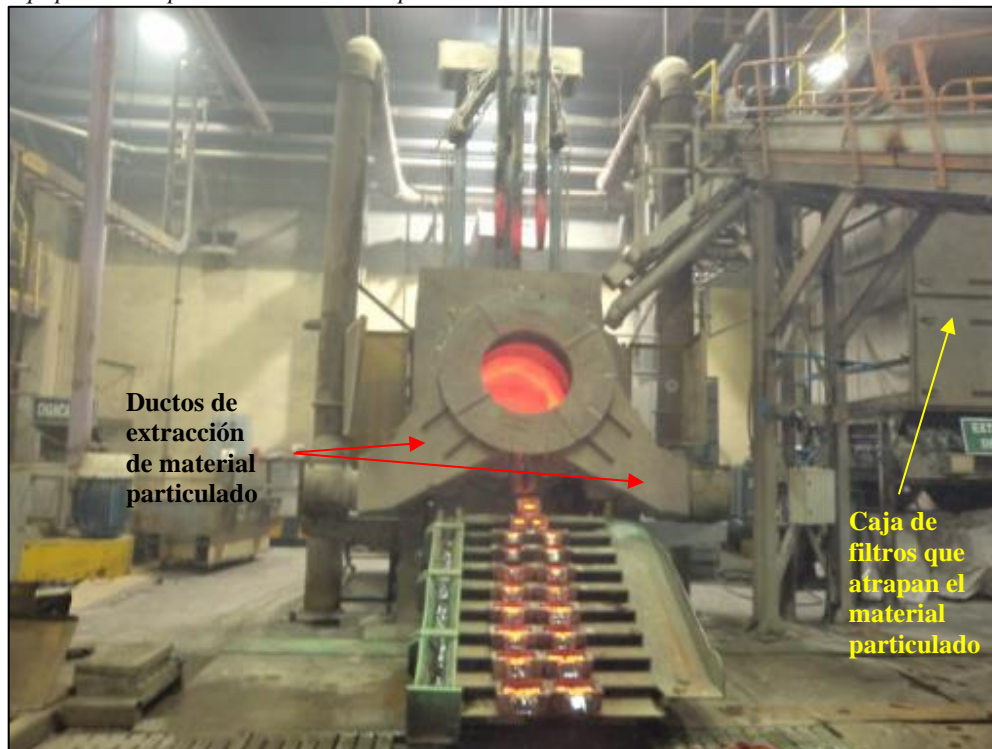


Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Dependencia de un solo equipo de absorción de aire: Se cuenta con un equipo de absorción de material particulado (BagHouse) que se encuentran adheridos a los costados del horno, sin embargo, si este se malogra o no tiene mantenimiento programado, se deja de recuperar el material particulado.

Figura 26

Equipo de recuperación de material particulado.

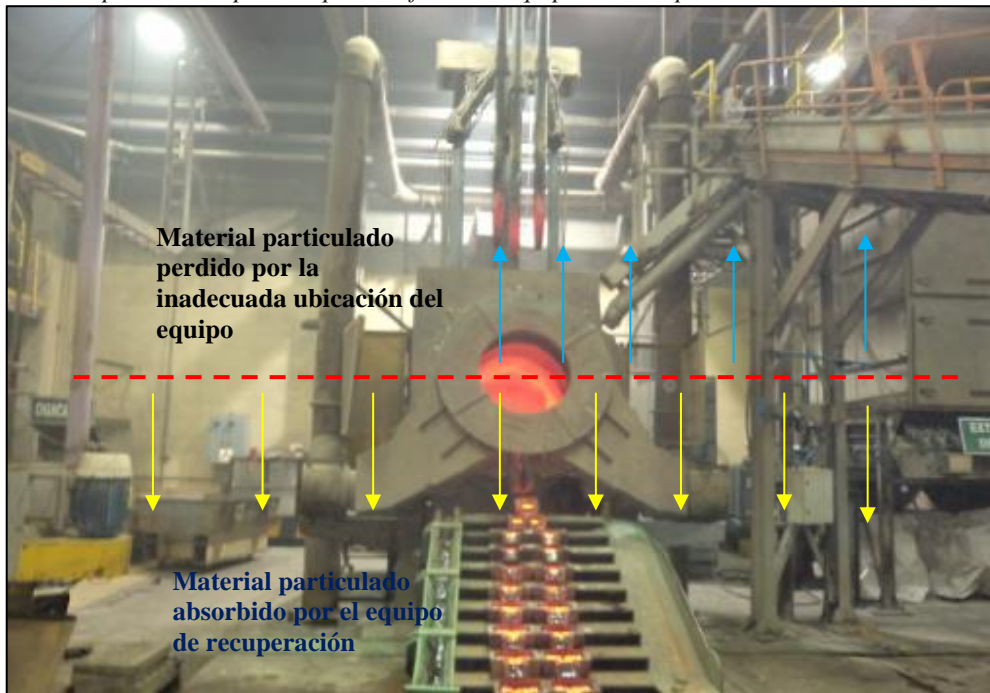


Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Equipos de absorción de material particulado insuficientes: El equipo de absorción de material particulado no se abastece para recuperar todo el material generado, primero porque es un equipo pequeño y segundo porque su ubicación no es la adecuada ya que debería ir encima del horno de fundición.

Figura 27

Material particulado perdido por insuficientes equipos de recuperación.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- Presencia de gases tóxicos: en el proceso de la fundición se liberan gases tóxicos por la utilización de Nitrato de Sodio lo cual incrementa la contaminación dispersando el precipitado y reduciendo el material a fundirse.

Figura 28

Gases tóxicos generados en fundición.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

3.2.4. Medición de material particulado generado

Ingresos:

Peso seco de precipitado: 800 Kg (en cada fundición se ingresa al horno 800 kilogramos)

Fundentes:

Borax (20%): $800 \times 0.2 = 160$ Kg (4)

NaNO₃ (1%): $800 \times 0.01 = 8$ Kg (5)

Fluor Spar (1%): $800 \times 0.01 = 8$ Kg (6)

Ingreso total: $800 \text{ kg} + 160 \text{ kg} + 8 \text{ kg} + 8 \text{ kg} = 976$ Kg (7)

Salidas:

El precipitado ingresó con ley de oro promedio 33% y plata 43%

Peso del Doré: 608 kg

Peso de la escoria: 367.765 kg

Peso de material particulado: $976 \text{ kg} - (608 + 367.765) = 0.235$ Kg.

Peso de oro y plata en el Doré:

Peso del Doré: 608 kg

% de Oro en Doré: 40% (leyes muestreadas en Doré) (8)

% de Plata en Doré: 58% (leyes muestreadas en Doré) (9)

% de impurezas de Doré: $100 - (40\% + 58\%) = 2.0\%$ (10)

Se realizó los cálculos respectivos para las 34 fundiciones (ver tabla 9).

Tabla 9

Cálculo de material particulado perdido en fundición.

Nro de fundición	Fecha tomada	Hora tomada	Peso Seco del Precipitado (kg)	Bórax (Kg)	NaNO3 (kg)	Fluor Spar	Ingreso Total (Kg)	Peso del Doré	Peso de escoria (kg)	Peso de Material particulado perdido (kg)
1	20-Jul-19	3:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.00	367.77	0.235
2	22-Jul-19	5:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.87	367.819	0.311
3	26-Jul-19	1:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.32	367.48	0.2
4	27-Jul-19	11:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.00	367.73	0.27
5	21-Ago-19	8:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.02	366.679	0.301
6	22-Ago-19	9:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.87	367.843	0.287
7	27-Ago-19	3:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.43	367.356	0.214
8	30-Ago-19	5:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.27	367.408	0.322
9	20-Set-19	6:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.88	367.875	0.245
10	23-Set-19	1:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.23	366.483	0.287
11	28-Set-19	2:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	606.87	368.809	0.321
12	29-Set-19	10:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.75	366.963	0.287
13	18-Oct-19	9:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.65	366.036	0.314
14	21-Oct-19	1:30 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.95	367.83	0.22
15	26-Oct-19	5:40 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.74	367.006	0.254
16	30-Oct-19	4:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.23	367.465	0.305
17	20-Nov-19	10:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.35	367.437	0.213
18	25-Nov-19	11:30 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.21	366.575	0.215
19	26-Nov-19	7:30 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.07	366.568	0.362
20	27-Nov-19	1:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.12	367.614	0.266
21	21-Dic-19	2:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.94	367.738	0.322
22	23-Dic-19	1:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.44	368.259	0.301
23	30-Dic-19	5:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.20	367.535	0.265

