



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERIA DE PROCESOS
PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE
CALCINACIÓN DE UNA EMPRESA MINERA DE LA REGIÓN
LA LIBERTAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Jose Fernando Chavez Gurbillon

Evelin Danitza Peregrino Chilon

Asesor:

Mg. Ing. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A nuestros padres

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, a nuestros padres, y a nuestros docentes de la carrera de ingeniería industrial.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	10
1.3. Objetivos.....	10
1.4. Hipótesis	11
1.5. Operacionalización de variables	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	12
2.1. Tipo de investigación	12
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	13
2.3. Procedimiento.....	20
CAPÍTULO III. RESULTADOS	23
3.1. Identificar la situación actual de la planta de calcinación, del Consorcio Minero Horizonte S.A.	23
3.2. Diseño la metodología 5S en la planta de calcinación de la empresa Consorcio Minero Horizonte .	34
3.3. Determinar la reducción de los desperdicios al implementar la metodología 5S.....	62
3.4. Evaluar la viabilidad económica de la implementación de la propuesta de mejora en el proceso de producción de óxido de calcio China Linda.....	64
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	67
4.1 Discusión	67
4.2 Conclusiones.....	68
REFERENCIAS	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	21
Tabla 2 Técnicas e instrumentos de investigación.	13
Tabla 3 Lista de verificación de técnicas e instrumentos.	14
Tabla 4 Determinación de ocurrencia de problemas en la planta.....	15
Tabla 9 Comparativo de tiempos de las actividades antes y después de la mejora.	20
Tabla 10 Medición de indicadores.....	32
Tabla 11 Listado de artículos en zona roja.	37
Tabla 12 Gastos de implementación de 5S.....	41
Tabla 13 Especificaciones de la campana.	43
Tabla 14 Descripción del filtro de mangas.....	45
Tabla 15 Descripción del lavador de gases.	47
Tabla 16 Descripción del ventilador centrífugo.	48
Tabla 17 Descripción de los filtros.....	50
Tabla 18 Comparación de los tiempos de mantenimiento antes y después de lean service.....	63
Tabla 19 Gasto anual de Mantenimiento en chancado.....	64
Tabla 20 Gasto anual en línea de carga de caliza.	65
Tabla 21 Gastos de Mantenimiento en hornos de calcinación.	66

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama explicativo utilizado.	12
Figura 2. Esquema del diagrama Pareto.	15
Figura 6: Flujograma de la implementación de 5S.	19
Figura 7: Diagrama de Ishikawa.	23
Figura 8: Diagrama de Pareto.	24
Figura 9: Flujo del proceso de calcinación.	27
Figura 10: Plancha destrozada por polea motriz.	30
Figura 11: Caída de rocas en las fajas.	31
Figura 12: Programa de actividades para la implementación de las 5S	35
Figura 13: Equipos de monitoreos mal ubicados.	36
Figura 14: Zona roja en planta.	37
Figura 15: Ficha para zona roja.	38
Figura 16: Artículos codificados y ordenados.	38
Figura 17: Formato de auditoría 5S.	40
Figura 18: Recomendaciones AMCA para conexión de tuberías.	43
Figura 19: Filtración con carbón activado.	49
Figura 20: Esquema de conexión arranque estrella triángulo.	51
Figura 21: Diferencia entre rieles de tren y vigas trapezoidales en la parrilla.	52
Figura 22: Parrillas en chancado.	53
Figura 23: Plancha bajo polea motriz de Apron Feeder.	53
Figura 25: Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 02.	58
Figura 26: Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 03.	58
Figura 27: Fajas transportadoras sin guarderas ni guidores.	59
Figura 28: Esquema en la zona de fundición para captar material valioso.	60
Figura 29: Extractor de 30 Hp en Consorcio Minero Horizonte.	60
Figura 30: Colector de polvos en Consorcio Minero Horizonte	61

RESUMEN

El objetivo de la tesis es la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño de la planta de calcinación en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad. Primero se diagnosticó el estado actual. El diagnóstico evidencia que la generación de PM2.5 afecta a la eficiencia de los equipos, el tiempo de producción actual es de 16 horas cuando debería ser 20 horas, producción se encuentra por debajo de lo establecido y mensualmente se genera 347 kg de PM2.5. El diseño del sistema de recuperación de material particulado consiste en un extractor (9000 cfm), un colector de polvos de planta PL que esta fuera de servicio y fue usado para el molino de bolas de la refinería de PL, y se instalará un par de campanas colectoras que irán al nuevo colector de polvos. Además, se diseñó la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño para mejorar la limpieza de la planta. Las actividades operativas de producción de cal no se han realizado reducción de tiempos, sin embargo, se ha reducido las demoras, es decir las actividades que no aportan valor agregado a la empresa, en dichas demoras se redujeron 871 minutos. Con este diseño, la productividad ha incrementado de 65 toneladas al día a 83. Esta implementación es viable ya que se determinó un ahorro de 27075 soles en el mantenimiento de chancado y de 11800 soles en el carguío de caliza. La generación de PM2.5 se redujo de 347 Kg a 124 Kg.

Palabras clave: Implementación, PM2.5, desperdicios, calcinación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las plantas de calcinación se realizan procesos para calcinar carbonatos de calcio o magnesio en un horno en donde se libera dióxido de carbono para obtener óxido de calcio ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) (Villegas, 2013).

La extracción y tratamiento de minerales en plantas de calcinación producen emisiones significativas como resultado de actividades, como emisiones de polvo fugitivo no controladas que pueden producir impactos sobre el medio ambiente, la salud, la seguridad y productividad de una mina; cuestiones que afectan tanto al personal que trabaja en el sitio como a la comunidad en general (Paez et al., 2017).

Alrededor del mundo, muchas plantas de calcinación presentan problemas como: desconocimiento de las ubicaciones, falta de disposición de espacio, mala distribución de los materiales, falta de trazabilidad interna y externa, errores de los Picking, deficiencia en la disponibilidad y fiabilidad de la información a tiempo real, aprovisionamientos deficientes, materiales obsoletos considerados dentro de los inventarios y falta de integración entre los diferentes procesos logísticos (Cardona y Serrano, 2014).

Ante esta problemática, diversas empresas que cuentan con plantas de procesamiento mineral buscan técnicas de mejora en la calidad y productividad con el objetivo de permanecer en el mercado. Sin embargo, Ortíz (2017) indica que antes de iniciar un proceso de mejora, es necesario comenzar con cambios de hábitos, métodos y enfoque

que fortalezcan la disciplina, el orden y la cooperación entre todos los miembros de una empresa; que se logra implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

Del análisis teórico, Flores *et al*, 2015, deduce que existen varias metodologías enfocadas a la mejora continua los procesos dentro de las empresas, una de ellas es la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, la cual permite mantener el ambiente de trabajo de manera organizada, limpia y sobre todo segura (Poma, 2017).

Tal es el caso de la investigación de Zapata y Buitrago (2014) resalta la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño., con lo cual mejoró las condiciones de trabajo logrando un área de trabajo cómoda, higiénica, segura y organizada, así como también se tiene la necesidad de mejorar la imagen del área (p. 18).

Otra investigación resaltante es la de Ramírez (2014), quien implementó un plan de mejora basado en separar lo necesario de lo innecesario, ordenar el área de trabajo, limpiar de forma rutinaria, estandarizar y mantener equipos con el compromiso de todos; con ello creó un escenario limpio y ordenado.

En la planta de calcinación del Consorcio Minero Horizonte diariamente se produce 150 toneladas de óxido de calcio granulado (cal), lo cual genera partículas que afectan la salud de los trabajadores, gran cantidad de polvo en el área de trabajo, que afectan el funcionamiento adecuado de los equipos y la seguridad minera, estos problemas generan a su vez retrasos en el proceso considerados como desperdicios; es decir que cuando los equipos de calcinación fallan por acumulación de material particulado y para repararlos es necesario interrumpir el proceso de calcinación, estas paradas en tiempo son considerados desperdicios que abarcan demoras, movimientos

innecesarios, transporte innecesario y reprocesos; según los reportes del área de producción estos desperdicios generan retrasos de 32 horas mensuales que asciende a pérdidas económicas de 25 600 soles. Por tal razón, se pretende reducir al aplicar la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, tal como lo sugiere Piñero y Kaviria (2018). Además, se pretende implementar colectores de polvos para mejorar la eficiencia laboral y de equipos.

1.2. Formulación del problema

¿La implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño. Influye en la reducción de desperdicios en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño. Para reducir los desperdicios en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los niveles de cumplimiento para la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño. En la situación actual, así como los desperdicios de la producción en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad.
- implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad
- Determinar el nivel de implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, así como la reducción de los desperdicios, luego de aplicar la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el

desempeño en la planta de calcinación de una empresa minera de la región

La Libertad

- Analizar la viabilidad económica de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño. en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

1.4. Hipótesis

La implementación reducirá los desperdicios en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad.

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 como lo es la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

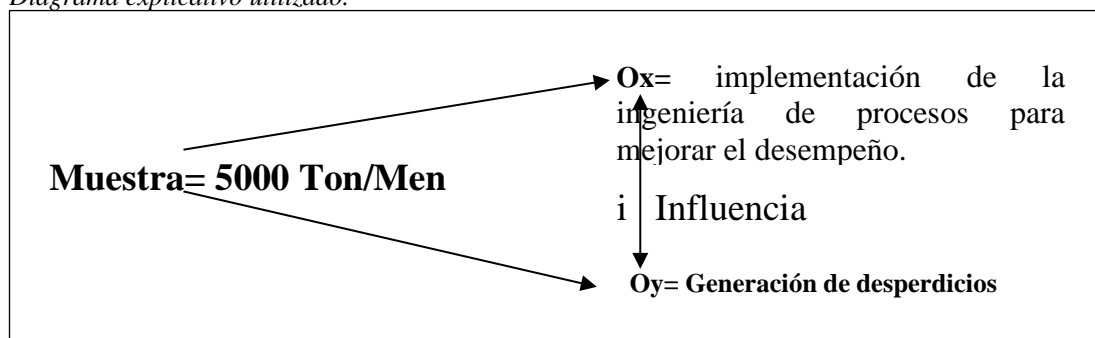
Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se estudió las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño y la generación de desperdicios.

Según la naturaleza de sus datos: La investigación es cuantitativa, ya que se va a medir los tiempos generados en los desperdicios.

Según su manipulación de la variable: La investigación es pre experimental, ya que se pretende manipular la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño para reducir la generación de desperdicios, pero su control de variable es mínimo.

Figura 1

Diagrama explicativo utilizado.



Fuente: Hernández *et al.*, (2014).

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

- Plantilla de observación continúa.
- Organigramas.
- Tarjetas verdes y tarjetas rojas para equipos de la planta de calcinación.
- Formatos de productividad.
- Formatos de inspección del proceso de calcinación.
- Reportes de tiempos de desperdicios.
- Check list de los equipos.
- EPP

2.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En la tabla 1, se detallaron los instrumentos, técnicas e indicadores relacionados a los objetivos específicos.

Tabla 1
Técnicas e instrumentos de investigación.

Objetivo específico	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
Identificar la situación actual de la generación de desperdicios en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad	Revisión documental	Ficha resumen: estado actual de los desperdicios.	(Bances, 2017)
	Entrevista	Guía de entrevista: aplicado al personal implicado.	(Gómez, 2017)
	Observación	Guía de observación: del proceso	(Camacho, 2016)

Diseñar la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

Revisión documental

Ficha resumen: estado actual de los indicadores mediante reportes. (González, 2016)

Determinar la reducción de los desperdicios al implementar la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

Revisión documental

Ficha resumen: estado mejorado de los desperdicios. (Suárez, 2015)

Analizar la viabilidad económica de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

Revisión documental

Ficha resumen: evaluación económica de VAN, WACC y TIR. (Cruzado, 2016)

Para la puesta en marcha fue necesario realizar la lista de verificación de acceso a datos e información de una empresa minera de la región La Libertad (ver tabla 2).

