



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

DISEÑO DE VÁLVULA PENDULAR PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD DEL FILTRO DE MANGAS DE UNA CEMENTERA

Luis Rivera-Vitonera

Piura, abril de 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Rivera, L. (2019). *Diseño de válvula pendular para aumentar la confiabilidad del filtro de mangas de una cementera* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“Diseño de válvula pendular para aumentar la confiabilidad del filtro de mangas
de una cementera”**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico-Eléctrico

Luis Angel Rivera Vitonera

Asesor: Dr. Ing. Miguel Buenaventura Castro Sánchez

Piura, abril 2019

*A mi madre,
María Estela Vitonera Infante,
quien es, y siempre será el aliciente,
para lograr mis metas en mi vida profesional.*

.

Prólogo

Desde su invención en el Siglo XIX, el cemento ha sido el principal material utilizado para las construcciones, pavimentos y edificaciones. Como consecuencia, la industria cementera ha tenido un aumento exponencial durante las últimas décadas, contribuyendo con el desarrollo de los países a nivel de infraestructura.

Así mismo, desde los albores de esta industria uno de los problemas perennes es la cantidad de polución que se genera. Sin embargo, en la actualidad con la tecnología al alcance de la mano y las exigentes normas para el cuidado del medio ambiente, existen varios dispositivos capaces de filtrar el cemento o materia prima del aire. Siendo los filtros de despolvorización, los equipos más utilizados en las fábricas que trabajan con material a granel, porque estos equipos no solamente cumplen con preservar los ecosistemas sino también recuperar el material del aire, lo que se traduce en menos costes para la fábrica. Por eso, en este trabajo académico se justifica la importancia del equipo descrito y se busca mejorarlo.

Por otro lado, en las grandes fábricas existe el área de la confiabilidad. Esta disciplina del mantenimiento, ha aumentado su importancia en los últimos años, tanto así que, posee su propia jefatura y sus propios colaboradores en el departamento de operaciones. Esto debido a que, en la actualidad ya no se espera que exista una avería para poder intervenir un equipo, sino que se utilizan técnicas para aumentar la capacidad de funcionamiento de los activos, tales como: 5's, RCM, análisis de causa y raíz, entre otras más; las cuáles se utilizaron en el génesis de esta tesis.

Además, se relaciona la confiabilidad con el diseño mecánico. Puesto que, aplicando conocimientos de mecánica se puede mejorar un equipo que presenta averías frecuentes y así mismo obtener un ahorro considerable en los costos de mantenimiento.

Por último, en este párrafo se manifiesta un inmenso agradecimiento a la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., especialmente a los empleados de la planta Piura, quienes aportaron su tiempo, conocimiento, y asesoramiento para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Resumen

El objetivo central de este estudio es aumentar la confiabilidad del filtro de despolvorización de una planta de cemento, utilizando los conocimientos de diseño mecánico. Este equipo cumple con un papel importante en las operaciones de la fábrica; sin embargo, presenta averías frecuentes, por lo que se diseña una mejora mecánica para aumentar la capacidad de funcionamiento del equipo sin interrupciones por mantenimiento en un intervalo de tiempo.

Para esto, se llevó a cabo un análisis de causa y raíz con la finalidad de determinar el factor de las averías recurrentes del equipo mencionado anteriormente. Como consecuencia, se concluye que el motorreductor de la esclusa de descarga perteneciente a la parte de descarga del filtro tiene una fuga de cemento hacia sus rodamientos. Por lo tanto, se desarrolla el diseño de una válvula pendular que sustituya a la esclusa y su funcionamiento.

Finalmente, se verifica la resistencia del diseño mecánico con una simulación en un software de ensamblaje mecánico. Además, se estiman los costos y tiempo del mantenimiento que se podría ahorrar de ser implementada la válvula diseñada.

Índice general

Introducción	1
Capítulo 1	3
1.1. Cementos Pacasmayo S.A.A.....	3
1.2. Operaciones de planta Piura	5
1.2.1. Reseña histórica.....	5
1.3. Descripción de los procesos y operación	6
1.3.1. Recepción y almacenamiento de materia prima	8
1.3.1.1. Recepción y almacenamiento de conchuela	8
1.3.1.2. Recepción y almacenamiento de adiciones de crudo.....	9
1.3.1.3. Recepción y almacenamiento de adiciones de cemento	10
1.3.1.4. Recepción y almacenamiento de carbón.....	10
1.3.2. Molienda de crudo	10
1.3.2.1. Alimentación al molino	10
1.3.2.2. Molino de crudo y recirculación	11
1.3.2.3. Filtración del proceso de crudo.....	13
1.3.3. Homogenización y almacenamiento de crudo.....	14
1.3.4. Molienda de carbón	15
1.3.4.1. Alimentación al molino	15
1.3.4.2. Filtración del proceso de carbón	16
1.3.5. Precalentamiento y clinkerización.....	17
1.3.5.1. Precalentamiento del material.....	17
1.3.5.2. Horneado.....	18
1.3.5.3. Enfriamiento de clínker	19
1.3.5.4. Almacenamiento de clínker	20
1.3.6. Molienda de cemento.....	21
1.3.6.1. Alimentación al molino	21
1.3.6.2. Molino de cemento	22
1.3.6.3. Filtración de cemento.....	23
1.3.7. Almacenamiento y embolsado.....	24
1.3.7.1. Almacenamiento de cemento	24
1.3.7.2. Embolsado	25
1.4. Datos del cemento producido	27
1.4.1. Fortimax 3	27
1.4.2. ExtraForte	28

Capítulo 2	29
2.1. Introducción	29
2.2. Fundamentos teóricos	29
2.2.1. Propiedades del material a granel	30
2.2.1.1. Volumen	30
2.2.1.2. Densidad	30
2.2.2. Flujo másico de material	30
2.2.2.1. Caudal	30
2.2.2.2. Ecuación de la conservación de la masa	31
2.2.3. Propiedades mecánicas	31
2.2.3.1. Esfuerzo normal	31
2.2.3.2. Esfuerzo cortante	31
2.2.3.3. Esfuerzo Von Mises	31
2.2.3.4. Factor de seguridad	32
2.3. Equipo y proceso de filtración de polvo	32
2.3.1. Sub equipos y accesorios	33
2.3.1.1. Ventilador centrífugo	34
2.3.1.2. Motor de ventilador	34
2.3.1.3. Esclusa	35
2.3.1.4. Motorreductor de esclusa	35
2.3.1.5. Instrumentación y control	35
2.3.1.6. Grupo FR	35
2.3.2. Proceso de filtración mediante un filtro de mangas	36
2.3.3. Mantenimiento del equipo	37
2.3.3.1. Mantenimiento correctivo	37
2.3.3.2. Mantenimiento preventivo	37
2.4. Sistema de filtración alterno	38
2.4.1. Proceso de filtración mediante un ciclón	38
2.4.2. Tipos de ciclón en la planta Piura	39
2.4.2.1. Ciclón de crudo	39
2.4.2.2. Ciclón del precalentador	40
Capítulo 3	41
3.1. Introducción	41
3.2. Equipo de filtración seleccionado	41
3.2.1. Filtro de mangas de embolsado	41
3.2.2. Parámetros de operación	43
3.2.3. Criticidad	43
3.3. Diseño mecánico de válvula pendular	45
3.3.1. Dimensionamiento del equipo	46
3.3.1.1. Eje y chapaleta	46
3.3.1.2. Caja de válvula y <i>bypass</i>	47
3.3.1.3. Contrapeso	49
3.3.1.4. Chumacera seleccionada	50
3.3.1.5. Chute de descarga	51
3.3.2. Ensamblaje total	51
3.4. Confiabilidad y disponibilidad	53