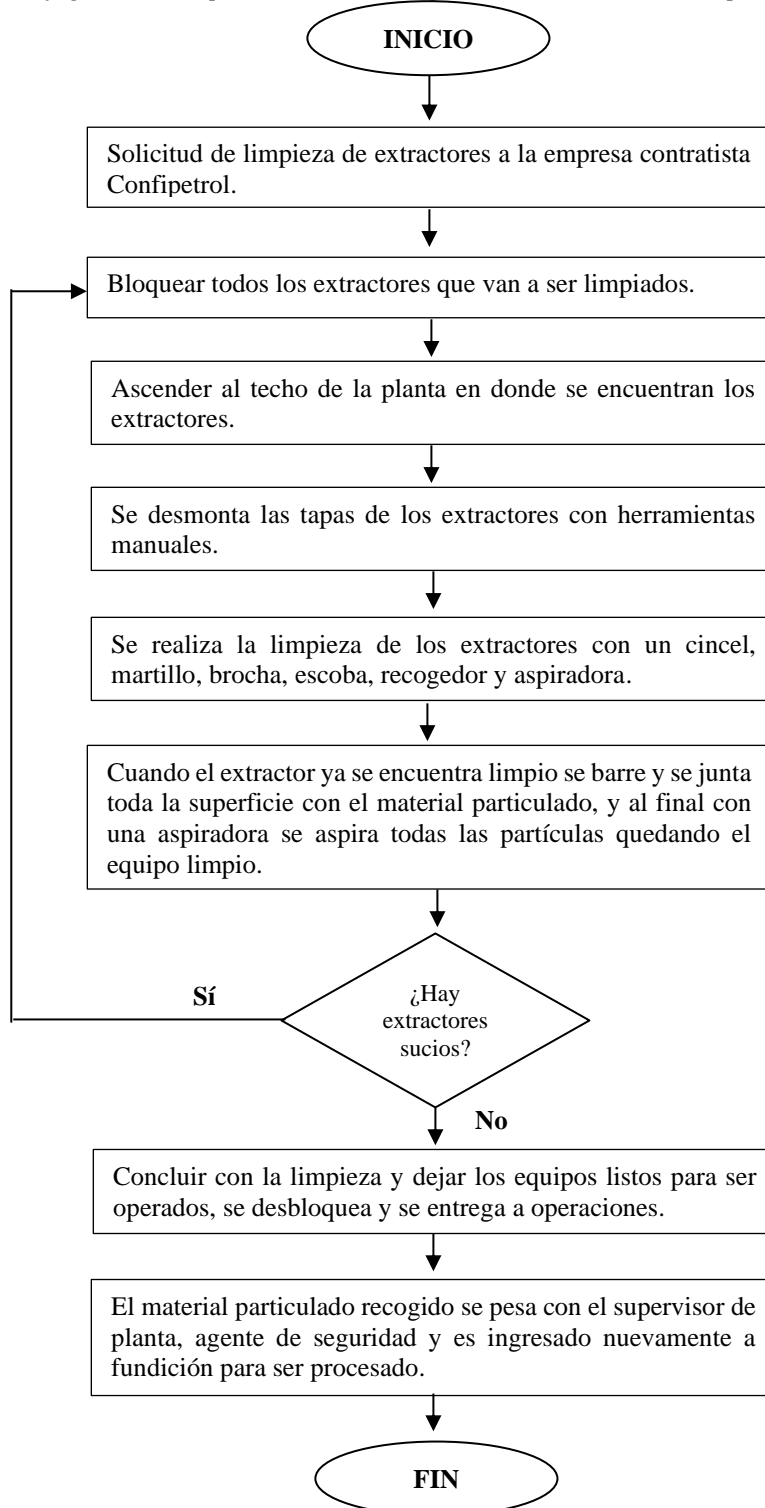
24	31-Dic-19	3:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.00	367.759	0.241
25	20-Ene-20	2:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.13	367.639	0.231
26	22-Ene-19	11:00 a.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.45	368.309	0.241
27	25-Ene-20	12:00 p.m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.87	366.805	0.325
28	30-Ene-20	1:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.94	366.748	0.312
29	18-Feb-20	2:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	609.22	366.575	0.205
30	20-Feb-20	3:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.38	368.355	0.265
31	22-Feb-20	8:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.15	367.5	0.35
32	28-Feb-20	5:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	607.95	367.839	0.211
33	21-Mar-20	3:40 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.34	367.46	0.2
34	23-Mar-10	4:00 p. m.	800	160.00	8.00	8.00	976.00	608.23	367.454	0.316
TOTAL DE MATERIAL PARTICULADO PERDIDO										9.214

Fuente: Elaboración propia, (2020).

En la tabla 9 se evidencia que en las 34 fundiciones realizadas desde julio del 2019 hasta marzo del 2020 se ha perdido 9.21 Kg de material particulado con altas concentraciones de oro y plata. Esta cantidad de material particulado se ha recuperado mediante la limpieza de la planta de fundición, especificado en la figura siguiente:

Figura 29

Flujograma de limpieza de extractores para recolectar el material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Para la realización de esta tarea se necesita el siguiente personal:

- Personal de la empresa Contratista:
 - 01 supervisor mecánico.
 - 01 prevencionista de la empresa contratista.
 - 02 mecánicos.
- Personal de la empresa de seguridad
 - 01 agente de seguridad
- Personal de la empresa principal
 - 01 electricista para bloquear equipos que se van a intervenir con la limpieza.

Por lo tanto, la cantidad de personal para esta tarea es de 6 trabajadores.

La empresa contratista, cobra 4,000 dólares por cada limpieza y la realiza cada 2 meses y la tarea dura 48 horas.

3.2.5. Cálculo de los ingresos en la empresa por recuperación con limpieza de extractores del material particulado con alta concentración de oro y plata en la planta de fundición minera

Se recuperaron 9.21 kg de material particulado desde julio del 2019 hasta marzo 2020, con leyes promedios de 33% de Au y 43% Ag.

Ingresos:

Peso seco de precipitado: 9.21

Fundentes:

Borax (20%): $9.214 \times 0.2 = 1.84$ Kg

NaNO₃ (1%): $9.214 \times 0.01 = 0.09$ Kg

Fluor Spar (1%): $9.214 \times 0.01 = 0.09$ Kg

Ingreso total: $9.21 \text{ kg} + 1.84 \text{ kg} + 0.09 \text{ kg} + 0.09 \text{ kg} = 11.24$ Kg

Salidas:

Peso del Doré: 7.002 kg

Peso de la escoria: 4.225 kg

Peso de material particulado: $11.241 \text{ kg} - (7.00264 + 4.225) = 0.01336$ Kg.

Peso de oro y plata en el Doré:

% de Oro en Doré: 40% (leyes muestreadas en Doré)

% de Plata en Doré: 58% (leyes muestreadas en Doré)

Peso de oro recuperado al 40% en la barra Doré: 2.801 Kg de oro = 90.05 Onzas.

Peso de plata recuperada al 58% en la barra Doré: 4.062 Kg de plata = 130.60 Onzas.

El peso del Doré es 7.002 Kg. que se ha calculado del 76% entre oro y plata según su muestreo del precipitado; si el precipitado son 9.21 kg, al 76% se obtuvo 7.002 kg de Doré.

El precio de los metales al 19 de junio del 2020 (Silver Price, 2020) se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 10

Precio de oro y plata actualizados.

Unidad	Precio en dólares (EE.UU)
Onza de oro	1,725.95
Onza de plata	17.43

Fuente: Silver Price, 2020.

Con estos datos se calcularon las ganancias por la empresa en la tabla 11.

Tabla 11

Ganancias por la empresa.

Mineral	Peso recuperado (onzas)	Precio por unidad (dólares)	Ganancia parcial (dólares)
Oro	90.05	1,725.95	155,421.80
Plata	130.60	17.43	2,276.36
Total de ganancia desperdiciada (dólares)			157,698.16

Fuente: Elaboración propia, (2020).

De acuerdo a los datos calculados se determinó que la empresa por recuperar el material particulado con altas concentraciones de oro y plata sólo con limpieza de extractores percibió 157,698.16 dólares desde julio del 2019 hasta marzo 2020.

3.2.6. Resumen actual de los indicadores.

En la tabla 12, se muestran los resultados de los indicadores antes la implementación del sistema de recuperación inyección – extracción.

Tabla 12
Resumen actual de los indicadores.