Tabla 2
Lista de verificación de técnicas e instrumentos.

Preguntas Generales	Si / No	Acciones por tomar
¿Se cuenta con acceso a las áreas necesarias para obtener los datos de investigación?	Sí	-
¿Se tiene el permiso para aplicar la entrevista al jefe de área necesaria para esta investigación?	Sí	-
¿Se cuenta con el permiso para usar los datos?	Sí	-
¿Cuenta con el permiso para intercambiar conocimientos con el personal?	Sí	-

2.2.3. Método

Los métodos utilizados se elaboraron de acuerdo a los objetivos específicos:

a. Metodología para el diagnóstico de la situación actual de la generación de desperdicios en la planta de calcinación

- Diagrama de Pareto para problemas

Se identificaron los problemas que son más frecuentes en la planta de calcinación, éstos fueron reportados en la tabla 6.

Tabla 3

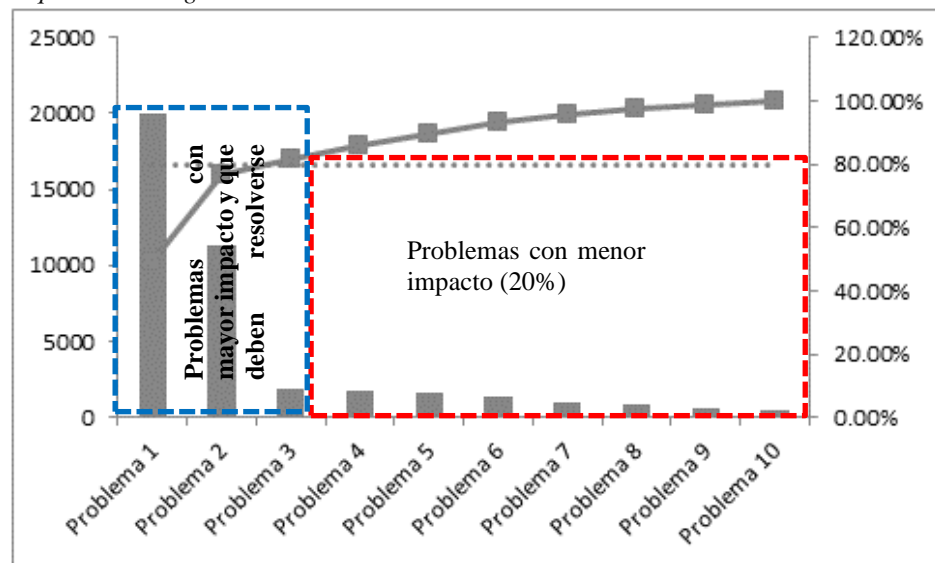
Determinación de ocurrencia de problemas en la planta.

Problemas identificados	Cantidad de ocurrencia	Porcentaje acumulado
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Total de problemas		100%

De la tabla 6, se tomaron los datos de problemas, la cantidad y el porcentaje acumulado, y con ellos se realizó el diagrama de Pareto. El eje Y, se dividió en Y1 donde se colocó la cantidad de ocurrencia de los problemas, en el Y2 se colocó el porcentaje acumulado, y en el Eje X, se describieron los problemas encontrados, y se obtuvo un diagrama como el representado en la figura 2.

Figura 2.

Esquema del diagrama Pareto.



Con el diagrama de Pareto se determinó cuáles fueron los problemas con mayor frecuencia en la planta de calcinación.

- **Mapeo de flujo de valor (VSM)**

Con los datos obtenidos en la determinación de desperdicios, los resultados de los indicadores y tomando en cuenta que la investigación está enfocada a la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, se utilizó la herramienta de diagnóstico VSM sugerido por Locher (2017).

Los pasos a seguir para elaborar la cadena de valor se detallan a continuación:

- Se vieron los procesos, como los tiempos de ciclo e indicadores entre procesos que se manejan.
- Se inició colocando al cliente en el icono en la parte superior derecha de una hoja en blanco, luego se colocó la demanda mensual de óxido de calcio.
- En la esquina superior izquierda se colocó el icono de los proveedores de materia prima, se representó también los iconos de transporte mensual de equipos.
- Se colocó los procesos por los cuales tiene que hasta calcinar la roca, se comenzó debajo de izquierda a derecha a dibujar recuadros con los nombres de los procesos y la cantidad de operadores.
- Bajo cada cuadro de proceso se dibujó la información necesaria para cumplir el propósito del VSM, puedes incluir Tiempo de Ciclo (C/T), tiempo de cambio, disponibilidad (Uptime), eficiencia, Primer Paso de

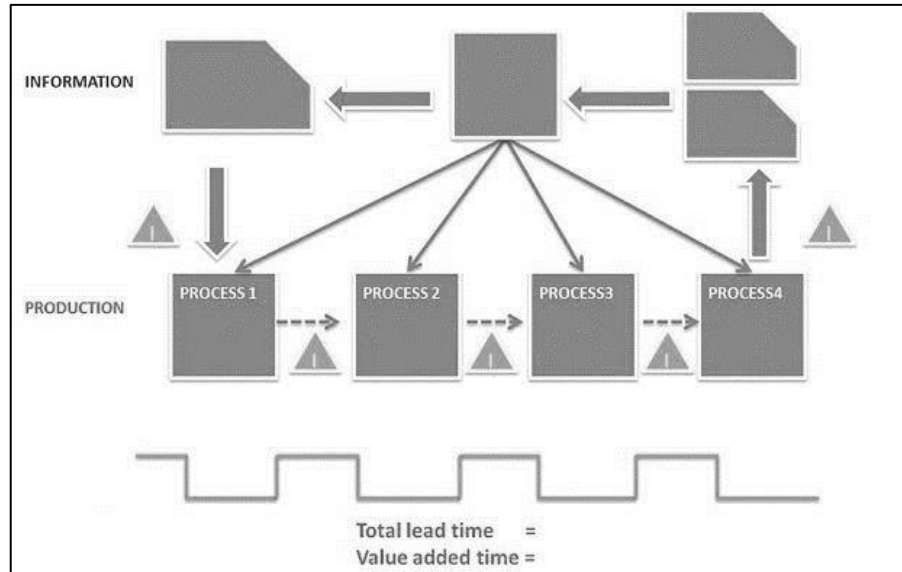
Rendimiento, etc, aquello que te ayude a tomar mejores decisiones y a definir kaizen en las áreas.

- Terminados los cuadros de información se colocó flechas se conectaron los procesos.
- Se colocó los símbolos de inventario (triángulos) entre los procesos que así lo han requerido, entre proveedor y proceso, entre fin de proceso y cliente si así se ha requerido.
- Se colocó la línea de lead time bajo el VSM, hacia arriba para inventarios y hacia abajo para procesos.
- Se colocó los tiempos de proceso en la línea para cada proceso.
- Se calculó los inventarios en unidades de tiempo utilizando la fórmula (piezas/ piezas capaces de procesar por el siguiente proceso en unidad de tiempo), y escríbelo en la línea correspondiente del lead time.
- Se realizó el sumatorio total de lead time sumando los inventarios más los tiempos de proceso y escribe el valor, coloca también el tiempo de proceso o de Valor Agregado.
- Se colocó las líneas de flujo de información según corresponda para complementar el VSM.

El VSM se representa en un esquema mostrado en la figura 3.

Figura 3

Esquema del VSM actual.



- **Diagrama de Ishikawa**

De los problemas con mayor frecuencia identificados con el diagrama de Pareto, se prosiguió con la identificación de las causas que originan dichos problemas mediante el diagrama de Ishikawa que es una representación gráfica en la cual se visualizan las causas. El diagrama utilizado tiene 6 ramas las cuales se muestran en la figura 4.

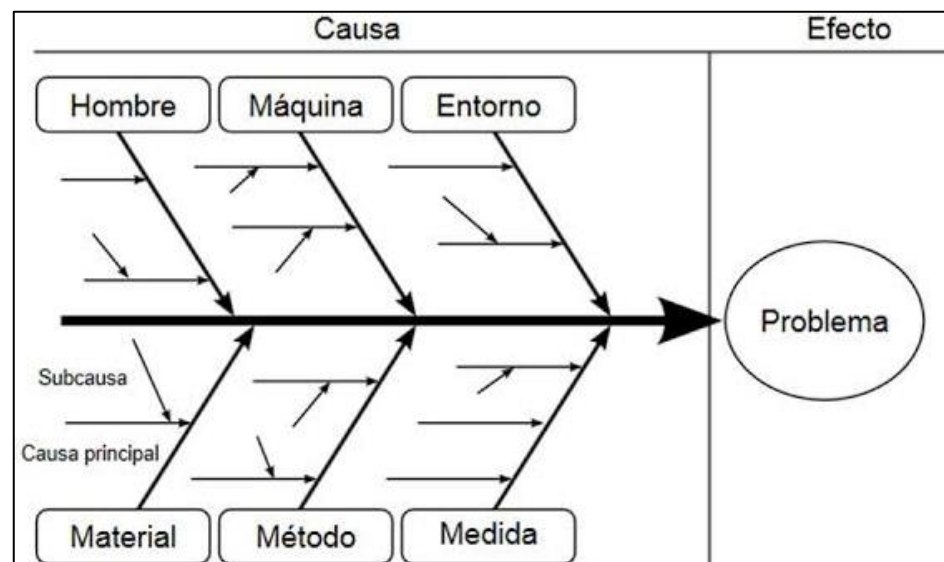


Figura 3. Esquema del diagrama de Ishikawa.

Identificadas las causas, mediante la cantidad de ocurrencia, se separó las más frecuentes.

b. Metodología para el diseño de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

Para definir el VSM futuro se priorizaron las mejoras a implementar, para lo cual se tuvo en cuenta la tabla de desperdicios con los objetivos a tomar.

Para implementar esta herramienta se va a seguir el siguiente flujograma:

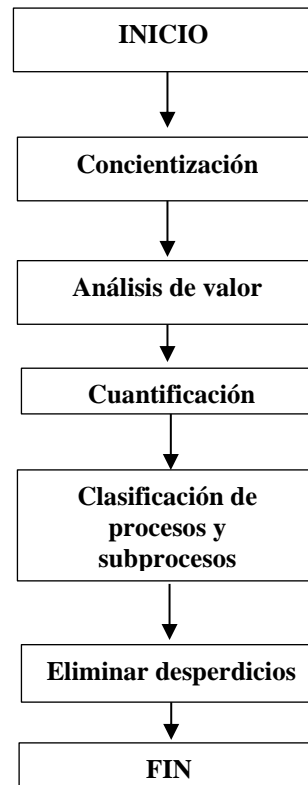


Figura 5: Flujograma de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

c. Metodología para el análisis del efecto de la implementación de Lean Service

El análisis del efecto se determinó con la elaboración del VSM mejorado, utilizando el esquema de la figura 3, con sus respectivos tiempos de procesos.

La mejora se evaluó en función de los efectos en el tiempo que se les dedica a las actividades de calcinación; lo cual se evidencia al comparar los tiempos de las actividades en la planta de calcinación antes y después de la

implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño., tal como se muestra en la tabla 11.

Tabla 4
Comparativo de tiempos de las actividades antes y después de la mejora.

Actividades	Tiempo antes de la mejora (min)	Tiempo después de la mejora (min)	Mejora en minutos reducidos

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Para esta investigación, se consideró como población a los procesos operativos de una empresa minera de la región La Libertad.