3.5. Situación actual en planta Piura	54
Capítulo 4	55
4.1. Introducción	55
4.2. Análisis de esfuerzos mecánicos.....	55
4.2.1. Consideraciones para la simulación	56
4.2.1.1. Sujeciones	56
4.2.1.2. Superficie	57
4.2.1.3. Carga.....	58
4.2.2. Resultados.....	59
4.2.2.1. Esfuerzos Von Mises	59
4.2.2.2. Desplazamiento.....	60
4.2.2.3. Factor de seguridad	61
4.3. Confiabilidad del equipo.....	62
4.3.1. Consideraciones para el cálculo	62
4.3.1.1. Correctivos no programados	62
4.3.1.2. Tiempo total de operación	63
4.3.1.3. Mantenimiento preventivo	63
4.3.1.4. Sin demanda.....	63
4.3.1.5. Control de demanda	63
4.3.2. Resultados.....	64
4.3.2.1. Confiabilidad sin diseño	64
4.3.2.2. Confiabilidad con diseño	65
4.4. Costos.....	66
4.4.1. Costo de mantenimiento	66
Conclusiones.....	69
Bibliografía.....	73
Anexos.....	73
Anexo B – 1	75
Anexo B – 2	76
Anexo B – 3	77
Apéndices.....	79

Introducción

El presente trabajo de investigación se desarrolla en la planta Piura, una de las fábricas más modernas del país, capaz de producir más de un millón y medio de toneladas de cemento al año.

El interés de este estudio se dio mientras se desarrollaba la generación de los planes de mantenimiento preventivo para los equipos en la fábrica mencionada, basado en el ISO 14224. Cuando se comenzaron a indagar los problemas de mantenimiento recurrentes y las causas de estos, de esta manera, se logró determinar que el filtro de mangas de embolsado presentaba averías muy frecuentes. Siendo la causa, el desgaste del retén del motorreductor de la válvula rotativa, lo que conlleva en algunos casos más leves al cambio de repuestos y en algunos más críticos a detener las operaciones de una parte del proceso. Por tal motivo, los inspectores de mantenimiento mecánico presentaron sus proyectos de mejoras basados en medidas y materiales dispuestos, pero sin analizar los esfuerzos mecánicos. Es por eso, que se decide desarrollar este trabajo con la finalidad de que se pueda ejecutar y contribuir con la mejoría del área de mantenimiento de la empresa.

Esta tesis se divide en dos partes, en los primeros dos capítulos el contenido es básicamente el marco teórico, donde se expone el funcionamiento de la fábrica, del filtro de despolvorización y algunos conocimientos básicos de esfuerzos mecánicos. En la segunda parte, se presenta el diseño de la válvula, la simulación de esfuerzos mecánicos, la verificación de estos, y los cálculos de la confiabilidad.

Por último, se presentan gráficas del antes y después de la confiabilidad del proceso del embolsado, teniendo en cuenta la mejora. Así mismo, se calculan los costos del mantenimiento con la información de las horas hombre y el precio de los repuestos del motorreductor, para así poder obtener conclusiones cuantitativas.

Capítulo 1

Fabricación del cemento en planta Piura

1.1. Cementos Pacasmayo S.A.A.

Cementos Pacasmayo S.A.A. es una empresa privada, que pertenece al Grupo Hochschild, uno de los conglomerados económicos más grandes del país, que cuenta con dos principales divisiones de negocios: la minera y el sector industrial.

Siendo esta la empresa insignia de la división industrial, la cual se dedica a la producción, distribución y comercialización del cemento y sus derivados, así como de productos relacionados como la cal. Es la segunda cementera más grande en el Perú y la líder en los mercados del norte y noreste del país. La empresa cotiza en la Bolsa de Valores de Nueva York desde febrero de 2012 y en la Bolsa de Valores de Lima desde 1999¹.

Cementos Pacasmayo cuenta con diversas plantas de producción de materiales de construcción en el norte del Perú, estas se encuentran estratégicamente distribuidas entre las principales ciudades del norte peruano. Cuenta con una moderna planta de cemento en Piura (Piura), una en Pacasmayo (La Libertad), una en Rioja (San Martín), una de ladrillos de diatomita en Sechura (Piura) y plantas de premezclados en las principales ciudades en el norte y noreste del Perú.

¹ En la Bolsa de Valores de New York: CPAC y en la Bolsa de Valores de Lima: CPACASC1-PE.