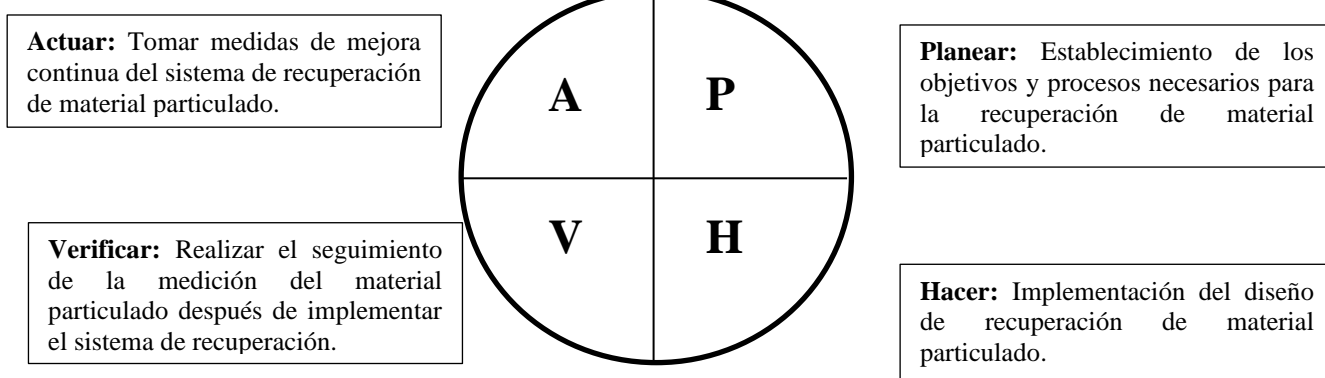
Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Resultados actuales	Interpretación
Variable independiente (x): Sistema de recuperación inyección – extracción	Recuperación de material particulado	Cantidad de personal	Trabajadores	6	Actualmente el material particulado se recupera mediante tareas de limpieza de los extractores de fundición, para ello se emplean 6 trabajadores.
		Cantidad de actividades	Actividades	8	El proceso de limpieza de extractores comprende 8 actividades que enlazan a la empresa contratista, empresa de seguridad y empresa principal (ver figura 29).
		Tiempo de tarea	Horas	48	La limpieza de extractores en donde se recolecta el material particulado con altas concentraciones de oro y plata demora 48 horas, para ello la planta de fundición debe paralizar sus operaciones.
	Metales recuperados	Material particulado recuperado	Kilogramos	9.214	Actualmente no se cuenta con un sistema de recuperación de material particulado, sin embargo, cuando se realiza las tareas de limpieza de la planta de fundición, especialmente en los extractores que se encuentran en el techo desde julio del 2019 hasta marzo del 2020 se ha recolectado 9.214 Kg de material particulado con altas concentraciones de oro y plata.
		Oro recuperado	Onzas	90.05	Del material particulado recogido se recuperó 98.80 onzas de oro desde julio del 2019 hasta marzo del 2020.
	Plata recuperada	Onzas	130.60	Del material particulado recogido se recuperó 143.28 onzas de plata desde julio del 2019 hasta marzo del 2020.	
Variable dependiente (y): impacto económico	Gastos por extracción	Costo de extracción	Dólares/limpieza	4,000.00	Cada vez que se realiza la limpieza de la planta de fundición se recupera material particulado, esto le cuesta a la empresa 4,000 dólares cada 2 meses.
	Utilidad	Ganancias aprovechadas	Dólares	157,698.16	Por recuperar el material particulado con limpieza de extractores la empresa percibió 173,021.23 dólares desde julio del 2019 hasta marzo del 2020.

3.3. Resultados del diseño e implementación del sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata basado en el modelo inyección – extracción

Para el diseño e implementación del sistema de recuperación de material particulado con alta concentración de oro y plata se ha utilizado el ciclo PHVA (ver figura 30).

Figura 30

Ciclo PHVA del sistema de recuperación de material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Las actividades de cada etapa del ciclo PHVA, se detallan en la tabla 13:

Tabla 13

Ciclo PHVA para el sistema de recuperación de material particulado.

Actividades	Mayo 2020	Junio 2020	Julio 2020	Agosto 2020	Setiembre 2020	Octubre 2020
1. PLANEAR						
Diagnóstico situación de la empresa						
Diagnóstico situación del área de fundición						
Entrevista al Supervisor de la Planta de fundición						
Recopilación de datos históricos sobre la recuperación de material particulado						
Análisis de la data						
Tormenta de ideas para recuperar el material particulado.						

Análisis del modelo inyección – extracción			
Determinación de los equipos que se van a utilizar en el sistema de recuperación			
Análisis de los costos de los equipos			
Diseño del sistema de recuperación			
2. HACER			
Instalación de los equipos		Paralización por pandemia COVID-19	
3. VERIFICAR			
Toma de reportes después de la mejora		Paralización por pandemia COVID-19	
Análisis de los reportes		Paralización por pandemia COVID-19	
4. ACTUAR			
Retroalimentación teniendo en cuenta los objetivos del proyecto		Paralización por pandemia COVID-19	
Planear acciones correctivas		Paralización por pandemia COVID-19	
Ejecución de actividades de mejora		Paralización por pandemia COVID-19	

Fuente: Elaboración propia, (2020).

3.3.1. Planear

a. Diagnóstico situación de la empresa

(ver ítem 3.1.)

b. Diagnóstico situación del área de fundición

(ver ítem 3.2.)

c. Entrevista al Supervisor de la Planta de fundición

Se realizó la entrevista al supervisor de planta utilizando la guía de entrevista (ver anexo

1). Con esos resultados se elaboró el diagnóstico de la empresa y del área de fundición.

Figura 31

Entrevista al supervisor.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

d. Recopilación de datos históricos sobre la recuperación de material particulado

Se realizó la medición del material particulado con alta concentración de oro y plata con sus respectivos costos, los datos históricos analizados son desde Julio 2019 hasta marzo del 2020 (ver ítem 3.2.4 y 3.2.5).

e. Análisis de la data

De acuerdo a los datos calculados se determinó que la empresa por recuperar sólo con limpieza de extractores, el material particulado con altas concentraciones de oro y plata son 173,021.23 dólares desde julio del 2019 hasta marzo 2020.

f. Tormenta de ideas para recuperar el material particulado.

El grupo de gestión de cambio, se reunió para debatir las ideas y definir su implementación, este grupo está conformado por:

- Jefe de mantenimiento.

- Jefe de procesos.
- Superintendente de mantenimiento.
- Superintendente de procesos.
- Supervisor de operaciones.
- Supervisor de mantenimiento.
- Prevencionista de seguridad y salud en el trabajo.

Las ideas para recuperar el material particulado fueron:

- Sistema de captación de humos.
- Limpiezas constantes de las partículas impregnadas en los componentes de las plantas.
- Sistema de recuperación mediante la aplicación del modelo inyección – extracción.
- Tapado del horno de arco eléctrico para generar menos material particulado.

Estas ideas fueron discutidas evaluando sus pro y contras:

Tabla 14
Evaluación de ideas de mejora.

Idea	Decisión	Sustento
Sistema de captación de humos.	No	La captación de humos no es aplicable, ya que no atraparía material particulado, solo extraería aire.
Limpiezas constantes de las partículas impregnadas en los componentes de las plantas.	No	El material particulado ocasiona que los trabajos en la planta minera sean inseguros, ya que se impregna en las luminarias, reduciendo la iluminación en la zona. Para limpiar dichas luminarias, el personal debe trabajar a 5 metros de altura, siendo una tarea de alto riesgo y representando gastos constantes.
Sistema de recuperación mediante la aplicación del modelo inyección – extracción	Sí	Es un sistema completo, tanto de inyección de aire como de extracción de gases y polvos, las partículas quedan atrapadas en los

		filtros para después volverlos a fundir. Esta idea es aplicable.
Tapado del horno de arco eléctrico para generar menos material particulado	No	No se cuenta con materiales necesarios, para construir una tapa del horno eléctrico, además causaría daños en los electrodos que funden el precipitado de zinc.

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Se decidió por sistema de recuperación mediante la aplicación del modelo inyección – extracción, ya que se ha considerado su eficiencia en otras minas como Pierina.