2.3.2 Muestra

Para esta investigación, se consideró como muestra a los procesos en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad.

2.4. Procedimiento

Para entrevista:

Preparación de la entrevista:

- Los investigadores definieron a quienes entrevistar tomando en cuenta su cargo, indicando sus funciones en la planta de calcinación, en este caso fue el supervisor de la planta.
- La entrevista se duró 20 minutos.
- El lugar donde se realizó la entrevista fue en la oficina del supervisor de guardia de la planta de calcinación.

Secuencia de la entrevista

- Elaboración: se diseñaron las preguntas que se realizaron.
- Documentación: se escribieron los resultados.
- Verificación: se indicó al entrevistado las respuestas que nos dio.
- Documentación: se archivaron los resultados de las entrevistas para su análisis posterior.

Para análisis de documentos

Objetivo:

Se elaboró un proceso de interpretación y análisis de la información de los estudios para luego sintetizarlo.

Procedimiento:

- Se preparó el análisis de documentos.
- Se seleccionó partes del documento para representar el contenido.
- Se analizó los contenidos de los documentos.
- Se ordenó o dispuso el contenido.

Secuencia del análisis de documentos

- Se estudió la información que se va a tomar.
- Se interpretó a detalle para dar elaborar la tesis.
- Se transformó el análisis teórico en la tesis.

2.4 Operacionalización de variables

Tabla 5
Operacionalización de variables.

Variab les	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Implementación	Serie de actividades que se desarrollan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada,	Seleccionar	% de cumplimiento de cada S
		Ordenar	
		Limpiar	

	ordenada y limpia (Benitez, 2014).	Estandarizar	
		Mantener	
Variable Desperdicios	Tiempos o actividades que no aportan valor a un producto final o servicio establecido por los proveedores a un consumidor o cliente (Carrasco, 2017).	Lead time	Minutos de Lead Time
		Process time	Minutos de tiempo de procesamiento
		Value Adding	Minutos de valor agregado

2.5 Aspectos Éticos:

Para la elaboración de esta investigación, se ha respetado y se va a considerar los derechos de autores haciendo referencia a cada uno de ellos, ya que ha sido redactado según normas APA. Las coherencias de los estudios realizados son confiables por lo que resaltamos que la ética profesional debe ser uno de los principales valores que deben caracterizar a un profesional, a lo largo de la carrera.

El consentimiento informado: por parte de los individuos de la muestra, se formaliza el consentimiento para la investigación durante el desarrollo del proceso, ya que nos facilitó información y autorización para el progreso de la indagación por parte de la empresa y concretizar el estudio de investigación y obtener una correcta información.

La confidencialidad: se refiere al anonimato en la identidad de las personas involucradas en el estudio, así mismo mantener de manera anónima los datos brindados por las personas.

Manejo de riesgos: en ese punto se refiere a sostener a los elementos de las pruebas en ambientes protegidos para que no sufran alteraciones y riesgos en la investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Diagnostico situacional de los procesos en la planta de calcinación de una empresa minera de la región La Libertad

En la planta de calcinación se observó el alto grado de generación de partículas PM2.5, las cuales afectan no sólo a la salud de los trabajadores sino también al funcionamiento de los equipos de esta planta.

De acuerdo a la problemática de desarrollo el diagrama Ishikawa mostrado en la figura 4.

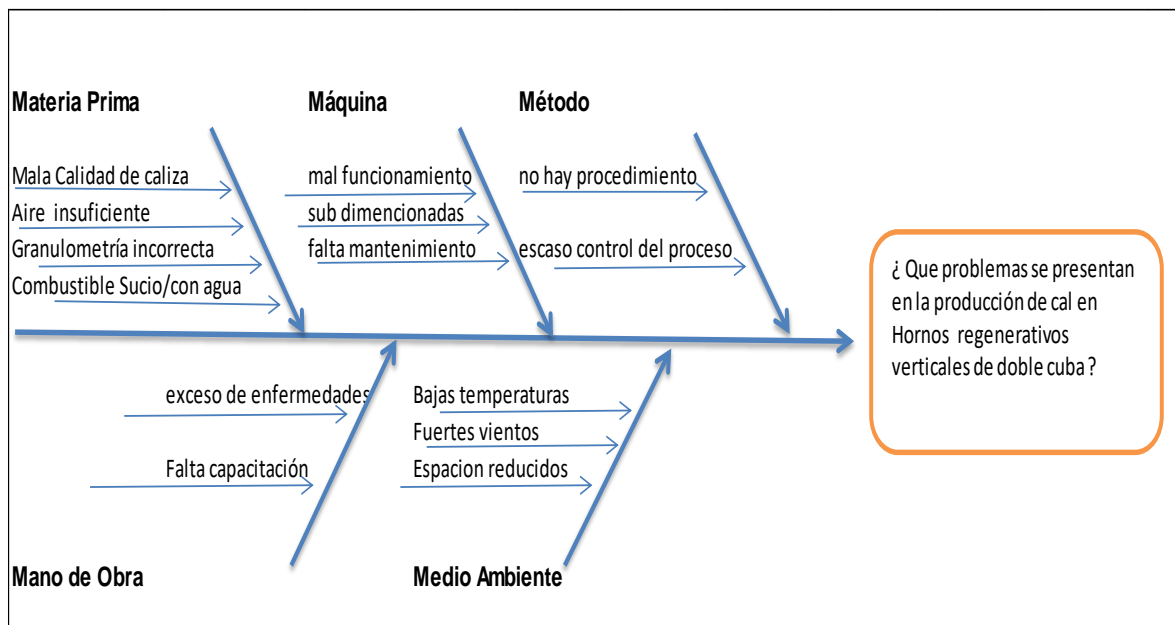


Figura 6: Diagrama de Ishikawa.

En la figura 4, se muestra a los problemas, los cuales son mala calidad de la roca caliza, aire insuficiente que origina la acumulación de partículas, la granulometría de la roca caliza no es la adecuada, a los equipos de la planta de calcinación les falta mantenimiento. Además, no existe un procedimiento ni control de procesos. Dentro de la mano de obra se evidencia que le falta capacitación al personal y los espacios reducidos y las bajas temperaturas son propicias para el incremento de partículas.

De acuerdo a la figura 6, se elaboró la figura 7, en donde se muestra que los problemas son mayormente relacionados primero en materia prima las leyes de caliza varían constantemente aún si es la misma formación geológica, la concentración es variada, otro problema es el combustible exceso de suciedad y agua en el combustible permiten atoros y desgaste de componentes al interior de las bombas de combustible, como consecuencia se deben limpiar los filtros y quemadores en forma más frecuente.

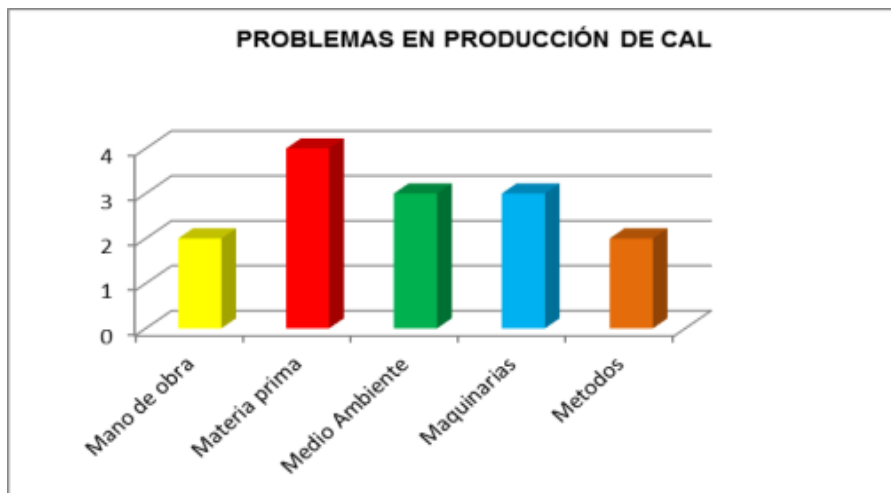


Figura 7: Diagrama de Pareto.

Los parámetros a considerar en la calcinación son:

– **Velocidad de la reacción**

Químicamente la velocidad de la reacción aumenta:

- Cuando aumenta la temperatura.
- Cuando es menor la presión al interior del horno.
- Cuando disminuye la concentración de CO₂ en el ambiente de reacción.

La velocidad de reacción es influenciada por los siguientes parámetros:

- Características físicas de la piedra.

- Calidad y cantidad de las impurezas.
- Tamaño de la caliza en reacción.
- **Temperatura de reacción**

Si mantenemos temperaturas mínimas de disociación anteriormente mencionadas, la velocidad de reacción sería muy baja y no llegaría a completarse la reacción. Al aumentar la temperatura, disminuye el tiempo de reacción. Pero, si nos excedemos en ello podemos alcanzar valores negativos de extra cocción.

El fenómeno de la extra cocción, ocurre cuando por la temperatura alta los cristales del óxido de calcio aumentan luego de haberse liberado el dióxido de carbono y se sinteriza. Se debe buscar la temperatura óptima en forma experimental para obtener la calcinación de calidad, normalmente varía entre 1.040 y 1.365 °C.

- **Presión del ambiente de reacción**

Cuando existe menor presión que la atmosférica al interior del horno la reacción de disociaciones más favorable.

- **Características físicas de la piedra**

Cada piedra caliza tiene características diferentes por lo que el quemado deberá realizarse en forma experimental hasta obtener el óptimo necesario. Como es de esperar la porosidad en la piedra caliza ayudará para obtener mejor cocción.

- **Impurezas**

La presencia de impurezas como sílice, alúmina y hierro, bajan la calidad del producto primero y luego como existen algunos que se convierten en volátiles a

menor temperatura y se condensan antes de salir ocasionan bloques y aglomeraciones al interior del horno.

– **Tamaño de la caliza**

Entre más grande es la caliza será necesaria mayor temperatura para que disocie completamente el CO₂, pero, igualmente si colocamos calizas de tamaños muy variados estos se colocan junta a las grandes provocando presión debido al poco espacio para la reacción y el paso libre de los aires al interior del horno. TWIN-D® / CIM-REVERSY Cimprogetti.

La relación combustible cantidad de caliza es importante primero porque si se aumenta para 23 kilos de caliza por un kilo de combustible ocasionará sobrequemado de cal, aumento de temperatura en zona de quemadores, en descarga de cal generando sobre calentamiento de equipos y sensores como fajas transportadoras, drawers o mesas de descarga de cal accionadas por pistones hidráulicos. En contraposición si se alimenta menor cantidad de combustible que la observada en la relación se produce cal cruda, genera gases e inquemados como monóxido de carbono, problemas en la zona de molienda de cal y sobre peso en volquetes y bombonas.