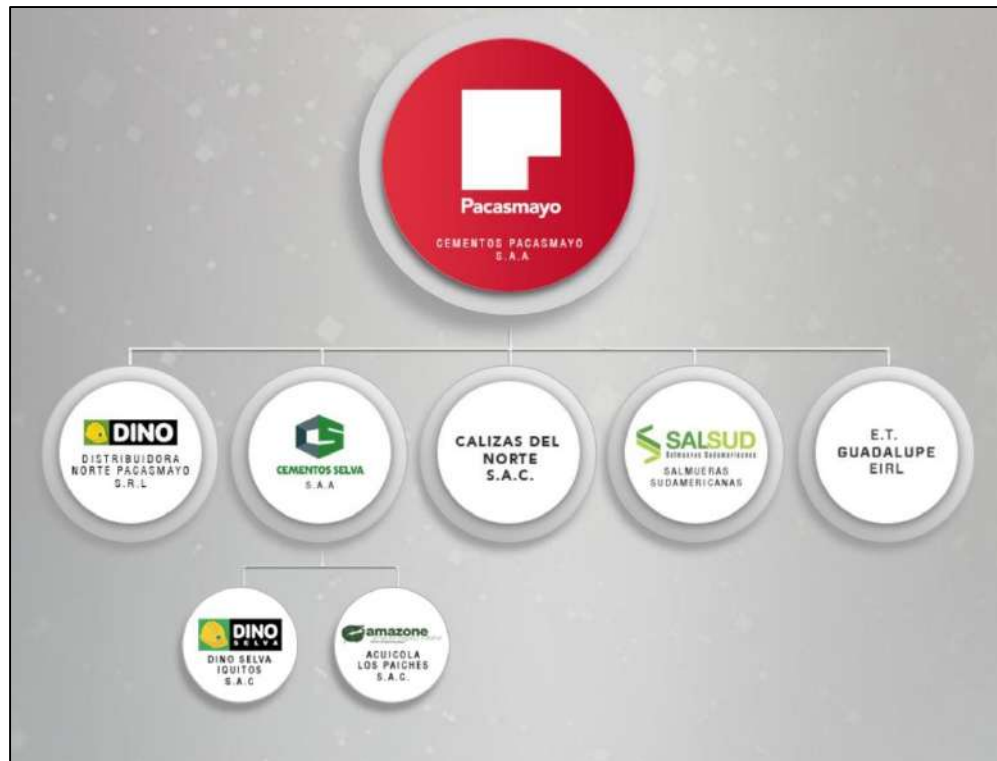


Figura 1.1. Estructura corporativa de Pacasmayo.

Fuente: Cementospacasmayo.com.pe

- **DINO S.R.L.** Comercializa todos los productos de Cementos Pacasmayo a través de una amplia red de distribuidores asociados en la región. Además, cuenta con oficinas comerciales en las principales ciudades del norte del Perú.
- **Cementos Selva S.A.** Produce cemento, concreto premezclado y elementos prefabricados en la ciudad de Rioja.
- **DINO Selva Iquitos S.A.C.** Comercializa todos los productos de Cementos Pacasmayo a través de una amplia red de distribuidores asociados en la región.
- **Acuícola Los Paiches S.A.C.** Cría, cultiva y comercializa una de las especies emblemáticas de la selva amazónica, el paiche.
- **Calizas del Norte S.A.C.** Fue creada en el 2013 e inició operaciones en el 2014. Su principal objetivo es explotar la cantera de piedra caliza. La acumulación se realiza en Tembladera, Cajamarca.
- **Salmueras Sudamericanas S.A.** Explora los depósitos de salmueras descubiertos en concesiones que posee la compañía en Mórrope. Este proyecto se desarrolla en alianza con la empresa peruana Quimpac, líder en el mercado de productos químicos.
- **Empresa de Transmisión Guadalupe S.A.C.** Provee de energía eléctrica a la planta de Pacasmayo.

1.2. Operaciones de planta Piura

La planta Piura tiene la capacidad de producir hasta 1.6 millones de TM de cemento al año y 1 millón de TM de clínker en ese mismo período. Fue construida con el objetivo de incrementar la capacidad de producción total de la corporación a 5 millones de TM de cemento al año. Así mismo, poder dirigir la empresa en un esquema multi-planta (Piura, Pacasmayo y Rioja), optimizando costos e incrementando el portafolio en productos especializados.

Se caracteriza por ser la única en el Perú, que utiliza conchuela como materia prima para la fabricación de cemento². Esta es, carbonato de calcio en estado fósil, proveniente de los bancos de conchas de mar formados hace millones de años. Por lo que, a comparación de otras fábricas, no es necesaria ninguna trituración previa. La cantera de conchuela se encuentra en Virrilá, Sechura. Y es transportada en camiones que poseen descarga ventral, hasta la planta.

1.2.1. Reseña histórica

La historia de la empresa Cementos Pacasmayo se remonta a 1949, año en que se funda la Compañía Cementos Portland del Norte.

En 1957, comienza la actividad comercial de la Compañía Cementos Pacasmayo S.A. mediante la instalación de la primera línea de producción de clínker, con una capacidad de producción de clínker de 110,000 TM/año. Aproximadamente, una década después se inicia la producción del segundo horno de clínker de 150,000 TM/año. Ante la alta demanda del mercado norteño, se empieza la producción del tercer horno de clínker de 540,000 TM/año.

En los años noventa, mediante mejoras tecnológicas, se expande la capacidad de la línea 3 de producción hasta 690,000 TM/año. Por lo que, la capacidad de toda la compañía aumenta a 840,000 TM/año.

Se adquiere la planta de cemento en Rioja (35,000 TM/año) en 1998, luego esta se convertiría en Cementos Selva S.A. En el año 2010, la capacidad de molienda de la fábrica de Pacasmayo se incrementa en 1'200,000 TM/año.

En la actualidad son los únicos abastecedores de cemento en la región norte del país, alcanzando una participación de mercado que bordea el 97% en su área de influencia. La fábrica principal, se encuentra en la ciudad de Pacasmayo en el departamento de La Libertad, una planta de cemento en la ciudad de Rioja, en el departamento de San Martín y la nueva planta de cemento en Piura, considerada la más moderna del Perú³.

Esta moderna fábrica, se construyó con una inversión de \$380 millones de dólares y se encuentra ubicada en la carretera Piura-Paita km 3; a unos 10 minutos de la ciudad de Piura. El proyecto de la construcción de la planta Piura comenzó el 30 de setiembre del 2013 y la primera línea de producción de cemento fue el 01 de setiembre de 2015.

² Las fábricas de cemento en el Perú, utilizan la piedra caliza como materia prima.

³ Hace 45 años que no se construía una planta de cemento desde cero en el Perú.

Esta innovadora planta se encuentra automatizada al 100% y se construyó sobre un terreno de 53 hectáreas y sus instalaciones ocupan el 50% del área total, lo que permitirá poder duplicar su producción en un futuro.



Figura 1.2. Ejecución del proyecto planta Piura.