Figura 32

Reunión de tormenta de ideas de recuperar el material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

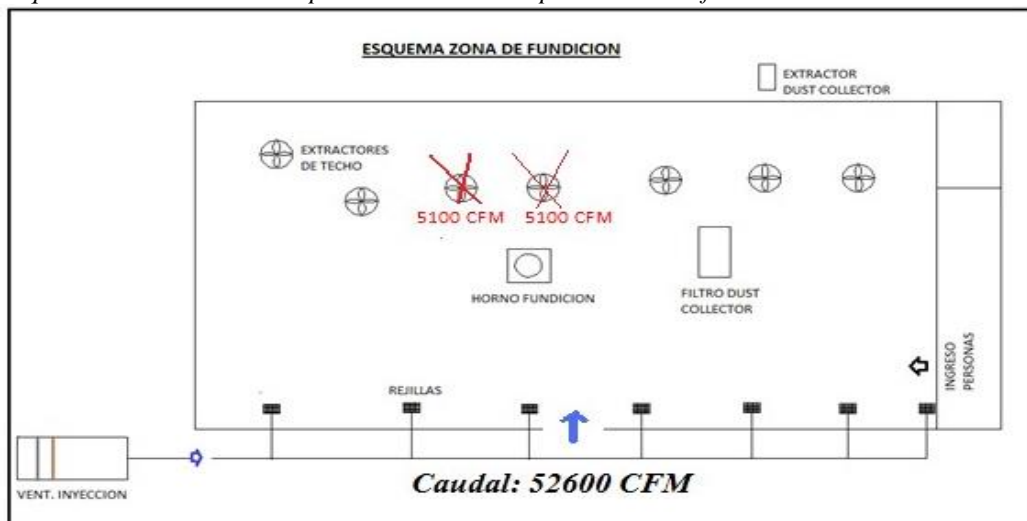
g. Análisis del modelo inyección – extracción

El modelo inyección – extracción tiene como objetivo evacuar y eliminar las partículas y gases generados en proceso de fundición. Este modelo es un sistema integral que comprende los siguientes componentes: un filtro mangas tipo Pulse-jet, filtro de carbón activado y ventilador centrífugo. Se considera que en este modelo debe instalarse una campana en la parte superior del horno de fundición para la extracción de los humos y

mediante ductos trasladarlos hacia el filtro de mangas y carbón activado. Esta solución se planteó como idónea (ver figura 33), realizando un balance de caudales en la inyección y extracción de aire, obtenemos que al anular 02 equipos de extracción de techo (Aprox. 10200 CFM), esta diferencia será reemplazada por la campana superior, el cual extrae un caudal aproximado de 13800 CFM, la diferencia es compensado con los cambios de poleas realizado en el equipo principal de inyección el cual tuvo un incremento de caudal en aprox. 15%, incremento aprox. 7200CFM, con ello los caudales queda balanceadas.

Figura 33

Esquema del sistema de recuperación de material particulado en fundición



Fuente: Elaboración propia, (2020).

h. Determinación de los equipos que se van a utilizar en el sistema de recuperación

- Campana y ductos

El sistema área de fundición está compuesto por un horno eléctrico de fundición el cual funde el mineral mediante electrodos, esto genera humos y a su vez en el llenado de material en el horno se genera polvo de mineral. Para este tipo de hornos con electrodo, cuando la captación focalizada ubicada alrededor del crisol, no es suficiente se complementa con un sistema de captación mediante campana. Para este

caso será captado mediante una campana de dimensiones 3500 mm x 3000 mm, con una velocidad de captación de 0.62 m/s (velocidad recomendado para recintos cerrados).

Las planchas a usar para la construcción de la campana serán en acero estructural ASTM A-36, espesor de plancha 3/32”, con refuerzos y ángulos estructurales, la construcción y diseño de la campana es según recomendaciones ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), las ducterías que transporta el flujo de aire viciado cumplirán recomendaciones AMCA, tanto en codos y uniones y bifurcaciones.

El sistema de ductos también será fabricado en plancha de ASTM A-36, con espesor de 3/32”, el recorrido total de ductos a implementar tendrá un aproximado de 70 mts y comprende desde la captación mediante pequeñas tomas de la campana principal con ductos de Ø280 mm que se ampliarán a Ø400 mm, Ø480 mm y Ø680 mm, con este diámetro se hará el recorrido por el filtro de mangas, ventilador centrifugo y filtro de carbón activado. Las uniones de los ductos serán mediante bridas y empaquetadura.

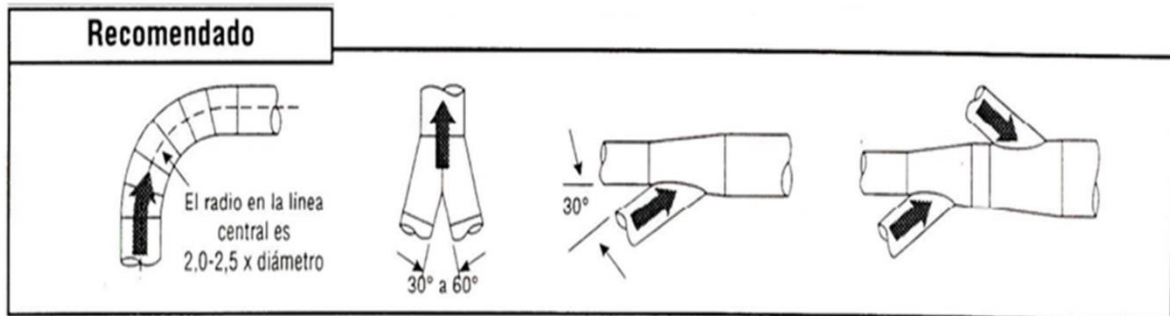
Tabla 15

Descripción de la campana de captación de humos.

Dimensión de campana	3500 x 3000 mm
Diámetros de ductos circulares	280/480/680 mm
Espesor de la plancha	3/32"
Uniones	Bridada
Material	ASTM A-36
Normas	AMCA /ACGIH

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Figura 34
Recomendaciones AMCA, conexiones tuberías.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

- **Colector de polvos (Pulse – Jet)**

El filtro de mangas que se propone, tiene que tener la capacidad de trabajar con caudal de aire viciado de 13800 CFM, temperatura de trabajo de 60 °C, y temperatura máxima de 120 °C, el cuerpo del equipo deberá de estar construido con acero ASTM A36, a su vez las mangas deben de soportar la temperatura de trabajo continua y máxima (60°C – 120°C), respectivamente.

El Colector de Polvo del tipo PULSE-JET, es una unidad modular de filtros que posee un sistema de limpieza automática para la limpieza de las mangas, estos módulos se encuentran debidamente compartidos para captar y liberar el fluido limpio. Este tipo de colectores están diseñados para trabajos continuos, con el uso de un secuenciador automático envía pulsos de aire comprimido para su limpieza; funciona cuando censa el diferencial de presión medido entre la cámara limpia y la cámara sucia del filtro, permitiendo que el flujo del aire sea constante. Los filtros de manga están montados sobre canastillas galvanizadas, su diseño tiene como finalidad de mantener el perfil cilíndrico cuando está en funcionamiento y de aumentar su vida útil, en el extremo superior de una canastilla se ubica un VENTURI, cuyo propósito es acelerar la limpieza con el aire comprimido al ser inyectado dentro de cada manga. El proceso

de limpieza consiste esencialmente en inyectar aire comprimido en el interior de las mangas cual es proporcionado por el secuenciador electrónico que puede ser activado por tiempo o diferencia de presión dentro del filtro. Este sistema permite un adecuado método de mando y control, incluso de regular el tiempo de inyección del aire comprimido en cada fila de mangas, así como el intervalo de tiempo entre la limpieza de una cola de mangas y su posterior.

El sistema comprende de una cámara de acumulador de aire comprimido. El aire comprimido es liberado desde el MANIFOLD y pasa a través de las válvulas con solenoides/diafragma, y en forma secuencial liberada en cada una de las filas de mangas. Como resultado genera en cada uno de ellos una onda de choque que posteriormente se expande, causando la descomposición de la materia en partículas acumulada en la superficie exterior de las mangas, posteriormente se depositaran en la tolva donde se recogerá el material expulsado de las mangas. Toda la estructura es soportada por perfiles de acero, está cubierto por plancha en todo el contorno del filtro, cuenta con acceso en la parte superior cual se accede por una escalera de seguridad.

Tabla 16

Descripción del filtro de mangas para captar material particulado.

Cantidad	1
Fluido	Gases de fundición Dore
Caudal	13800 -17000 CFM
Caída Presión	3 a 4 InH ₂ O
Resistencia a la Temperatura	120 °C
Dimensiones	3159x2300x7823 mm
Número de mangas	20
Numero de válvulas limpieza	30
Presión de limpieza	55 a 90 Psi
Caudal de compresor	INDICA FABRICANTE

Fuente: Elaboración propia, (2020).