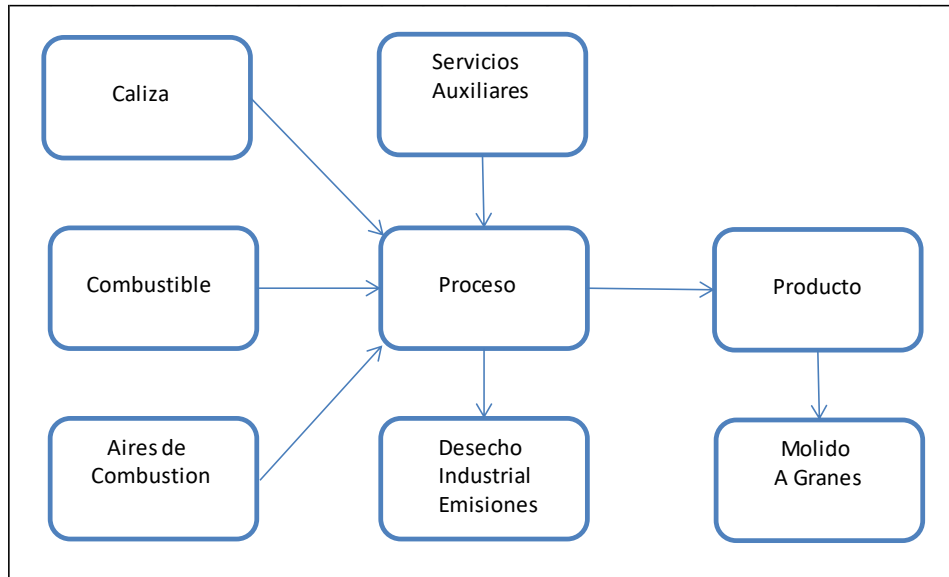


Figura 8. Flujo del proceso de calcinación.

En la figura 8 se muestra tres variables principales en la producción de óxido de calcio: caliza, combustible y aires de combustión contando con dos servicios auxiliares importantes como son el sistema hidráulico en todo el horno y el filtro de aire para evitar salida de polvo de cal al ambiente, el desecho industrial se mezcla con el producto grueso para su dosificación en el PAD. El requerimiento del cliente puede ser cal gruesa y fina procesada en dos molinos de martillos.

3.2. Resultados del diagnóstico de la Variable independiente: Implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

AUDITORÍA IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO.						
Área:	Realizado por:			Chávez-Peregrino		TOTAL
Fecha:	Puntuación			4	Máx. 5	
	Mín. 1	2	3			
Seiri – Separar						35%
Hay artículos que no pertenecen al almacén		X				
Hay artículos en mal estado			X			
Hay artículos en pasadizos	X					
Hay artículos sin ubicación	X					
Sub Total	2	2	3			
Seiton – Ordenar						40%
Hay artículos fuera de su ubicación		X				
Hay artículos sin codificar		X				
La mercadería está ordenada	X					
La documentación está ordenada			X			
Sub Total	1	4	3			
Seisu – Limpiar						50%
Pisos		X				
Estantería			X			
Mercadería		X				
Se cumplen fechas – horas			X			
Sub Total		4	6			
Seiketsu - Estandarizar						35%
Se respeta el mapa implementación		X				
Todos conocen el método de implementación	X					
Todos conocen los objetivos		X				
Documentos del método están actualizados		X				
Sub total	1	6				
Shitsuke – Disciplina						30%
Todos cumplen sus responsabilidades		X				
Se realizan las auditorías periódicamente		X				
Autodisciplina	X					
Compromiso	X					
Sub total	2	4				
Total Porcentaje de cumplimiento						38%

Figura 9. Auditoría de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño antes de la implementación.

3.3. Resultados de diagnóstico de variable dependiente: Desperdicios

Los problemas identificados se detallan a continuación:

3.3.1 Problemas de operación en el Apron Feeder

Los finos de la caliza se desplazan entre las bandejas y caen en la parte de la polea conducida ocasionando almacenamiento de arcillas, para evitar este problema se propuso colocar una pequeña faja transportadora bajo el Apron Feeder y evitar la limpieza obligada y diaria de estas arenas (ver figura 7).

La altura entre el piso y el Apron Feeder es muy reducida, lo que obstaculiza el montaje de la transportadora, se tendrá que levantar el Apron Feeder y luego reducir el chut de la tolva, Esto evidencia la importancia que tiene el diseño de ubicación y montaje de nuestras maquinarias y el valor que tiene la presente guía que les proporciona las experiencias no siempre gratas para que nuevos proyectos tengan presente todas las observaciones mecánicas y técnicas al momento del diseño y construcción de plantas.

La presencia de arcillas al contacto con las orugas produce un fenómeno de compactación ocasionando que la cadena salga del piñón motriz y parando la maquinaria debido al rozamiento entre las paredes de la tolva y las bandejas del Apron Feeder que crecieron a causa del descarrilamiento. Los dos reductores permiten al Apron Feeder generar un torque muy elevado, esto puede ocasionar la ruptura de los pernos por cizaña miento de las medias lunas del piñón motriz. Es recomendable la limpieza de las poleas del Apron Feeder con agua a presión luego de la jornada de trabajo o al cambio de guardia.

La presencia de una zaranda tipo Greezly es muy recomendable se ubique entre el Apron Feeder y la chancadora en el caso específico de calizas, debido a que su existencia permite que piedra menor a 4" pueda pasar directamente a la faja transportadora sin tener que ser chancada innecesariamente ocasionando fracturamiento de caliza que podríamos utilizar en el horno y elevando la eficiencia en su producción de materia prima.



Figura 10. Plancha destrozada por polea motriz.

3.3.2 Problemas con las fajas transportadoras

El área de chancado consta de un stock pile de gruesos y una parrilla de 12" x 12" x 15' x 15' de largo y ancho respectivamente, debajo de la parrilla existe una tolva de almacenamiento de 120 toneladas aproximadamente, un Apron Feeder o cinta metálica transportadora de 15' de largo transmiten esta carga hacia una chancadora de quijadas de 24" x 36" Jaw Master 1206.

La piedra caliza de 15" es reducida en la chancadora a 4", no hay que olvidar que la estructura de la caliza se presenta en forma lentejeada y no redonda o poligonal como se presenta mayormente en un mineral metálico, el producto de la chancadora es llevado mediante la faja transportadora 01 a una zaranda vibratoria

5' x 10' de tres pisos para su respectiva clasificación. El primer piso contiene dos mallas de 4"x4". Y retiene piedra caliza mayor a 4" la cual es recirculada por medio de la faja transportadora 02 a la chancadora de quijadas para su trituración. El segundo piso tiene dos mallas de 2" x 2" y el over es enviado mediante la faja transportadora 03 a un stock pile de caliza como materia prima para el Horno de calcinación 01, el pasante cae sobre las ultimas mallas. El tercer piso tiene 2 mallas de 1" x 1" e igualmente el over es llevado por la faja transportadora 07 hacia el stock pile del horno de calcinación 02 y el pasante menor a una pulgada a un depósito de material utilizado como ripio en las carreteras o rellenos de terrenos no uniformes.

En la sección chancado de Caliza existen 05 fajas transportadoras, llevando la mayor carga la faja 01 de 0.610 X 18 metros (24" x 54 pies). Dimensionada para 126 toneladas/hora. De caliza de 0 a 100 mm. (4"). Anteriormente se tenía un sistema de contención mediante faldones tradicionales, los cuales están ubicados al interior de la banda disminuyendo un espacio de 10 cms. Por lado aproximadamente, seguido del problema de suspensión de carga debido a la distancia entre polines (1.20 metros).



Figura 11. Caída de rocas en las fajas.

Los indicadores actuales se muestran en la tabla 6.

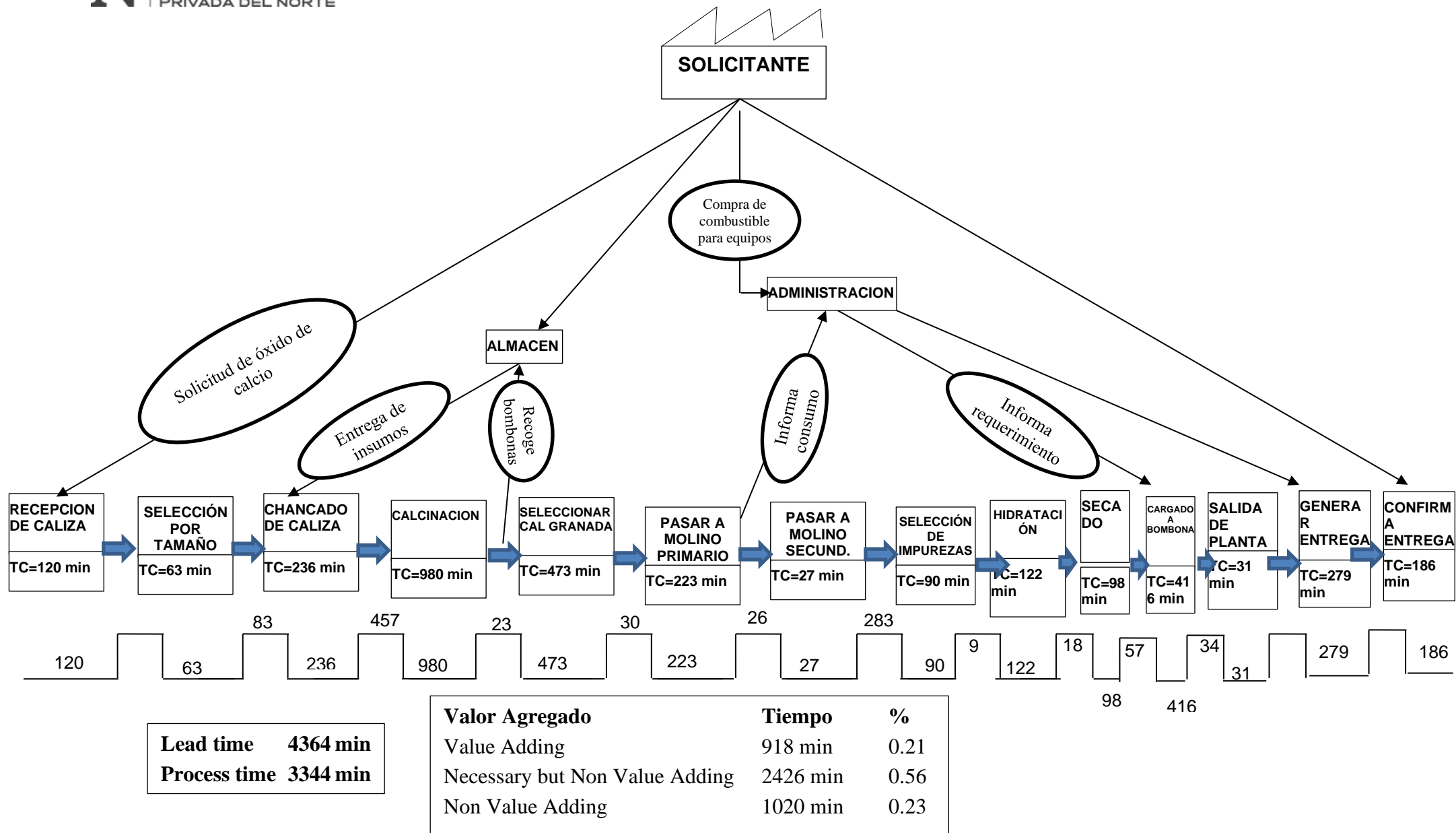
Tabla 6
Medición de indicadores

DIMENSIONES	INDICADORES	Antes de la mejora	Indicador establecido por la empresa
Análisis de tiempos	Tiempo de producción	16 horas diarias	24 horas diarias
	Tiempos muertos del proceso	7 horas diarias	0
	Producción por día	65 toneladas/diarias	100 toneladas/diarias
Reprocesos	% de reprocesos por área	18%	0
	% de reprocesos por tonelada de óxido de calcio	17%	0
Implementación	Niveles de órdenes		
Generación de PM2.5 mensual	Kg	347 Kg	5 Kg
Productividad	Toneladas/día	65 ton/día	100 ton/día

En la tabla 6, se evidencia los indicadores encontrados mediante los reportes, donde se evidencia que la generación de PM2.5 es alta, es por ello que se debe implementar mejoras para reducir este indicador.

3.3.3 Mapeo de flujo de valor (VSM)

Para realizar el mapeo de los procesos en estudio (Value Stream Mapping) se tuvo en cuenta que los procesos de chancado, selección, calcinación y empaque es por ello que se ha utilizado el modelo planteado por Rodríguez (2018). Respecto de los insumos son atendidos por el almacén y consumidos en las operaciones de producción.