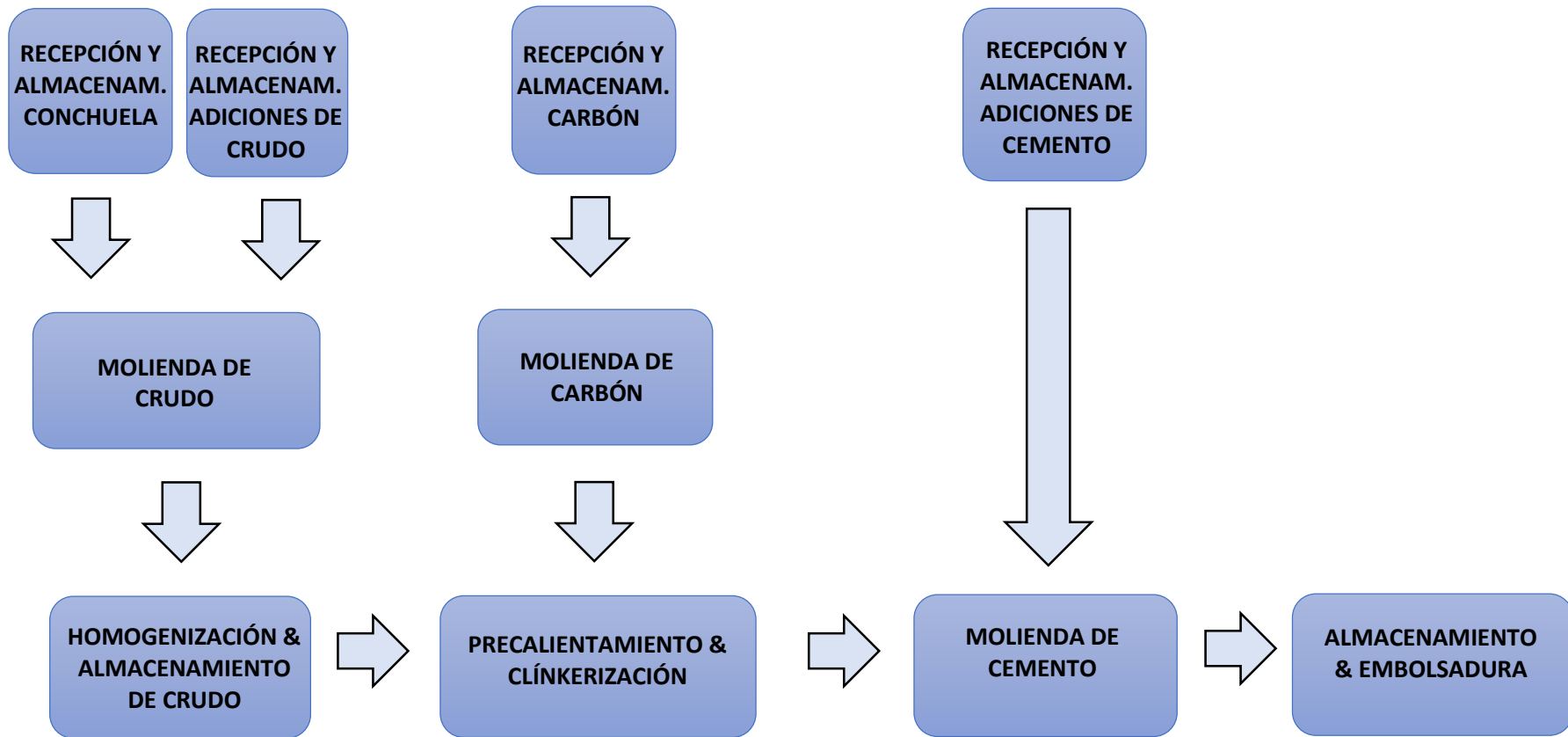
Fuente: http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Captura_2.JPG

Actualmente esta empresa, pasa por bajas utilidades, debido a tres factores muy importantes: El aumento del costo de la materia prima, descenso de compra de cemento en la última década en el país y la competencia que ingresa a la zona norte.

1.3. Descripción de los procesos y operación

En la mayoría de plantas de cemento alrededor del mundo, el proceso de fabricación comienza con la extracción de la piedra caliza de una cantera o mina. Esta etapa no es llevada a cabo en la planta Piura, como se comentó anteriormente por usar como materia prima la conchuela. Por lo que, el proceso comienza con la recepción de materiales, transportados en camiones desde diferentes canteras.

Esquema 1.1. *Proceso de operaciones de planta Piura.*



Fuente: Elaborado por autor.

1.3.1. Recepción y almacenamiento de materia prima

La recepción es idéntica para todos los tipos de materiales. Se utilizan transportadores de cadena blindado, llamados PKF en alusión a la marca del equipo, están instalados de manera subterránea, para amortiguar y dosificar el material que cae del camión hacia una faja. Esta cinta transportadora, traslada el material a los hangares, donde se apila para almacenar y se reclamar según la producción.

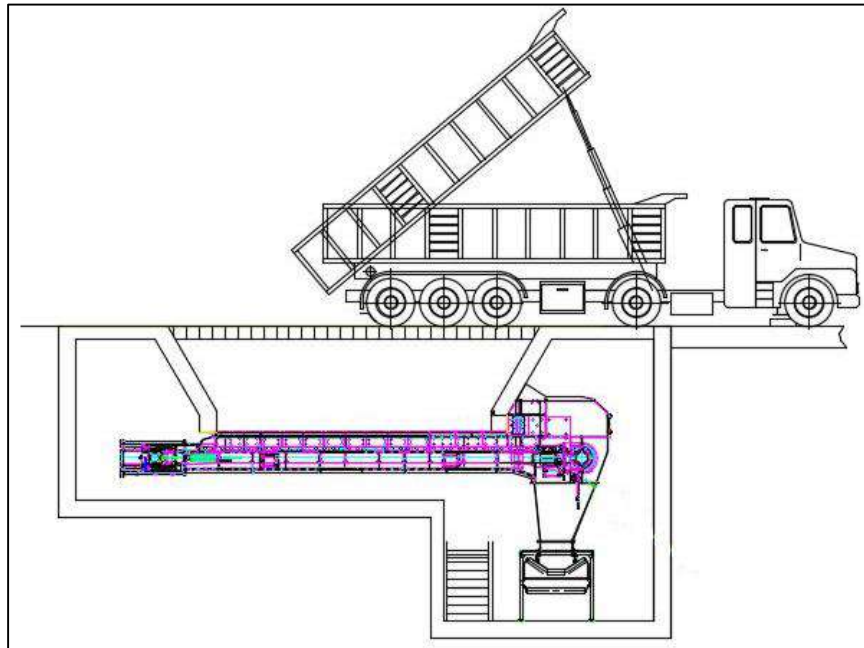


Figura 1.3. Esquema de recepción de materias primas.

Fuente: Elaborado por autor.

En los hangares se encuentran los apiladores de faja y reclamadores ThyssenKrupp, donde se apila la materia prima según diferentes métodos:

- **Método Cone-Shell:** Se utiliza cuando no es necesario mezclar los materiales. El apilador solo debe moverse verticalmente, sin movimiento giratorio. El método permite el uso de un apilador sencillo y simplifica el proceso de formación de la pila.
- **Método Chevron:** Se utiliza cuando es necesario mezclar y homogenizar los materiales. Aplica solo para el almacenamiento de conchuela, porque es necesario un almacén circular, como el domo.