- **Ventilador centrifugo**

El ventilador centrifugo, deberá ser de la serie HEAVY DUTY, debería tener una capacidad de 15435 CFM y una presión estática al nivel del mar de 19 InH₂O, consumo de potencia de 66.5 BHP, y a su vez estos valores serán recalculados para trabajar a 3600 msnm y a su vez el motor debe cumplir con encerramiento TEFC, el tipo de transmisión será de transmisión faja polea.

Tabla 17

Descripción del ventilador centrífugo.

Cantidad	1
Marca	AIRTEC
Fluido viciado	Gases de fundición Dore
Caudal	13800-17000
Caída Presión	19 InH ₂ O
Caída Presión a 3600 msnm	13.2 InH ₂ O
Temperatura	60° C - 70 °C
Transmisión Faja -Polea	SI
Motor derrateado a 3600 msnm	60 HP
RPM	1775 / 1780 RPM
Voltaje	440V
Protección	TEFC-IP55

Fuente: Elaboración propia, (2020).

- **Sistema de filtración con carbón activado**

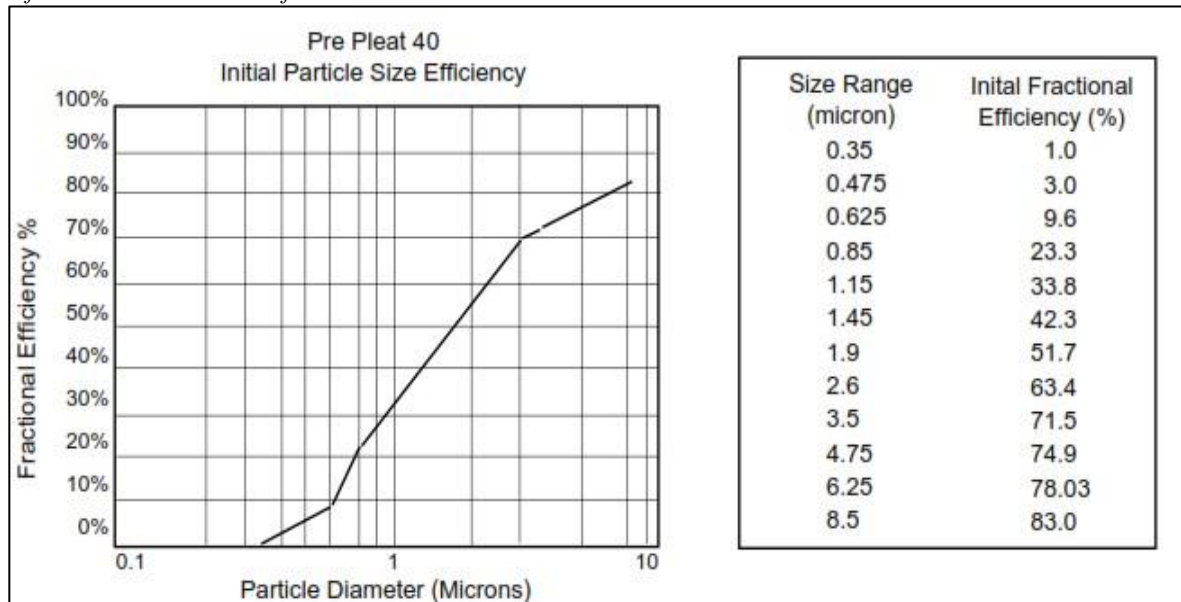
El filtro de carbón activado es usado para contrarrestar el mercurio remanente presente en el aire proveniente del horno eléctrico, la placa de carbón usado para este fin es de dimensiones 24"x24", similar al filtro de cartón, el filtro de cartón se instalará como prefiltrado. Los filtros tipo placa tienen que cumplir el grado filtrado recomendado por ASHRAE 52.2-99, el cual establece eficiencia de filtración en función al diámetro de partículas y a su vez indica rango de la caída de presión en función al caudal, este es un parámetro el cual nos permite evaluar si un sistema de

filtrado es el adecuado, pues lo recomendado por ASHRAE, se considera como óptimo. En el diseño del sistema de filtración se consideró un caudal de 1800 CFM, el tamaño de las placas de filtración es de 24 x24”, la caída de presión al inicio está por un rango aprox. De 0.2 InH₂O, la eficiencia de filtración considerando partícula de 1 μm, es de 30 a 35 %, una arrestancia de 93 %.

La caja portafiltro deberá contar con una compuerta para el cambio de filtros y/o mantenimiento.

Figura 35

Eficiencia del sistema de filtración con carbón activado.



Fuente: Rosado, (2017).

La función principal del filtro de cartón es la de proteger al filtro de carbón activado con el fin de alargar el cambio y/o mantenimiento de filtros de carbón activado.

Para hacer los cambios de filtros se instalará un transmisor de presión diferencial, el cual se instalará en el prefiltro y filtro de carbón activado El transmisor trabaja a temperatura < 80 °C, la presión que, de censado de 0 a 60 mbar, Fluido: aire de horno

de fundición filtrado, señal de salida (4 a 20 ma), la señal puede ser en sitio y/o remota.

Tabla 18

Descripción del filtro de cartón.

Cantidad caja de filtros	1
Fluido	Aire con remanente de polvo/ mercurio
Tipo:	Cartón-corrugado
Resistencia a la temperatura	70°C
Caída de presión operación	0.28 InH ₂ O a < 0.75 InH ₂ O
Caída de presión de cambio	0.75InH ₂ O a < 1 InH ₂ O
Cantidad instalada	8 unid
Caudal por cada filtro (24"x24")	1800 CFM

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Tabla 19

Descripción del filtro de carbón activado.

Cantidad caja de filtros	1
Fluido	Aire con remanente de mercurio
Tipo	Carbón activado granular
Resistencia a la temperatura	65°C
Caída de presión de cambio	1 a 1.5 InH ₂ O
Cantidad instalada:	4 unid
Caudal por cada filtro (24"x24")	1800 CFM
Dimensión caja portafiltro	2600 x 1550 x 1300 mm
Manómetro de presión diferencial	Manual mecánico/ transmisor digital
Material caja portafiltro	ASTM A - 36 / Pl.Galvanizada > 1.5 mm

Fuente: Elaboración propia, (2020).

i. Análisis de los costos de los equipos

Tabla 20

Descripción los costos de los equipos.

Equipos	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Campana de captación de humos	1	600	600
Filtro de mangas	12	30	360
Lavador de gases	1	8,000	8,000
Ventilador centrífugo	1	12,500	12500
Filtro de cartón	8	25	200
Filtro de carbón activado	4	100	400
Manómetro diferencial de presión	1	150	150
Caja portafiltro	1	200	200
Tablero arranque ventilador	1	4,000	4,000
Colector de polvo	1	30,000	30,000