3.4. Resultados de la implementación de la variable independiente: Implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

Las actividades a realizar para la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, se han distribuido en 13 semanas cronológicas que equivale a 3 meses y medio aproximadamente.

La primera semana contempla la sustentación y aprobación de la propuesta de implementar la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño, también contempla el periodo de formación del equipo de trabajo de la implementación y la puesta a punto del plan de trabajo contenido en el diagrama de GANTT de la propuesta. Esta primera semana es de vital importancia debido a que es el momento único y oportuno en el cual se fijarán los plazos definitivos y los presupuestos económicos, así como las jornadas laborales interrumpidas que demandarán las futuras actividades dedicadas exclusivamente a cumplir el programa en el tiempo previsto.

	Semana												
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Capacitación: Presentación de las 5S													
Gerencia													
Jefes y responsables													
Personal operativo													
Implementación: Seiri													
Almacén Chungar													
Almacén Parcoy													
Patio													
Implementación: Seiton													
Almacén Chungar													
Almacén Parcoy													
Patio													
Implementación: Seiso													
Almacén Chungar													
Almacén Parcoy													
Patio													
Implementación: Seiketsu													
Todos los almacenes.													
Implementación: Shitsuke													
Gerencia y equipo técnico.													

Leyenda de Semanas:

	Del	Al
Semana N° 24	12 Junio	18 Junio
Semana N° 25	19 Junio	25 Junio
Semana N° 26	26 Junio	2 Julio
Semana N° 27	3 Julio	9 Julio
Semana N° 28	10 Julio	16 Julio
Semana N° 29	17 Julio	23 Julio
Semana N° 30	24 Julio	30 Julio
Semana N° 31	31 Julio	6 Agosto
Semana N° 32	7 Agosto	13 Agosto
Semana N° 33	14 Agosto	20 Agosto
Semana N° 34	21 Agosto	27 Agosto
Semana N° 35	28 Agosto	3 Setiembre
Semana N° 36	4 Setiembre	10 Setiembre
Semana N° 37	11 Setiembre	17 Setiembre
Semana N° 38	18 Setiembre	24 Setiembre

Figura 12: Programa de actividades para la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

En la figura 12 se muestra las actividades de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño que se deben realizar para reducir la presencia de PM2.5, desde junio del 2019 hasta julio del 2019.

En la planta de calcinación, sólo el Jefe y asistente tienen conocimiento de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño. por experiencia laboral en empresas anteriores, la capacitación previa sobre el tema se centró en definir claramente los conceptos de cada una de las implementaciones y establecer conjuntamente los objetivos que se espera lograr con esta implementación, tales objetivos son:

- Conservar en la planta sólo aquellos artículos que sean necesarios para la realización de las tareas propias de la planta, en la cantidad correcta y el lugar preciso.
- Tener en la planta equipos en buen estado, debidamente ubicada, codificada y correctamente almacenada.
- Mantener la planta limpia y ordenada.
- Comprometerse con la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño y sobre todo con su mantenimiento a largo plazo.



Figura 13. Equipos de monitoreo mal ubicados.

Se procedió a separar dichos artículos en una zona roja (Figura 14) para listarlos (Tabla 10) y coordinar con cada responsable de área para tomar una decisión

respecto de dichos artículos. Se acordó que esta área debe de quedar limpia en un mes.



Figura 14. Zona roja en planta.

Tabla 7
Listado de artículos en zona roja

Ítem	Artículo	Cant.	Unid.	Responsable	Acción
1	Extintores	4	Und		Recargar
2	Letreros de seguridad	6	Und		Retirar
3	Bombillas de iluminación LED	13	Und		Descartar
4	Pinturas reflectivas	4	Baldes		Retirar
5	Chalecos	21	Und	Jefe de almacén	Ubicar en almacén
6	Cascos	15	Und		Ubicar en almacén
7	Zapatos de seguridad	6	Und		Ubicar en almacén
8	Arnés	3	Und		Ubicar en almacén
9	Señales de metal	4	Und		Descartar
10	Monitores	2	Und	Sistemas	Retirar
11	CPUs	2	Und		Retirar
12	Documentos	7	cajas	Contabilidad	Retirar

En la zona mostrada en la figura 10, se ubicarán: mercadería defectuosa para devolución, guardar artículos de manera provisional, artículos para consulta; los

cuales deberán estar debidamente identificados cada uno con la etiqueta mostrada en la figura 15:

FICHA PARA ZONA ROJA	
FECHA:
ARTÍCULO:
TRAIDO POR:
MOTIVO:
ACCIÓN:
RECIBIDO POR:

Figura 15. Ficha para zona roja.

Seiton - Ordenar:

En general la ubicación que tiene la mercadería es adecuada según el principio de familias de producto, frecuencia de uso, ergonomía, menor distancia de recorrido, pero es necesario poner énfasis en:

Codificar los artículos inmediatamente fueron recibidos.

Guardar la mercadería, inmediatamente es codificada, en la ubicación que le corresponde.



Figura 16. Artículos codificados y ordenados.

Seiso – Limpiar

Se definió dos tipos de limpieza:

Limpieza diaria, para la cual se ha cambiado el tacho de basura a uno más grande, consta del ordenamiento del área de trabajo y recojo del material de embalaje desechado, paños usados, plásticos, etc. Debe ser realizado por el asistente al término de la labor diaria.

Por su parte el jefe de almacén tendrá que dejar ordenada toda la documentación procesada en el día como ordenes, guías de remisión, antes de retirarse.

Limpieza mensual, será realizada por el asistente y jefe del almacén en conjunto, consta del ordenamiento general de la mercadería como llantas, cámaras, protectores, aros, plomos, etc. cada quincena de mes, esto con la finalidad de:

Que el almacén se encuentre ordenado, limpio y la mercadería codificada para inventariar mensualmente, lo que contribuye a que éste sea rápido y preciso.

Se haga espacio para la recepción de nueva mercadería que empieza a llegar a partir de la quincena hasta fin de mes.

Se verifique si hay mercadería dañada, baja en stock o sobre stock y se informe a la administradora.

Seiketsu – Estandarizar:

Se creó el documento para la realización de auditorías que midan el mantenimiento de implementación, cuyos resultados deben ser publicados. En caso la puntuación obtenida sea menor al 70% se deberá programar una revisión y/o capacitación (ver figura 17).

AUDITORÍA IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROCESOS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO.						
Área:	Realizado por:					TOTAL
Fecha:	Puntuación					
	Mín. 1	2	3	4	Máx. 5	
Seiri – Separar						90%
Hay artículos que no pertenecen al almacén				X		
Hay artículos en mal estado				X		
Hay artículos en pasadizos					X	
Hay artículos sin ubicación					X	
Sub Total				8	10	
Seiton – Ordenar						90%
Hay artículos fuera de su ubicación				X		
Hay artículos sin codificar					X	
La mercadería está ordenada				X		
La documentación está ordenada					X	
Sub Total				8	10	
Seisu – Limpiar						90%
Pisos					X	
Estantería					X	
Mercadería				X		
Se cumplen fechas – horas				X		
Sub Total				8	10	
Seiketsu - Estandarizar						85%
Se respeta el mapa				X		
Todos conocen el método				X		
Todos conocen los objetivos				X		
Documentos del método están actualizados					X	
Sub total				12	5	
Shitsuke – Disciplina						80%
Todos cumplen sus responsabilidades				X		
Se realizan las auditorías periódicamente				X		
Autodisciplina				X		
Compromiso				X		
Sub total				16		
Total Cumplimiento de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.						87%

Figura 17. Auditoría implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño luego de la implementación de la mejora.

Contar con información del método de la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño para futuras capacitaciones, la cual debe mantenerse actualizada con los cambios o mejoras que se implementen.

Shitsuke- Disciplina:

En esta S, se ha de buscar generar la autodisciplina en el personal que labora en la planta, para lo cual en una etapa inicial las auditorias deben ser frecuentes no sólo para hacer una calificación sino también para apoyar en la solución de problemas o aporte de ideas que contribuyan a que este método se haga sólido y perdure en el tiempo.

Los gastos relacionados a esta implementación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8
Gastos de implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño.

Concepto	Detalle	Costo en soles	Observaciones	HH
Capacitación	Costo hora jefe de almacén	7	1 hr	7.27
	Costo hora Asistente de almacén	5	1 hr	5.21
	Costo hora de asesoría	94	Elaborar documentación 2 hrs	31.25
	Costo hora administradora	13	1 hr	13.02
Identificar, depurar, separar, ordenar cosas	Costo hora jefe de almacén	29	4 hr	7.29
	Costo hora Asistente de almacén	42	4 hr por 2 asistentes	5.21
	Costo hora de asesoría	125	4 hr	31.25
Total		315		

3.5. Resultados de la implementación en la Planta de Calcinación a través de la variable dependiente: Desperdicios

3.5.1. Implementación de mejora mediante la instalación de un Colector de polvos

a. Descripción de 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 $\varnothing 280$ mm que se ampliarán a $\varnothing 400$ mm, $\varnothing 480$ mm y $\varnothing 680$ mm, con este diámetro se hará el recorrido por el filtro de mangas, lavador de gases – Scrubber, ventilador centrifugo y filtro de carbón activado.

Las uniones de los ductos serán mediante bridas y empaquetadura.

Tabla 9
Especificaciones de la campana.

**CAMPANA DE CAPTACION DE
HUMOS**

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

En la Tabla 9, se muestra las especificaciones de la campana que se va a instalar para recuperar el material particulado valioso que se está perdiendo, en ella se detalla las dimensiones, espesor, uniones, material y normas.

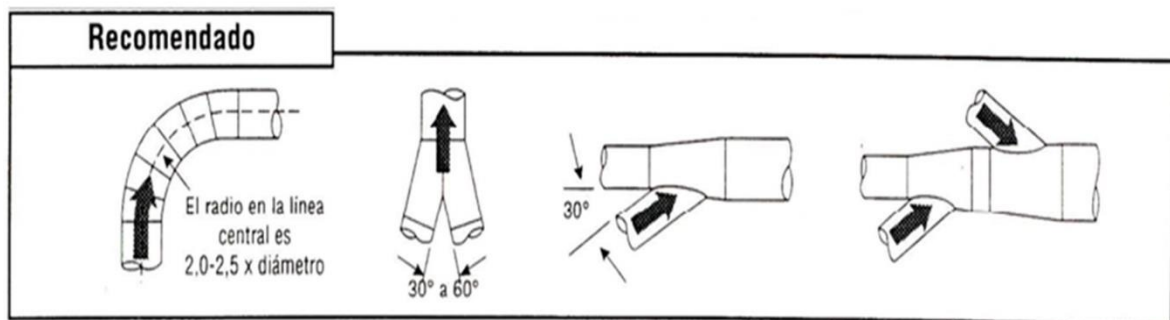


Figura 18: Recomendaciones AMCA para conexión de tuberías.

b. Descripción de equipos requeridos en el sistema de extracción de humos

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 depositarán 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 3
Descripción del filtro de mangas

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	210
Número de válvulas limpieza	30
Presión de limpieza	55 a 90 Psi
Caudal de compresor	INDICA FABRICANTE

En la Tabla 10, se describe el filtro de mangas que va a acompañar a la campana de extracción para captar el material particulado que se está perdiendo en el aire.