1.3.1.1.Recepción y almacenamiento de conchuela

Posterior a la recepción de conchuela, se transporta hacia un apilador de faja circular, cuya función es homogenizar el material a granel almacenado y formar una reserva de material entre la alimentación y la preparación, dentro de un domo. Aquí se almacena la conchuela y con el reclamador se realiza el despacho para la siguiente fase del proceso.



Figura 1.4. Apilador de faja circular.

Fuente: Foto de autor.

1.3.1.2.Recepción y almacenamiento de adiciones de crudo

Se considera como adiciones de crudo, a los materiales agregados a la conchuela para aportar diversas propiedades a la harina de crudo, previo a su molienda. Estos materiales son el hierro, la arcilla y la arena.

La diferencia con el almacenamiento de conchuela está en que no se realiza en forma circular sino lineal. Se utiliza un apilador de faja, que a su vez cuenta con un reclamador, ambos operados manualmente y tienen con sensores para evitar posibles colisiones.



Figura 1.5. Reclamador de apilador de faja.

Fuente: Foto de autor

1.3.1.3.Recepción y almacenamiento de adiciones de cemento

Se considera como adiciones de cemento, a los materiales agregados al clínker para aportar diversas propiedades al cemento previo a su molienda. Estos materiales son el yeso, la puzolana, la escoria y la conchuela correctora, conocida así por su bajo nivel de cloro. El almacenamiento y reclamo de los materiales es similar a los descritos anteriormente.

1.3.1.4.Recepción y almacenamiento de carbón

Se reciben dos tipos de carbón: el carbón fino y el carbón antracita, los cuáles luego de su proceso de molienda, se utilizan como combustible en el quemador del precalentador. El almacenamiento y reclamo del carbón es similar a los descritos anteriormente.

1.3.2. Molienda de crudo

1.3.2.1.Alimentación al molino

Este proceso comienza con la recepción de materiales que provienen del hangar de adiciones de crudo, se transporta la arcilla, el hierro y la arena en una faja de cien metros con una pendiente ascendente; del mismo modo en otra faja, se transporta la conchuela que viene del domo. Los materiales desembocan en chutes de descarga adyacentes a compuertas de desvío, con la finalidad de distribuir los materiales en sus tolvas correspondientes. Solo en el caso de la compuerta que recibe los materiales de adiciones de crudo, es necesario una faja transportadora de doble sentido, la cual funciona por un sistema de arranque por contactor reversible.

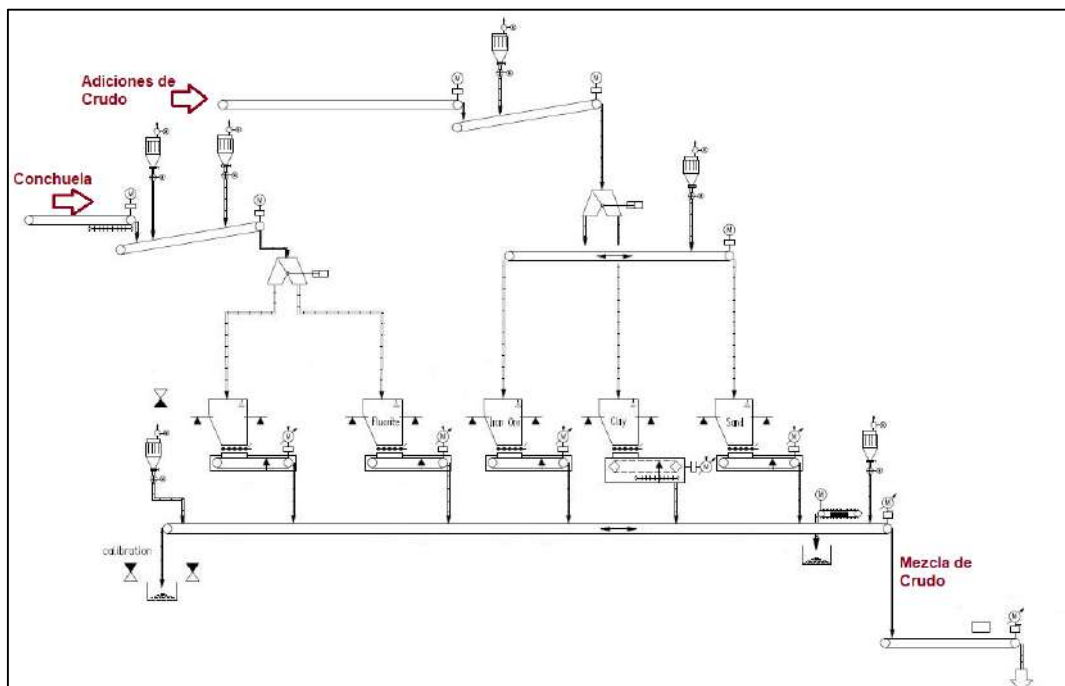


Figura 1.6. Flujo de recepción de materiales para molienda de crudo.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Cada tolva alimenta a una balanza dosificadora, que es similar a una corta faja transportadora, pero con celdas de pesaje que sirven para controlar la dosis del material en toneladas por hora. Estas balanzas son operadas desde sala de control por el personal de Producción, que a su vez recibe la receta del área de Control de calidad. Las balanzas dosificadoras alimentan a una faja transportadora de doble sentido, que puede llevar la mezcla de crudo hacia la siguiente fase del proceso o hacia un contenedor de material no apto.

Se utilizan separadores magnéticos y detectores de metales como protecciones contra materiales metálicos, puesto que, estos de ninguna manera pueden llegar al molino de crudo porque sería perjudicial para la mesa de dicho equipo.

Luego de dosificar los materiales de manera correcta, se traslada la mezcla de crudo en un elevador de cangilones tipo cadena, este equipo asciende el material unos 30 metros para que de esta manera pueda ingresar posteriormente al molino, a través de una esclusa de alimentación. Cabe resaltar la inclusión de una tolva de rechazo para el descarte del crudo en caso no pase los parámetros de calidad.