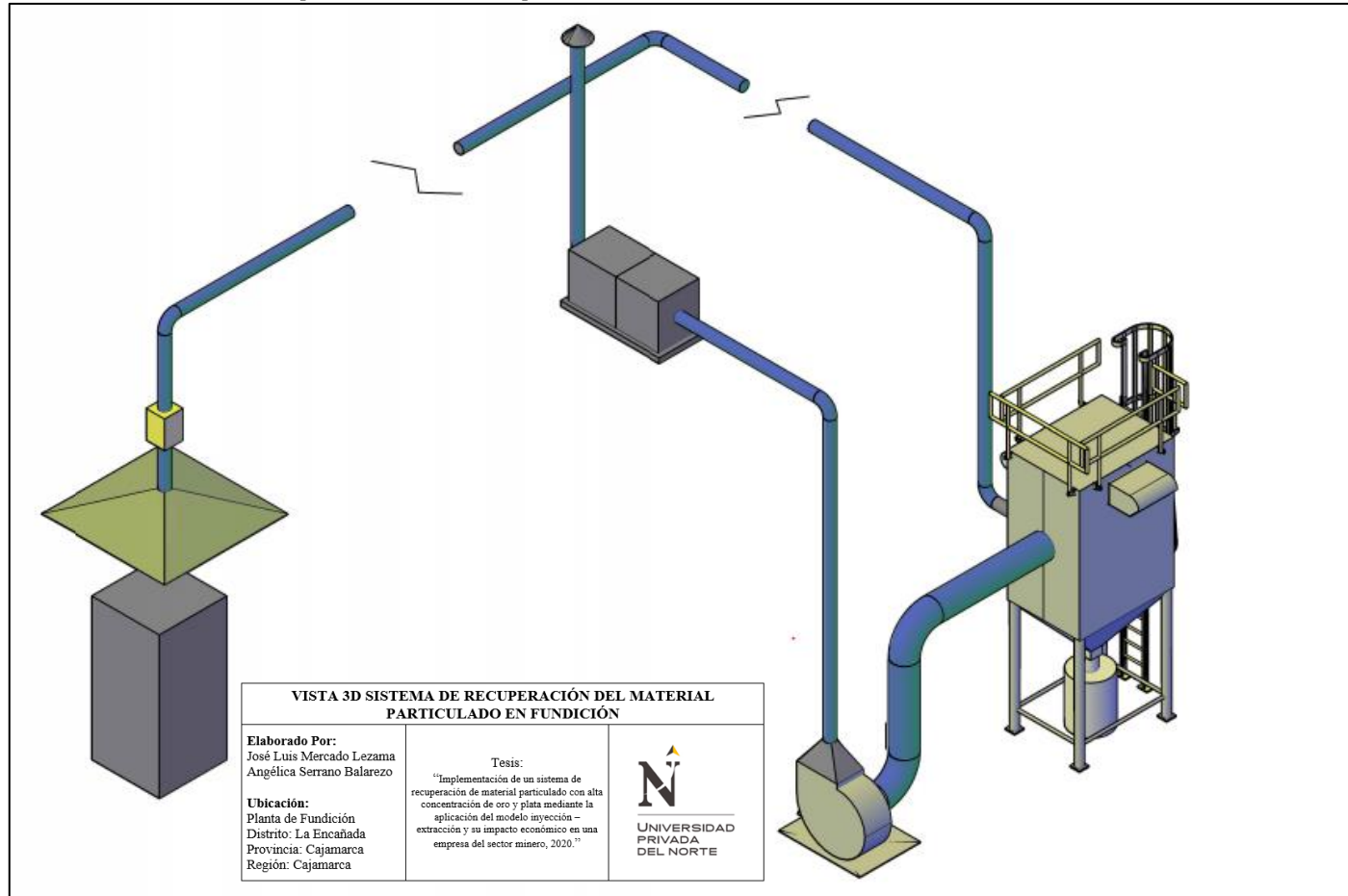
Damper regulación	1	500	500
Total (dólares)			56,910.00

Fuente: Elaboración propia, (2020).

j. Diseño del sistema de recuperación

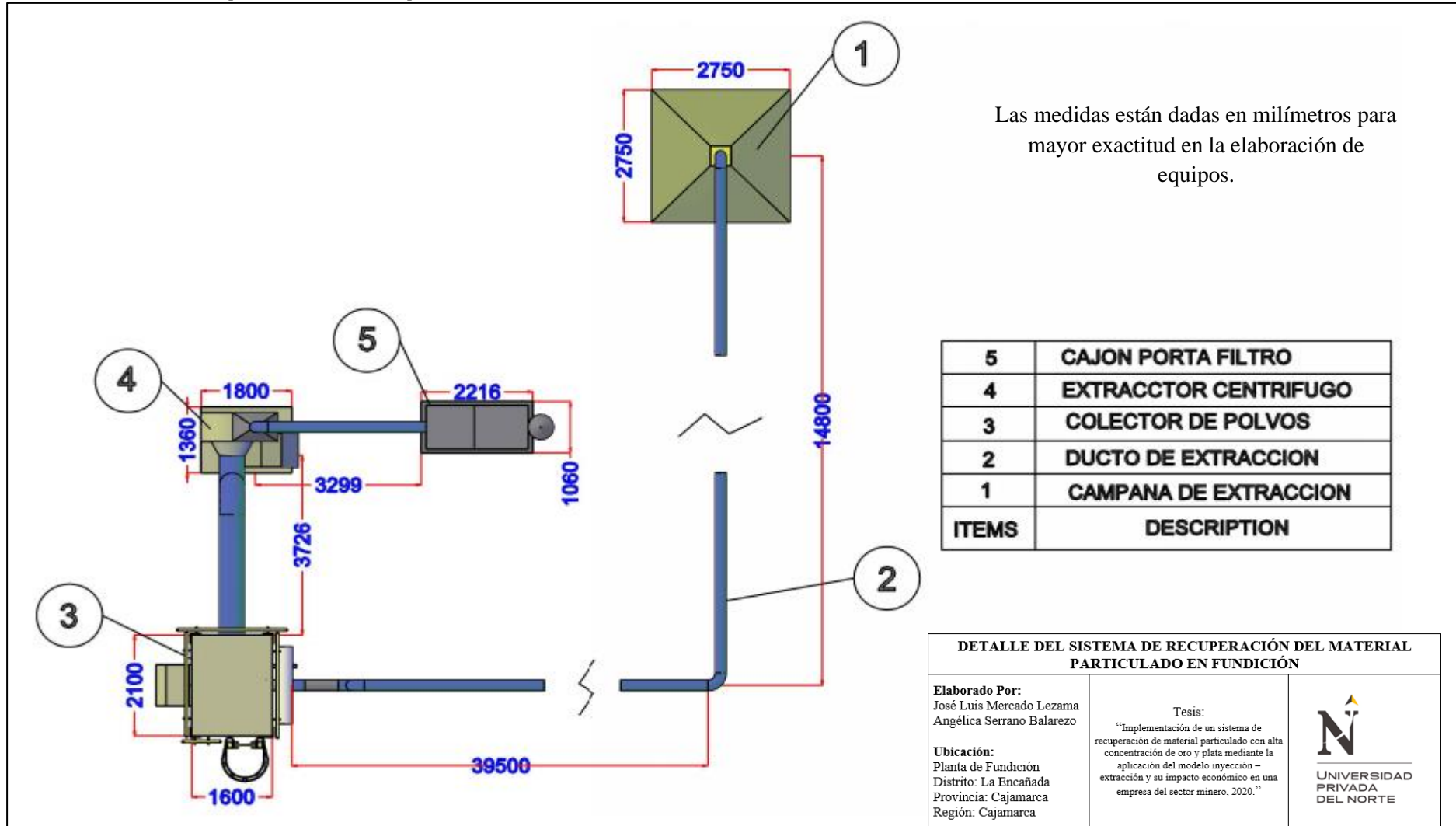
El diseño del sistema de recuperación comprende dos esquemas principales, el primero es el de la campana de extracción, que va a ir ubicada en la parte superior del horno de arco eléctrico, el segundo es el esquema de distribución de los equipos del sistema en la planta de fundición.

Figura 36
Vista 3D del sistema de recuperación de material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Figura 37
Detalle del sistema de recuperación de material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

En la figura 37, se muestra el diseño del sistema de recuperación de material particulado, la campana va encima del horno de arco eléctrico, el material es absorbido por la campana, y transportado hasta el colector de polvos, en donde se queda atrapado en los filtros, luego se retiran los filtros para recuperar el material atrapado y se vuelve a fundir.

3.3.2. Hacer

a. Instalación de equipos

La instalación de equipos ha iniciado la tercera semana de junio, con la instalación del colector de polvos.

Figura 38
Instalación del colector de polvos.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

En la figura 38, se muestra la instalación del colector de polvos mediante una grúa, este equipo se instaló fuera de la planta de fundición, y se ubicó al costado del ventilador centrífugo.

Figura 39
ventilador centrifugo.



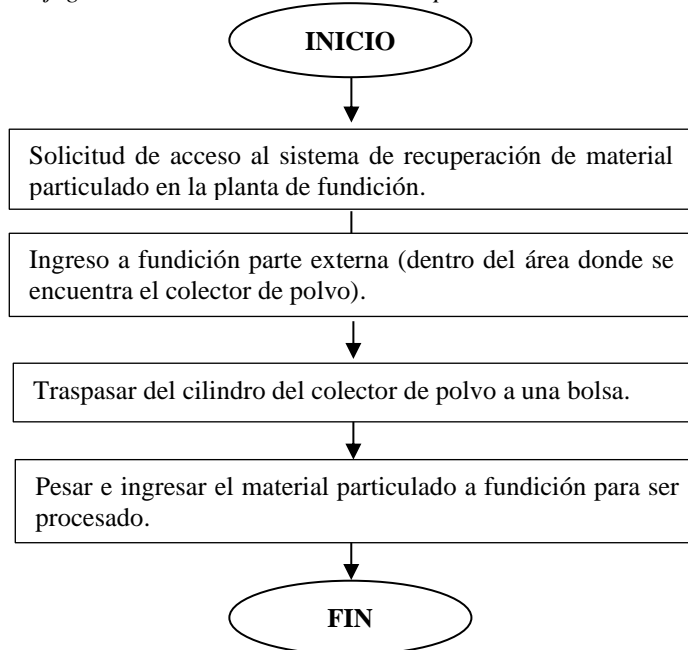
Fuente: Elaboración propia, (2020).