Lavador de gases (Scrubber)

El lavador de gases: Para neutralizar los gases provenientes del área de fundición, debe tener las características de caudal requeridos por el sistema caudal de 13800 CFM, trabaja utilizando un fenómeno químico de transferencia masa, también llamado absorción, que permite a sustancias químicas gaseosas en una corriente

de aire sean neutralizadas a través del medio lavador. Esta acción se realizará siempre que el líquido (pulverizado) tenga la facultad de neutralizar el gas contenido en la corriente de aire, la solución usada para llevar a cabo el lavado es Soda Caustica.

Desde el punto de vista de contaminación atmosférica, la absorción es útil como un método de reducir o eliminar la descarga de contaminantes a la atmósfera.

Un lavador de lecho empacado, es un equipo que es llenado con una o muchos materiales disponibles que sirven como empaque. El empaque es diseñado para exponer la mayor superficie de contacto. Cuando la superficie del empaque es mojada por el solvente, el resultado es tener mayor superficie con una película líquida en contacto con el gas.

El flujo de contaminantes (gases) y el líquido (solvente) están a contracorriente, el líquido ingresa por la parte superior del lecho empacado por medio de aspersores de alta presión, mientras que el gas ingresa por la parte inferior y sube para pasar por el lecho empacado.

Una vez que la corriente de aire pase por la sección empacada entra a una sección de eliminación de nieblas, que es hecha del mismo material del empaque, su función es de retener las partículas de agua y vapor que hayan sido arrastradas por la corriente de aire antes que se descargue a la atmósfera.

Tabla 11
Descripción del lavador de gases

LAVADOR DE GASES	
Cantidad	1
Fluido	Gases de fundicion Dore
Modelo	Torre Rociadora
Caudal	13800-17000 CFM
Caída de Presión	4 InH2O - 5 InH2O
Temperatura	60°C
Dimensiones	Ø1750x5700 mm
Solución de lavado	Soda Caustica
Material cuerpo	Inox. -304 /ASTM A-36
Material internos	Acero inoxidable 304/316
Bomba	Centrifuga
Motor:	Adecuado
Voltaje	460
Protección	TEFC-IP55
Controladores	Control PH /Nivel agua/Dif. Presión

En la Tabla 11, se describe las características del lavador de gases que forma parte del sistema de recuperación de material valioso junto a las mangas y a la campana de extracción.

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 derrateados 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 4
Descripción del ventilador centrífugo

VENTILADOR CENTRIFUGO	
Cantidad	1
Marca	AIRTEC
Fluido viciado	Gases de fundición Dore
Caudal	13800-17000
Caída Presión	19 InH2O
Caída Presión a 3600 msnm	13.2 InH2O
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

En la Tabla 12, se describe las características del ventilador centrífugo que forma parte del sistema de recuperación, y es el encargado de empujar aire para que el material particulado quede atrapado en las mangas.

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.

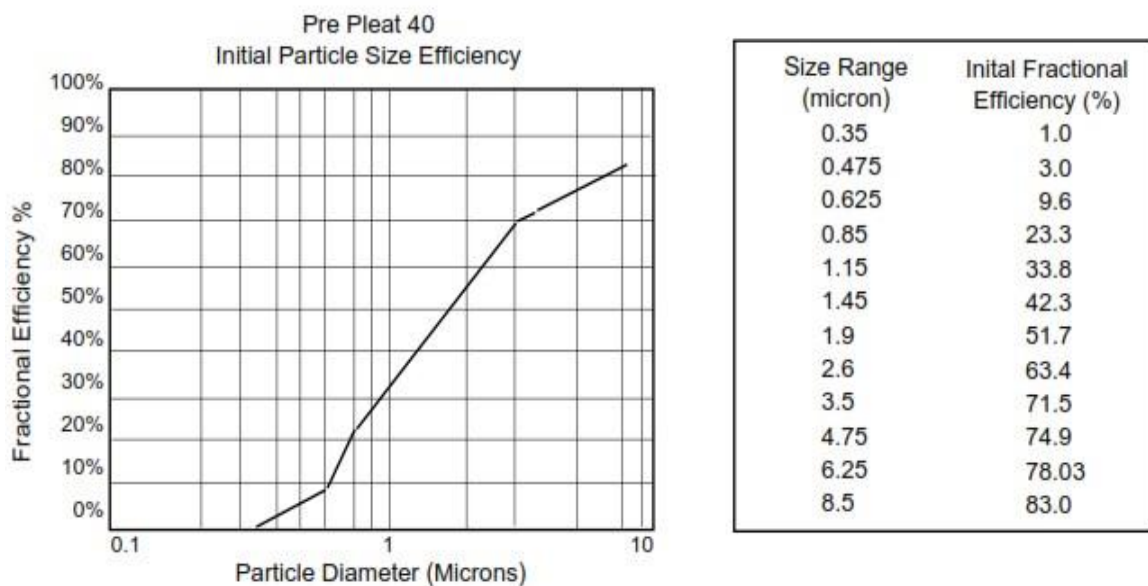


Figura 194: Filtración con carbón activado.

En la Figura 19, se muestra la eficiencia de filtración con carbón activado, considerando el diámetro de las partículas que se pretende recuperar.

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 $< 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 13
Descripción de los filtros

FILTRO DE CARTON	
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	10 unid.
Caudal por cada filtro (24"x24")	1800 CFM
FILTRO DE CARBON 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:	10 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

En la tabla 13, se compara las características de un filtro de cartón y uno de carbón activado para determinar su uso en el sistema de recuperación.

Descripción del Sistema de arranque y Dampers

El sistema de arranque propuesto para el sistema de ventilación consiste en un tablero estrella triangulo, las características del tablero es la siguiente Voltaje: 460V, trabajo en altura 3600 msnm, 60 HP, Suministro de tablero metálico del tipo mural para adosar, hermético, fabricado con plancha de fierro LAF 2 mm de espesor, con acceso frontal mediante puerta con cerradura y acabado pintura epóxica.

Totalmente conexionado con conductores THW y TFF, borneras de control, pernería zincada y rótulos de identificación. Se debe incluir borne de tierra y orejas para fijación en pared, grado de protección IP54, uso minero pesado.

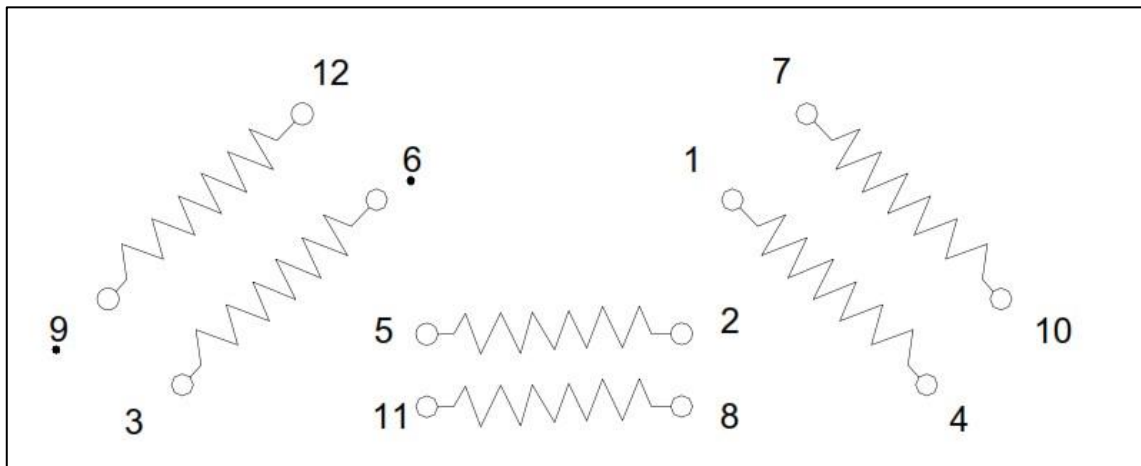


Figura 20: Esquema de conexión arranque estrella triángulo.

En la Figura 20, se muestra las conexiones de arranque que va a brindar el triángulo para que el sistema de recuperación sea operativo.

3.5.2. Otras mejoras en la planta de calcinación

a. Mejora en parrilla o zaranda estática

La solución al problema fue el cambio de vigas de riel por estructuras fabricadas en forma trapezoidal para soportar la rotura y permitir el paso de la piedra caliza dentro de la tolva (ver figura 21).

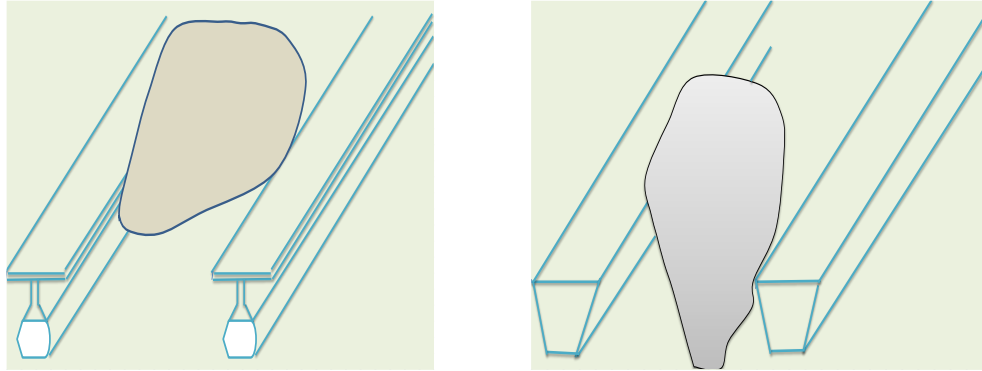


Figura 21: Diferencia entre rieles de tren y vigas trapezoidales en la parrilla.

Estas vigas fueron diseñadas y construidas con planchas de acero de 1" y las dimensiones 6" x 6" x 15 pies de largo. (Ver plano adjunto)

Las modificaciones permitieron un cambio de viga cada dos años mientras que los rieles eran cambiados cada quince días, el tiempo de parada por reparación es menor y mayor el tiempo entre reparaciones. Los costos a largo plazo resultan beneficiosos en base al precio de las vigas versus el de los rieles (ver figura 22).



Figura 22: Parrillas en chancado.

b. Solución a los problemas de operación en el Apron Feeder

La caliza cae hacia la chancadora mediante un chut y no una zaranda tipo Greezly debido al espacio reducido que hay entre el Apron Feeder y la chancadora y la poca altura entre los mismos, la plancha del chut se ubica exactamente en la mitad de la polea motriz del Apron Feeder permitiendo que la piedra caliza quede aprisionada entre la plancha y el Feeder, ocasionando ruptura de la caliza, desgaste prematuro de bandejas, desgaste de la plancha del chut y sobre esfuerzo de la maquinaria.

Como solución se decide bajar la plancha del chut 8” para que se ubique debajo de la polea motriz del Feeder y así evitar estos contratiempos.



Figura 23: Plancha bajo polea motriz de Apron Feeder.

c. Cambio de faldones por bandejas en fajas transportadoras

El área de chancado consta de un stock pile de gruesos y una parrilla de 12” x 12” x 15’ x 15’ de largo y ancho respectivamente, debajo de la parrilla existe una tolva de almacenamiento de 120 toneladas aproximadamente, un Apron Feeder o cinta metálica transportadora de 15’ de largo transmiten esta carga hacia una chancadora de quijadas de 24” x 36” Jaw Master 1206.