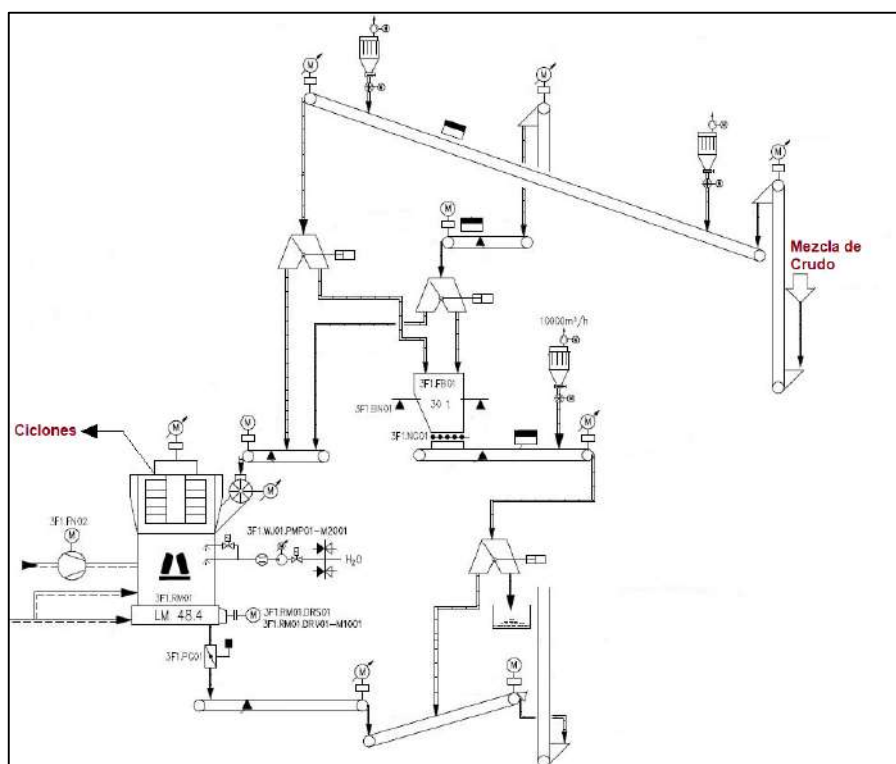


Figura 1.7. Flujo de alimentación del molino.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.2.2. Molino de crudo y recirculación

Para el proceso de molienda, se utiliza un molino vertical LM y LDC 48.4 (Molino y Clasificador LOESCHE Dinámico con una mesa de 4.8 metros de diámetro nominal y 4 rodillos master), el cual tiene una tasa de rendimiento de hasta 250 toneladas por hora y trabaja a presión negativa, originada por un ventilador de aire inducido, conocido como ID Fan.

El crudo cae de la esclusa de alimentación a una resbaladera en el interior del molino, la fuerza de gravedad y una corriente de gas (gases calientes del horno) llevan el material hasta el plato giratorio. La molienda se efectúa mediante la presión y la fricción generadas por el sistema hidroneumático de los rodillos. El material se tritura mediante los rodillos que hay sobre el plato y luego se lleva hacia el separador mediante una corriente de gas caliente. El contacto de la arenilla con el gas caliente provoca la evaporación instantánea de la humedad del material a moler. El material se seca hasta que su superficie tiene una humedad residual menor a uno por ciento.

El clasificador no deja pasar el material que todavía no haya alcanzado su grado de fineza final, de acuerdo con el ajuste seleccionado. El material se devuelve al circuito de arenilla interno para volverlo a triturar en el plato con los rodillos. El producto finalizado atraviesa el separador con la corriente de gas caliente en dirección al separador de polvo.

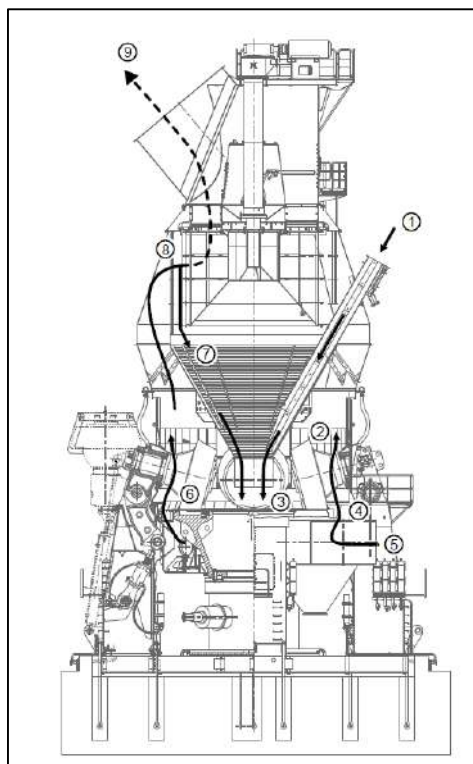


Figura 1.8. Flujo de funcionamiento del molino de crudo

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Leyenda

- | | |
|---|---|
| 1. Entrada del material de molienda. | 6. Los rodillos muelen el material. |
| 2. El flujo de gas caliente intercepta el material. | 7. El clasificador rechaza material. |
| 3. El material de molienda cae por una rampa. | 8. El material se clasifica en los álabes del clasificador. |
| 4. El gas caliente fluye por el anillo de paletas. | 9. Salida de material. |
| 5. Entrada de gas caliente proveniente del horno. | |

El material que no alcanza la finura deseada y es rechazado del molino sale por un ducto y una válvula pendular hacia una faja transportadora, que lo lleva hasta un elevador de cangilones tipo banda para que comience el proceso otra vez. De esta manera, se optimizan las pérdidas.

1.3.2.3. Filtración del proceso de crudo

Para el proceso restante se utilizan presiones negativas, con la finalidad de facilitar el transporte en los ductos y aumentar la eficiencia de las operaciones. Es por eso, que se utiliza un ventilador de tiro inducido para el molino de crudo, el cuál succiona la harina de crudo hasta unos ciclones, los cuáles cumplen la función de separar los gases calientes del polvo.

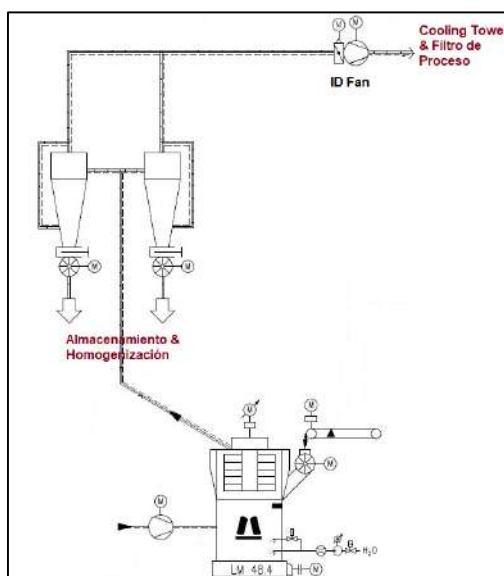


Figura 1.9. Flujo de enfriamiento y filtración de crudo I.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

El polvo, es decir, la harina de crudo sale por la parte inferior de los ciclones hacia la siguiente fase del proceso, el almacenamiento y homogenización; mientras que, los gases calientes salen por la parte superior para ser transportados a través de los ductos y regulados por compuertas de persianas hacia la torre de enfriamiento de proceso.