Los otros equipos no se han logrado instalar, debido a la paralización de trabajos por cuarentena sanitaria.

b. Flujograma del recojo de material particulado del sistema de recuperación

En la figura 40, se muestra el procedimiento de recolección de material particulado, que inicia con la solicitud y finaliza con el pesado e ingreso del material recolectado a fundición.

Figura 40
Flujograma de recolección de material particulado.



Fuente: Elaboración propia, (2020).

Para la realización de esta tarea se necesita el siguiente personal:

- Personal de la empresa:
 - 01 supervisor mecánico.
 - 01 prevencionista de la empresa contratista.
 - 01 mecánico.
- Personal de la empresa de seguridad
 - 01 agente de seguridad

Por lo tanto, la cantidad de personal para esta tarea es de 4 trabajadores.

El costo para esta tarea es de 200 dólares por cada recolección que se realiza cada 2 meses, y la duración de esta tarea es de 3 horas.

3.3.3. Verificar

Para el cálculo del material recuperado con el sistema de recuperación de material particulado se ha tomado los reportes de limpieza del área de fundición (ítem 3.2.4) en donde se obtienen los siguientes datos.

Recuperación mensual de oro: 10 onzas.

Recuperación mensual de plata: 9.08 onzas.

3.3.4. Actuar

En esta fase se realizarán tres actividades que son:

- Retroalimentación teniendo en cuenta los objetivos del proyecto
- Planear acciones correctivas
- Ejecución actividades de mejora

Estas actividades no se han realizado debido a la coyuntura que atraviesa el país.

3.3.5. Resumen de los indicadores después de la implementación

En la tabla 21, se muestran los resultados de los indicadores después de realizar el diseño del sistema de recuperación inyección – extracción, es necesario recalcar que dicho sistema sólo se encuentra implementado al 40% y al finalizar se pretende incrementar las ganancias en un 15% de acuerdo a las investigaciones de Cárdenas, Niño, Peña y Sepúlveda (2013).

Tabla 21

Resumen de los indicadores después del diseño e implementación del sistema de recuperación.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Resultados antes del diseño	Resultados después del diseño	Variación	Interpretación
Variable independiente (x): Sistema de recuperación inyección – extracción	Recuperación de material particulado	Cantidad de personal	Trabajadores	6	4	2	Con el sistema de recuperación de material particulado, sólo se emplearán 4 trabajadores, es decir 2 trabajadores menos que los que se utiliza en la limpieza de extractores.
		Cantidad de actividades	Actividades	8	4	4	El proceso de recuperación actual es por limpieza de extractores, sin embargo, con el sistema de recuperación propuesto sólo se retirará el material en bolsas, lo cual implica menos tareas, riegos y recursos.
		Tiempo de tarea	Horas	48	3	45	La tarea de limpieza dura 48 horas, sin embargo, con el sistema propuesto el material se recuperará en sólo 3 horas.
	Metales recuperados	Material particulado recuperado	Kilogramos	9.214	10.60	1.386	De acuerdo a los antecedentes teóricos se determina que la recuperación se incrementará en un 15%.
		Oro recuperado	Onzas	90.05	113.62	14.82	Con la nueva cantidad de material particulado recuperada, se va a recuperar 14.82 onzas de oro más que antes del diseño.
		Plata recuperada	Onzas	130.60	164.77	21.49	Con la nueva cantidad de material particulado recuperada, se va a recuperar 21.49 onzas de plata más que antes del diseño.
Variable dependiente (y): impacto económico	Gastos por extracción	Costo de extracción	Dólares/limpieza	4,000.00	200	3,800	Por cada limpieza se gasta 4,000 dólares y con el sistema propuesto sólo se gastará 200 dólares, es decir se van a ahorrar 3,800 dólares.
	Utilidad	Ganancias aprovechadas	Dólares	157,698.16	198,974.41	41,276.25	Con el sistema propuesto las ganancias aprovechadas se van a incrementar en 41,276.25 dólares (en 9 meses de estudio).

3.4. Resultados de la evaluación económica de la viabilidad del sistema de recuperación de material particulado

3.4.1. Inversión

a. Compra de equipos

El costo total de los equipos asciende 56,910.00 dólares (ver ítem i del 3.3.1).

b. Costos de instalación

La instalación de estos equipos. La realizará la empresa contratista LATINC S.A.C.



- RUC: 20605722416
- Razón Social: LATIN INDUSTRIAL & COMERCIAL S.A.C. LATINC S.A.C.
- Tipo Empresa: Sociedad Anónima Cerrada
- Condición: Activo

El costo de instalación del sistema de recuperación asciende a 35,000.00 dólares.

3.4.2. Flujos salientes

a. Consumo de energía eléctrica

Se realizó la consulta a la empresa Soluciones Técnicas Industriales S.A.C., la cual le da el mantenimiento eléctrico a los equipos de fundición, y se determinó que el sistema de recuperación de material particulado gastaría 200 dólares mensuales, con el funcionamiento de 4 horas del motor. Lo cual asciende a un costo anual de 2,400 dólares.

b. Mantenimiento del sistema de recuperación

Se contratará a una empresa especializada para realizar el mantenimiento del sistema de recuperación, la cual especifica los siguientes gastos.

Tabla 22

Costos de mantenimiento del sistema de recuperación.

Descripción	Cantidad	Costo en dólares
Contratación de supervisor	1	1,500.00
Prevencionista	1	1,200.00
Técnicos mecánicos	2	500.00
Gastos en desgastables	-	500.00
Costo por utilización de equipos	-	1,000.00
Otros gastos de la empresa contratista	-	500.00
Costo parcial		5,200.00
IGV		936.00
Costo mensual de mantenimiento del sistema		6,136.00

Fuente: Elaboración propia, (2020).

De acuerdo a la tabla anterior, se determina un costo anual de 73,632.00 dólares.

3.4.3. Flujos entrantes

- Recuperación mensual de oro: 10 onzas, considerando el precio de la onza a 1,725.95, se ganaría 17,259.50 dólares mensuales, lo cual asciende a 207,114.00 dólares anuales.
- Recuperación mensual de plata: 14.51 onzas considerando el precio de la onza a 17.43, se ganaría 252.91 dólares, lo cual asciende a 3,034.92 dólares anuales.

3.4.4. Flujo de caja

Tabla 23

Flujo de caja del sistema de recuperación de material particulado.

FLUJO DE CAJA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	TOTAL
EGRESOS TOTAL							
Compra de equipos del sistema de recuperación de material particulado	\$ 56,910.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 56,910.00
Instalación del sistema de recuperación de material particulado	\$ 35,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 35,000.00
Consumo de energía eléctrica	\$ -	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 12,000.00
Costo de mantenimiento del sistema de recuperación	\$ -	\$ 73,632.00	\$ 73,632.00	\$ 73,632.00	\$ 73,632.00	\$ 73,632.00	\$ 368,160.00
TOTAL EGRESOS	\$ 91,910.00	\$ 76,032.00	\$ 76,032.00	\$ 76,032.00	\$ 76,032.00	\$ 76,032.00	\$ 472,070.00
FLUJO ENTRANTE							
Recuperación de oro	\$ -	\$ 207,114.00	\$ 207,114.00	\$ 207,114.00	\$ 207,114.00	\$ 207,114.00	\$ 1,035,570.00
Recuperación de plata	\$ -	\$ 3,034.92	\$ 3,034.92	\$ 3,034.92	\$ 3,034.92	\$ 3,034.92	\$ 15,174.60
TOTAL BENEFICIOS	\$ -	\$ 210,148.92	\$ 210,148.92	\$ 210,148.92	\$ 210,148.92	\$ 210,148.92	\$ 1,050,744.60
FLUJO ANUAL DE CAJA	\$ -91,910.00	\$ 134,116.92	\$ 134,116.92	\$ 134,116.92	\$ 134,116.92	\$ 134,116.92	\$ 578,674.60
TMAR	15%						
TIR	144%						
VAN	\$ 699,757.72						
B/C	1.30						

Fuente: Elaboración propia, (2020).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La problemática de esta investigación se centra en la pérdida de material particulado valioso en oro y plata ya sea en el aire o porque se impregnan en los techos y equipos de la planta de fundición a pesar de contar con un sistema de extracción de partículas, la misma problemática se presenta en el estudio de Cortés y Bhole (2010) que está perdiendo material valioso en Fierro, pero a comparación de esta tesis, sus pérdidas económicas son menores ya que el Fierro cuesta menos que el oro y la plata.