La piedra caliza de 15” es reducida en la chancadora a 4”, no hay que olvidar que la estructura de la caliza se presenta en forma lentejeada y no redonda o poligonal como se presenta mayormente en un mineral metálico, el producto de la chancadora es llevado mediante la faja transportadora 01 a una zaranda vibratoria 5’ x 10’ de tres pisos para su respectiva clasificación. El primer piso contiene dos mallas de 4” x 4”. Y retiene piedra caliza mayor a 4” la cual es recirculada por medio de la faja transportadora 02 a la chancadora de quijadas para su trituración. El segundo piso tiene dos mallas de 2” x 2” y el over es enviado mediante la faja transportadora 03 a un stock pile de caliza como materia prima para el Horno de calcinación 01, el pasante cae sobre las ultimas mallas. El tercer piso tiene 2 mallas de 1” x 1” e igualmente el over es llevado por la faja transportadora 07 hacia el stock pile del horno de calcinación 02 y el pasante menor a una pulgada a un depósito de material utilizado como ripio en las carreteras o rellenos de terrenos no uniformes.

En la sección chancado de Caliza existen 05 fajas transportadoras, llevando la mayor carga la faja 01 de 0.610 X 18 metros (24” x 54 pies). Dimensionada para 126 toneladas/hora. De caliza de 0 a 100 mm. (4”). Anteriormente se tenía un sistema de contención mediante faldones tradicionales, los cuales están ubicados al interior de la banda disminuyendo

un espacio de 10 cms. Por lado aproximadamente, seguido del problema de suspensión de carga debido a la distancia entre polines (1.20 metros).

En este tramo, el exceso de carga patea la banda, permitiendo que la caliza, primero:

- Caída de material al piso generando suciedad.
- El ingreso de piedra caliza entre la banda y el faldón con el atoro subsecuente.
- El motor y reductor son forzados debido a este rozamiento, y por ultimo
- Desgaste y rotura de la banda transportadora por la tensión generada.

Para mejorar el sistema de contención de piedra caliza dentro de la banda en fajas transportadoras era necesario el cambio de bandejas tipo faldones en la parte exterior de la lona, las que permiten que:

- La banda se deslice sobre una plancha inclinada evitando el padeo
- Las paredes laterales de plancha permiten mayor cantidad de caliza dentro de la faja
- No permite rozamiento al interior de la banda
- La suciedad disminuye bajo la faja transportadora y, por último
- El mantenimiento es más rápido y el cambio de lonas menos frecuente es decir el tiempo entre reparaciones es mayor y la duración de parada por mantenimiento es menor.

Este proyecto fue transmitido luego a las demás áreas de producción como: línea de carga de caliza que transporta caliza hacia el winche eléctrico del horno 01 y la descarga del horno de cal a molienda y almacenamiento.

Como observaciones, debemos de tener presente que las fajas transportadoras de mineral en Plantas de tratamiento menores a 5,000 toneladas /día tienen una velocidad promedio de 1 m/ seg. Esto no permitirá un amago de incendio por rozamiento que podría ser ocasionado por fajas de mayor velocidad.

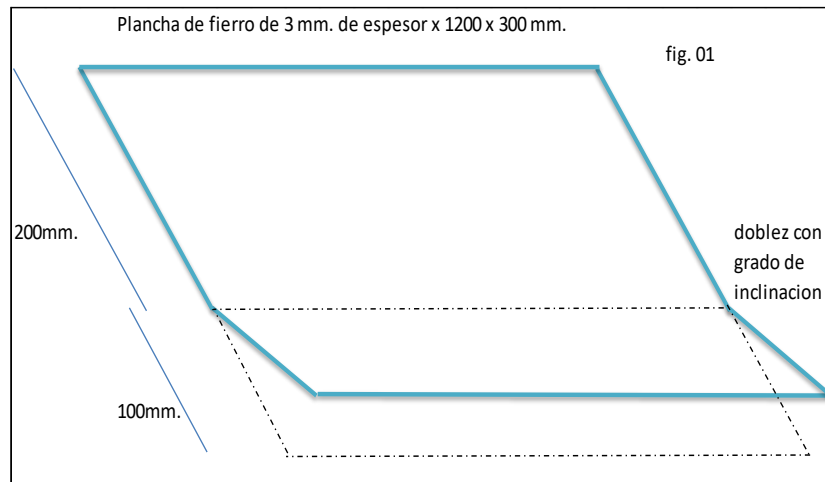
Las paredes lateras con doblez en la parte superior permiten colocar una plancha como tapa protectora en la parte superior, como veremos en la hoja adjunta de fabricación.

Este proyecto fue ejecutado y enviado al VII Congreso Nacional de Minería llevado a cabo en la ciudad de Trujillo los días 26 al 29 de agosto del 2008 donde fui invitado en calidad de expositor.

Fabricación de bandejas:

Primer paso

Se cortan planchas de acero estructural (fierro negro) de 1200 mm. X 300 mm. X 3 mm. De espesor, suponiendo que la faja transportadora sea de 24 metros, se cortarían 40 planchas bandejas, una plancha comercial viene con las medidas de 1200 mm. X 2400 mm. Si se obtienen 8 bandejas x plancha necesitaríamos un total de 5 planchas enteras.



Segundo paso

A las bandejas se les practica un desgaste con esmeril con disco de corte en las líneas punteadas es decir a 200 mm. Y luego se les da un doblé según la inclinación de los polines de la faja transportadora. (Paso 01).

Se toma medida de la altura que tendrán las planchas soporte verticales siempre tomando como referencia la inclinación de la banda transportadora, luego, asegurar el doblé con soldadura.

Las planchas soporte verticales son de 6 mm. (1/4"). Estas pueden ser soldadas al pie del chasis de la faja transportadora o empernadas al mismo bastidor para su desmontaje en caso necesario, son cuatro soportes por un par de bandejas. (Paso 02).

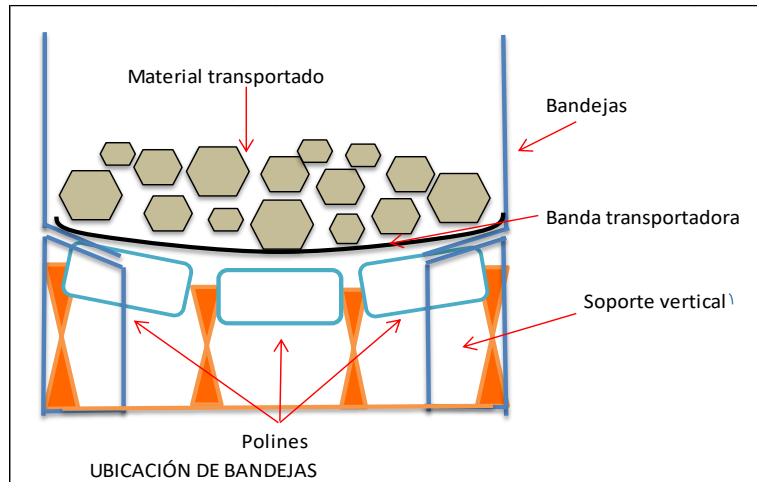


Figura 24: Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 02.

Tercer paso

A las bandejas se procede a realizar un doble en la parte superior de la bandeja vertical permitiendo un ángulo de 90 grados x 40 mm. (1 ½”). Este ángulo servirá para el apoyo de las respectivas tapas, para evitar la polución y protección contra la lluvia, Por último, se colocarán planchas entre bandeja y bandeja con el respectivo desgaste para que no roce el polín y permita cerrar herméticamente la bandeja (Paso 3).

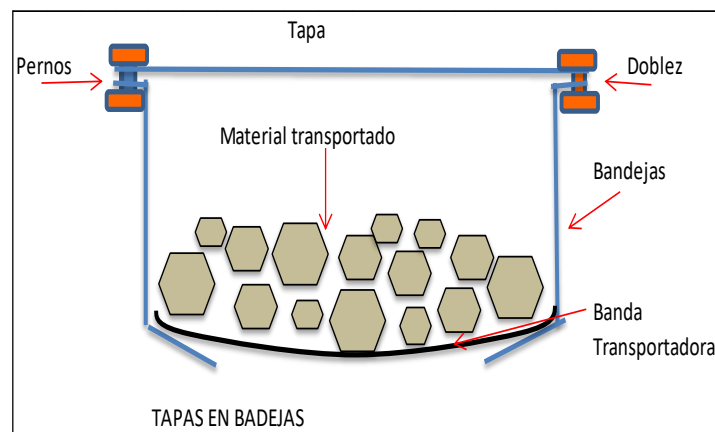


Figura 25:

Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 03.



Figura 26: Fajas transportadoras sin guarderas ni guíadores.

Este ítem tiene como objetivo proponer un sistema de captación de humos complementario en el área de fundición con la finalidad de evacuar y eliminar las partículas y gases generados en proceso de fundición.

Lo que se plantea como solución es un sistema integral que comprende los siguientes componentes: un filtro mangas tipo Pulse-jet, lavador de gases - Scrubber, filtro de carbón activado y ventilador centrífugo, más adelante se hará una descripción de los equipos a requerir, recomendaciones del dimensionamiento de campanas, ductos y consideraciones para su instalación y montaje.

Se considera necesario instalar 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, lavador y carbón activado.

El ducto existente se conectará al nuevo ducto de extracción.

Esta mejora se planteó como idónea, 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, el diseño se esquematiza en la figura 4.

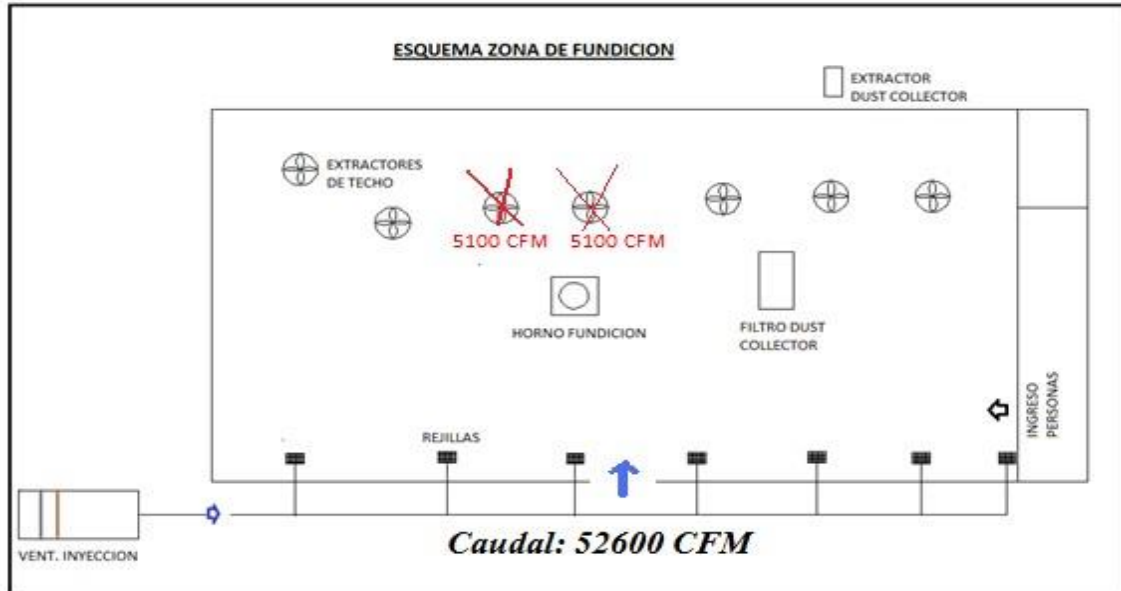


Figura 5: Esquema en la zona de fundición para captar material valioso.

En la figura 27, se muestra el esquema de un sistema de recuperación de material particulado, para ello adjuntamos las siguientes figuras de los equipos:



Figura 28: Extractor de 30 Hp en Consorcio Minero Horizonte.