También conocida como “Cooling Tower”, esta torre vacía con aspersores, tiene como finalidad enfriar los gases con agua, para luego expulsarlos mediante una chimenea, y recuperar una parte de material que se encuentra en el polvo; al caer por gravedad hacia un transportador de tornillo.

Luego de la torre de enfriamiento, se encuentra el filtro de proceso de crudo, que es fundamental para el cuidado del medio ambiente, así como para la reutilización de material. Este filtro inmenso es capaz de recuperar hasta 386 mil metros cúbicos por hora de harina de crudo, el material recuperado del filtro cae en un transportador de tornillo y finalmente se une con el material de la “Cooling Tower” en un transportador de paletas de aproximadamente 30 metros con inclinación ascendente hacia la siguiente etapa del proceso.

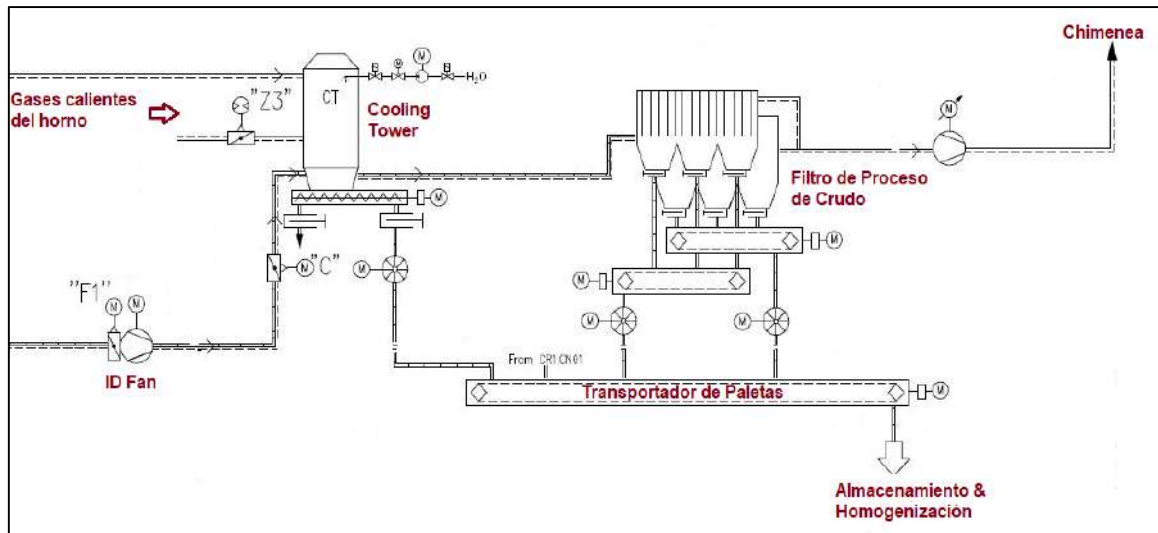


Figura 1.10. Flujo de enfriamiento y filtración de crudo II.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.3. Homogenización y almacenamiento de crudo

En esta parte del proceso, se encuentra el silo de crudo tipo BL, que almacena y homogeniza el crudo previo al calentamiento. Es decir, sirve de almacén con una capacidad de 12 mil toneladas, para la fluidificación del material. La alimentación del material al silo tiene lugar de manera continuada y por medio de un sistema de distribución compuesto por 6 canaletas.

La harina de crudo se almacena entre la parte superior y el cono del silo. El nivel de llenado en el silo se determina por medio de un interruptor de nivel; de tal manera que, si se tiene un nivel superior al 95% del total, se detiene la alimentación. Por consiguiente, se detiene el proceso de molienda de crudo por silo lleno.

En el espacio que hay debajo del cono del silo, se encuentran la ventilación y la desaireación de dicho cono para evitar la acumulación excesiva de calor. Las cajas de ventilación introducen aire en el material a granel almacenado. Ocasionalmente, que el material se afloje y puede fluir con mayor facilidad. Debido a las superficies de fondo inclinadas, el material a granel fluidificado pasa a través de los chutes de salida del silo, al sistema de aparatos de descarga posteriormente conectados.

Las cajas de ventilación y los canales de salida del silo reciben suministro de aire por medio de tuberías. Esta aireación es generada por los sopladores, que tienen una función análoga a la de los compresores, con la diferencia que suministra caudal, en lugar de la presión del aire. El caudal de aire se puede ajustar con válvulas manuales.

Se va produciendo, de una manera continuada, la descarga del material a granel. El material fluye desde cada uno de los sectores de ventilación del silo y a través del sistema de aparatos de descarga hasta llegar a la cámara de mezcla.

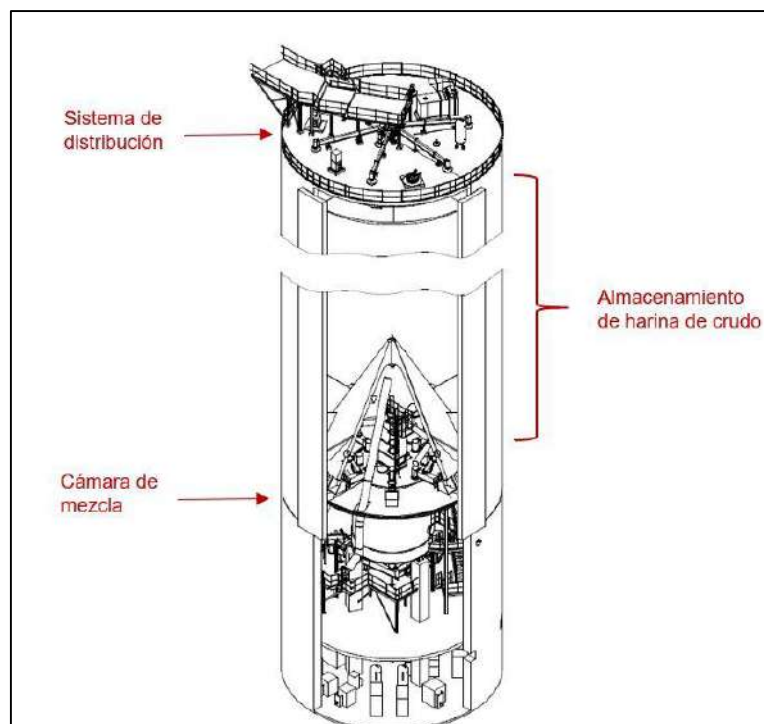


Figura 1.11. Dibujo de silo de crudo tipo BL.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

De igual manera, hay un interruptor limitador del nivel de llenado, que sirve para supervisar el nivel de llenado máximo en la cámara de mezcla. Además, hay una celda de dinamométrica que contribuye a la supervisión del nivel de llenado.