En esta tesis se diseñó un sistema de recuperación compuesta por un colector de polvos Pulse Jet con el que se recupera un 70% de material particulado, sin embargo, Guamanquispe (2013), en su estudio propone un sistema de extracción formada por una campana extractora, tuberías, codos, un sistema de regulación, un ventilador centrífugo, y filtros de mangas, con este diseño recuperó el 60% de material particulado valioso. La comparación entre este estudio y el antecedente radica en la eficiencia para recuperar material valioso, el propuesto en esta tesis es superior en un 10%.

Este estudio propone ubicar el colector de polvos encima de los hornos, no en los costados para evitar que se pierda al disiparse. Anteriormente en la misma empresa Condori y Pimentel (2013), instalaron un sistema de recuperación de partículas dentro del horno de fundición con ello se logró recuperar este material valioso que se está perdiendo, al volverlos a procesar se obtuvo precipitados de oro y plata; la

diferencia con este estudio radica en la recuperación de acuerdo a la ubicación, que en este estudio es mayor a la del antecedente.

4.2. Conclusiones

- La planta de fundición en estudio, se procesa el polvo de Zinc en un horno de arco eléctrico a 1 200° C para obtener el Doré, que es una barra hecha de una mezcla de oro y plata. En dicha planta se encontró como problema principal la pérdida de material particulado con alta concentración de oro y plata, y tiene como causas principales la falta de un sistema de recuperación de material particulado, extracción de aire con material particulado sin filtrar, dependencia de un solo equipo de absorción, equipos de absorción insuficientes, presencia de gases tóxicos. El diagnóstico en el área de fundición evidencia que en 9 meses se ha perdido 9.214 Kg de material particulado con altas concentraciones de oro y plata.
- En los 9 meses de estudio se llegó a recuperar 90.05 onzas de oro y 130.60 onzas de plata, considerando que el precio de la onza actual es de 1,725.95 dólares y la onza de plata 17.43 dólares, la empresa percibió 157,698.16 dólares, desde julio del 2019 hasta marzo del 2020 sólo con limpieza de extractores.
- El diseño del sistema de recuperación de material particulado mediante el modelo inyección – extracción, es un sistema integral que comprende los siguientes componentes: un filtro mangas tipo Pulse-jet, filtro de carbón activado y ventilador centrífugo.
- En la implementación del diseño del sistema de recuperación de material particulado es necesario anular 2 equipos de extracción de techo y reemplazarlos

por la campana superior, el cual extrae un caudal aproximado de 13800 CFM, la fase de planeación se realizó al 100% y su ejecución sólo se realizó al 40%.

- La implementación del diseño del sistema de recuperación de material particulado mediante el modelo inyección – extracción es viable ya que se determinó TIR 144%, VAN 699,757.72 dólares y la relación B/C 1.30. es decir, la inversión va a ser recuperada en menos de 1 año; por lo tanto la hipótesis queda aprobada.

REFERENCIAS

- Acevedo, A., & Linares, M. (2013). El enfoque y rol del ingeniero industrial para la gestión y decisión en el mundo de las organizaciones. (*artículo científico*). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81624969002.pdf>
- Bonilla, E. (2015). La gestión de la calidad y su relación con los costos de desechos y desperdicios en las mypes de la confección textil. (*artículo científico*). Lima, Perú: Universidad de Lima. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337443.pdf>
- Cárdenas, M., Niño, L., Peña, A., & Sepúlveda, N. (2013). Modelos de optimización para la minimización de desperdicios industriales. (*artículo científico*). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es>
- Echevarría, M. (2013). Diseño de un colector de polvo de mineral de cobre con capacidad de 24 m³/s. (*tesis de pregrado*). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_064b8b43ab2e84bfb1b95d47a206762
- Egas, D. (2017). Proyecto de disminución de desperdicios. (*tesis de pregrado*). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital de José de Caldas. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6494/1>
- Fernández, E. (2013). Mejoras en la Eficiencia de los Colectores de Polvo Tipo Jet Pulse y Precipitador Electrostático. (*tesis de pregrado*). Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle.pdf?sequence=1>

- Figueredo, F. (2015). Aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso de producción de concreto. (*artículo científico*). Carabobo, Venezuela: Universidad de Carabobo. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2150/215047546002.pdf>
- Florero, Y., & Giraldo, J. (2016). Simulación de un Proceso de Fabricación de Bicicletas. (*artículo científico*). La Serena, Chile: Centro de Información Tecnológica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3735/373546080006.pdf>
- Gacharna, V., & Gonzáles, D. (2013). Propuesta de mejora del sistema productivo. (*artículo científico*). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/6330>
- Gómez, E. (2016). Conversión de un Precipitador Electrostático a Filtro de Mangas (Pulse-Jet) en la Planta de Molienda de Carbón en la Cementera Unacem - Atocongo. (*Tesis de pregrado*). Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/192/6/0910657.pdf>
- Guaita, W. (2013). Desarrollo de un modelo de simulación. (*artículo científico*). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/5874/1/WILFREDO_GUAITA.pdf
- Guamanquispe, L. (2013). Diseño de un sistema de extracción de humos y polvos secundarios para el proceso de producción de acero mediante horno de arco eléctrico. (*Tesis de pregrado*). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1605/1/0.pdf>
- Henriquez, D., & Linfa, R. (2014). Diseño de mejoras para el proceso de producción. (*tesis de pregrado*). Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello. Obtenido de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve>

- Ibarra, V., & Ballesteros, L. (2015). Manufactura Esbelta. (*artículo científico*). D.F., México: Instituto Tecnológico de Piedras Negras. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94453640004/index.html>
- Leal, N. (2014). Modelo de planificación de producción. (*tesis de maestría*). Concepción, Argentina: Universidad de Concepción. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl>
- Mejía, H., & Galofre, M. (2013). Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos. (*artículo científico*). Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma del Caribe. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250974007.pdf>
- Monge, H., Reyes, J., & Rodríguez, J. (2013). Diseño de un programa de reducción de desperdicios. (*tesis de pregrado*). San Salvador: Universidad de El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv>
- Pérez, I., Marmolejo, N., Mejía, A., Caro, M., & Rojas, J. (s.f.). Mejoramiento mediante herramientas de la manufactura esbelta, en una Empresa de confecciones. (*artículo científico*). La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3604/360443665003.pdf>
- Sarria, M., Fonseca, G., & Bocanegra, C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. (*artículo científico*). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/204/html/index.html>
- Vargas, J., Muratalla, G., & Jiménez, M. (2016). Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción? (*artículo científico*). Carabobo, Venezuela: Universidad de Carabobo. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2150/2151.pdf>

Vidal, S. (2013). Estrategia logística del justo a tiempo para crear ventajas competitivas en las organizaciones. (*artículo científico*). Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma del Caribe. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251109013.pdf>

Zapata, A., & Lizardi, L. (2013). Reducción de operación. (*artículo científico*). D.F, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/8571/1/REDUCCION%20DE%20OPERACIONES.pdf>

ANEXOS

Anexo n.º 1. Guía de Entrevista

Se aplicó la guía de entrevista para diagnosticar la situación actual del proceso de fundición, se realizó al supervisor de la planta de fundición.

1. ¿Cuáles es la secuencia del proceso de fundición?
2. ¿Qué equipos utiliza la empresa para el proceso de fundición?
3. ¿Cuáles son las características del material particulado que se pierde en función?
4. ¿Cuáles son las características de los equipos de fundición?
5. ¿Qué cantidad de material particulado de fundición se ha recuperado desde julio del 2019 a marzo del 2019?
6. ¿Cuál es la cantidad recuperada esperada de material particulado establecido por la empresa?
7. ¿Cuál es el histórico de leyes de oro y plata desde julio del 2019 a marzo del 2020?
8. ¿Cuál es la frecuencia de muestreo de leyes de oro y plata desde julio del 2019 a marzo del 2020?
9. ¿Cuáles son los impactos que genera la pérdida de material particulado con altas concentraciones de oro y plata?
10. ¿Qué mejoras propone para recuperar el material particulado con altas concentraciones de oro y plata perdido en fundición?

Anexo n.º 2. Fotografías

Figura 41

Filtros de las mangas colector de polvos.



Figura 42

Trabajos en la planta de fundición.