Figura 6: Colector de polvos en Planta de Calcinación

3.5.3. Estimación de la reducción de los desperdicios

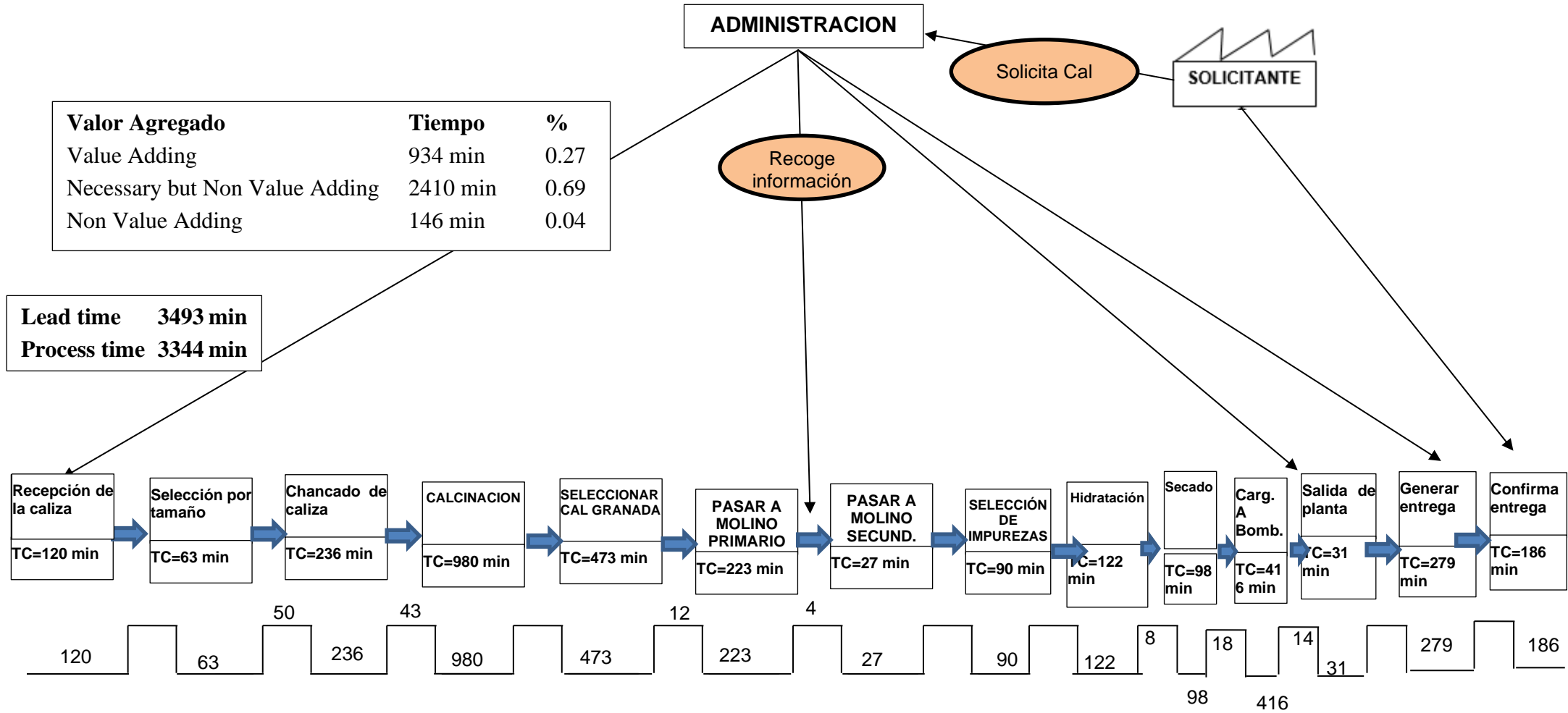


Tabla 14*Comparación de los tiempos de mantenimiento antes y después de lean service.*

Actividades	Tiempo antes de la mejora (min)	Tiempo después de la mejora (min)	Mejora en minutos reducidos
Recepción de caliza	120	120	
Selección por tamaño	63	63	
Chancado de caliza	236	236	
Calcinación	980	980	
Seleccionar cal granada	473	473	
Pasar a molino primario	223	223	
Pasar a molino secundario	27	27	
Selección de impurezas	90	90	
Hidratación	122	122	
Secado	98	98	
Cargado a bombona	416	416	
Salida de planta	31	31	
Generar entrega	279	279	
Confirmar entrega	186	186	
Lead Time	4364	3493	871
Value Adding	934	934	-
Necessary but non value adding	2410	2410	-
Non value adding	1020	146	874

En las actividades no se identificado la reducción de tiempo ya que son sólo operaciones

En la tabla 14, se muestra que en las actividades operativas de producción de cal no se han realizado reducción de tiempos, sin embargo, se ha reducido las demoras, es decir las actividades que no aportan valor agregado a la empresa, en dichas demoras se redujeron 871 minutos.

3.6. Resultados de la evaluación económica de la implementación en la Planta de calcinación

Tabla 15

Gasto anual de Mantenimiento en chancado.

gasto anual de mantenimiento en chancado de caliza											
Maquinaria	rodamientos	correas	reductores	quijadas	poleas	bandas	otros	Atoros	limpieza	total	ahorros
Parrilla							2	1			9000
Apron feeder	1		1				2	4	200		26720
Chancadora	1	1		2			1	5	52		620
Faja transportadora 01	1	2	1		1	1		5			1000
Faja transportadora 02	1	3	1		1	1		4			
Faja transportadora 03	1	1	1		1			1			
Faja transportadora 07	1	3	1		1	1		4			
Faja transportadora 08	1	3	1		1			2			
Zaranda vibratoria 5 x 10	1	2					2	3			
Bomba de agua	1							2			
Sub total	9	15	6	2	5	3	7	31	252	330	37340
Precio unitario	300	25	1000	1000	200	6000	1000	20	40		
Total	2700	375	6000	2000	1000	18000	7000	620	26720	64415	27075

Los ahorros son considerados en los componentes en rojo.

Tabla 5

Gasto anual en línea de carga de caliza.

Gasto anual de mantenimiento en línea de carga de caliza											
Maquinaria	rodamiento	correas	reductor	Plancha	polea	banda	otros	atoros	limpieza	total	ahorros
faja transportadora 04	1	2	1		1			5	52		6000
extractor vibratorio 01					1						300
extractor vibratorio 02					1						2080
extractor vibratorio 03					1						
extractor vibratorio 04					1						
Faja transportadora 05	1	2	1		1	1		5			
Faja transportadora 09	1	2	1		1	1		5			
zaranda vibratoria 4 x 8	1	2			2						
skip winche eléctrico								1			
electro imán					1						
sub total	4	8	3	7	3	2	1	15	52	95	8380
precio unitario	300	25	1000	100	200	6000	100	20	40	7785	
Total	1200	200	3000	700	600	12000	100	300	2080	20180	11800

Tabla 17

Gastos de Mantenimiento en hornos de calcinación.

Gastos de Mantenimiento en hornos de calcinación									
Maquinaria	Cantidad	correas	empaques	motor	Cambio	rodamientos	otros	Total	ahorros
Planta Hidráulica	1			1			1		
Compuertas	16		16				2		
soplador 204.1	1	1					1		
soplador 204.2	1	1					1		
soplador 204.3	1	1					1		
soplador 204.4	1	1					1		
soplador 311.1	1	1					1		
soplador 311.2	1	1					1		
Quemadores	24				24				
Bombas de transferencia	2				2				
bombas de dosificación	12				12				
compresor 101.1	1						1		
compresor 101.2	1						1		
sub total	63	6	16	1	38	8	3	135	
Precio unitario		140	10	1000	1000	40	40		
Total		840	160	1000	38000	320	120	40440	

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La problemática de esta investigación se centra en la pérdida de material particulado que se impregnan en los techos y equipos de la planta de calcinación, 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 para la calcinación pero a comparación de esta tesis sus pérdidas económicas son menores ya que ellos si cuentan con un sistema de recolección de polvos.

En esta tesis se diseñó un sistema de colección de polvos compuesta por un colector de polvos Pulse Jet con el que se recupera un 70% de material particulado, son 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. La comparación entre este estudio y el antecedente radica en la eficiencia para recuperar material, el propuesto en esta tesis es superior en un 10%. Este estudio propone ubicar el colector de polvos encima de los hornos de calcinación, no en los costados para evitar que se pierda al disiparse, anteriormente en la misma empresa en el área de función 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

- El diagnóstico evidencia que la generación de PM2.5 afecta a la eficiencia de los equipos, el tiempo de producción actual es de 16 horas cuando debería ser 20 horas, producción se encuentra por debajo de lo establecido y mensualmente se genera 347 kg de PM2.5.
- El diseño del sistema de recuperación de material particulado consiste en un extractor (9000 cfm), un colector de polvos de planta PL que esta fuera de servicio y fue usado para el molino de bolas de la refinería de PL, y se instalará un par de campanas colectoras que irán al nuevo colector de polvos. Además, se diseñó la implementación de la ingeniería de procesos para mejorar el desempeño y mejorar la limpieza de la planta.
- Las actividades operativas de producción de cal no se han realizado reducción de tiempos, sin embargo, se ha reducido las demoras, es decir las actividades que no aportan valor agregado a la empresa, en dichas demoras se redujeron 871 minutos
- Con este diseño, la productividad ha incrementado de 65 toneladas al día a 83. Esta implementación es viable ya que se determinó un ahorro de 27075 soles en el mantenimiento de chancado y de 11800 soles en el carguío de caliza. La generación de PM2.5 se redujo de 347 Kg a 124 Kg.

REFERENCIAS

- Benavides, K., & Castro, P. (2014). Diseño e implementación de un programa de 5s en industrias metalmecánicas San Judas LTDA. (*tesis de pregrado*). Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena. Obtenido de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream>
- Cardona, G., & Serrano, L. (2014). Propuesta guía basada en la técnica de las 5s como herramienta básica para mejorar la productividad en la bodega de la Unidad Regional SEMAP. (*tesis de pregrado*). Buenaventura, Colombia: Universidad del Valle. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/10757/11.pdf>
- Carrasco, R. (2017). Propuesta de implementación de las 5s para la mejora del ambiente en la planta de procesamiento de la empresa Fitzcarrald. (*tesis de pregrado*). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3344/carrasco.pdf>
- Concha, J., & Barahona, B. (2014). Mejoramiento de la productividad en la empresa induacero cia. Ltda. En base al desarrollo e implementación de la metodología 5S Y VSM, herramientas del Lean Manufacturing. (*tesis de pregrado*). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3026/1/85T00290.pdf>
- Flores, N., Gutiérrez, Y., Martínez, Y., & Maycot, M. (2015). Implementación del método de las 5S's en el área de corte de una empresa productora de calzado. (*artículo científico*). Leon, Mexico: Instituto Politecnico Nacional. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/14179/DOCUMENTO>
- Ortíz, M. (2017). Implementación de las 5s para el incremento de la productividad en la empresa DLA Ingeniería y Construcción S.A.C., Huachipa. (*tesis de pregrado*).

- Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1731/Ortiz_MM.pdf?sequenc
- Piñero, A., & Kaviria, E. (2018). Programa 5S's para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo. (*artículo científico*). Manabí, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve>
- Poma, S. (2017). Propuesta de implementación de la metodología de las 5s' para la mejora de la gestión del almacén de suministros en la empresa Molitalia S.A. Sede Los Olivos. (*tesis de pregrado*). Lima, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/176029>
- Proietto, C., Troncozo, G., & Mohamad, J. (2015). Aplicaciones Prácticas de Técnicas de 5 S en una Planta. (*artículo científico*). Buenos Aires, Argentina: Universidad Católica Argentina. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos.pdf
- Zapata, D., & Buitrago, M. (2014). Implementación de la metodología 5's en una empresa de fabricación y comercialización de lámparas. (*tesis de pregrado*). Medellín, Colombia: Universidad de San Buenaventura. Obtenido de <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1091/1.pdf>