La cámara de mezcla también tiene un sistema de aparatos de descarga los cuales descargan hacia un aerodeslizador, que es una canaleta con un ventilador. Este equipo descarga la harina de crudo en un elevador de cangilones tipo banda, el cual lo transporta hasta la parte superior del precalentador de 120 metros de altura, listo para el precalentamiento.

1.3.4. Molienda de carbón

1.3.4.1. Alimentación al molino

Similar al proceso de crudo, llega el material proveniente del hangar en fajas transportadoras hasta las balanzas dosificadoras de antracita y carbón fino donde se suministra según el porcentaje requerido de humedad, cloro, etc. Luego, cada balanza descarga el material en un transportador de cadenas, el cual tiene un torque de 5000 N-m para aguantar los trabamientos mecánicos.

A diferencia del proceso de crudo, en el carbón no se usa un alimentador rotativo, por lo corrosivo del material. Por lo que, los transportadores de cadena descargan en un solo transportador de tornillo previo al molino.

Para el proceso de molienda de carbón, se utiliza un molino vertical LM y LDC 23.2 (Molino y Clasificador LOESCHE Dinámico con una mesa de 2.3 metros de diámetro nominal y 2 rodillos master), el cual tiene una tasa de rendimiento de 20

toneladas por hora y trabaja a presión negativa, originada por un ventilador de aire inducido.

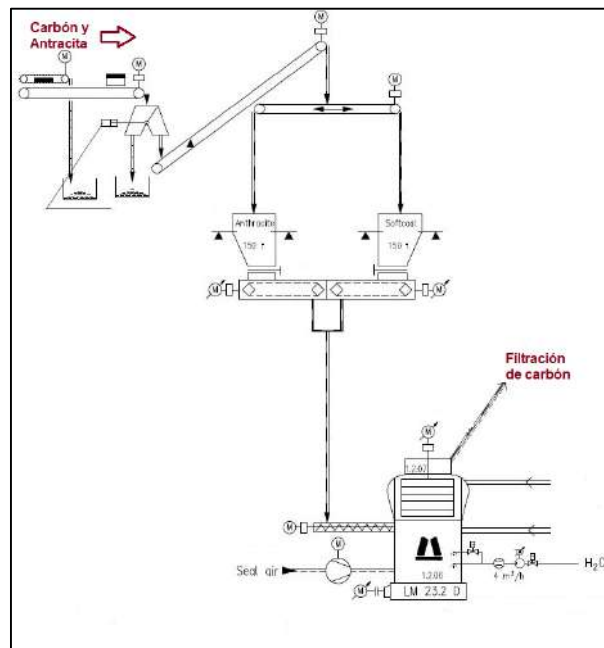


Figura 1.12. Flujo de molienda de carbón I.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.4.2. Filtración del proceso de carbón

El carbón es molido, del mismo modo que el crudo. Luego de la molienda, el material es succionado a través de los ductos por el ventilador de tiro inducido, hasta el filtro de proceso de carbón. De igual manera que el proceso de crudo, el filtro solamente deja pasar los gases y el carbón molido es dirigido hacia un transportador de tornillo y finalmente a dos pequeños silos, conocidos como tolvas.

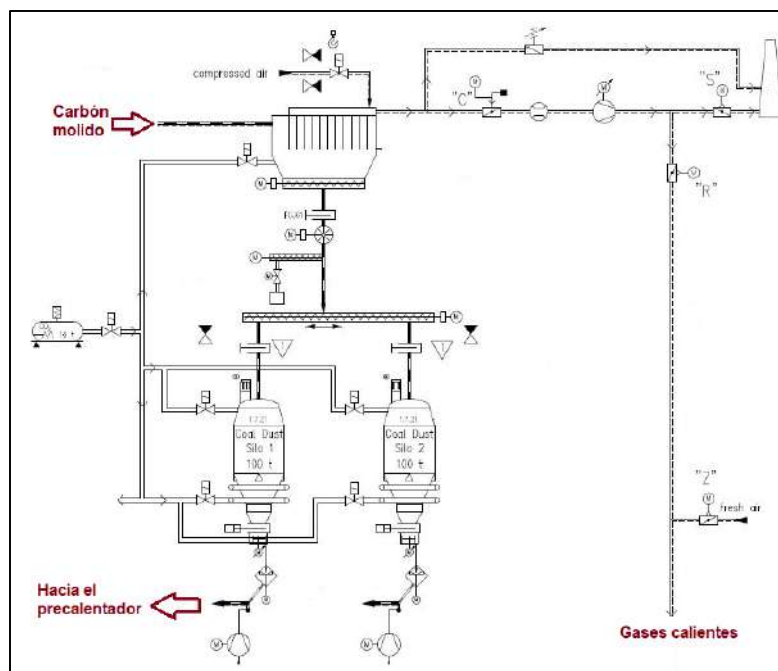


Figura 1.13. Flujo de molienda de carbón II.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

El carbón se usa como combustible en el proceso de precalentamiento, por lo que es necesario la alimentación de carbón molido de manera constante al precalentador. Por esto, se utiliza dos silos de carbón: uno de antracita y otro de carbón fino, para tener de reserva y la alimentación no sea interrumpida.

1.3.5. Precalentamiento y clinkerización

1.3.5.1. Precalentamiento del material

El material del silo de crudo, que ha sido transportada hasta la parte superior del precalentador, es dosificado por una esclusa celular doble. Este equipo, además de alimentar harina de crudo con una capacidad de 203 toneladas por hora, se usa como dispositivo de cierre de aire, para que no haya filtraciones de aire que varíen la presión y la temperatura, parámetros muy importantes en el proceso. En el cual se trabajan con presiones negativas, debido al ventilador de tiro inducido que succiona el aire del enfriador Polytrack y los gases calientes del horno, a través de todo el precalentador.

En el precalentador hay dos etapas, que es necesario explicarlas por separado: La calcinación y la alimentación al horno. La primera, es el proceso de calentar a temperatura elevada ($600\text{ }^{\circ}\text{C} - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) en los ductos del calcinador el material con la finalidad de eliminar la humedad, el dióxido de carbono existente. Específicamente, en esta planta el calcinador tiene tres entradas de alimentación de crudo provenientes del ciclón 2, y una entrada del ducto de aire terciario, que transporta los gases calientes del quemador y el enfriador. Luego, el material calcinado es alimentado al ciclón 1.

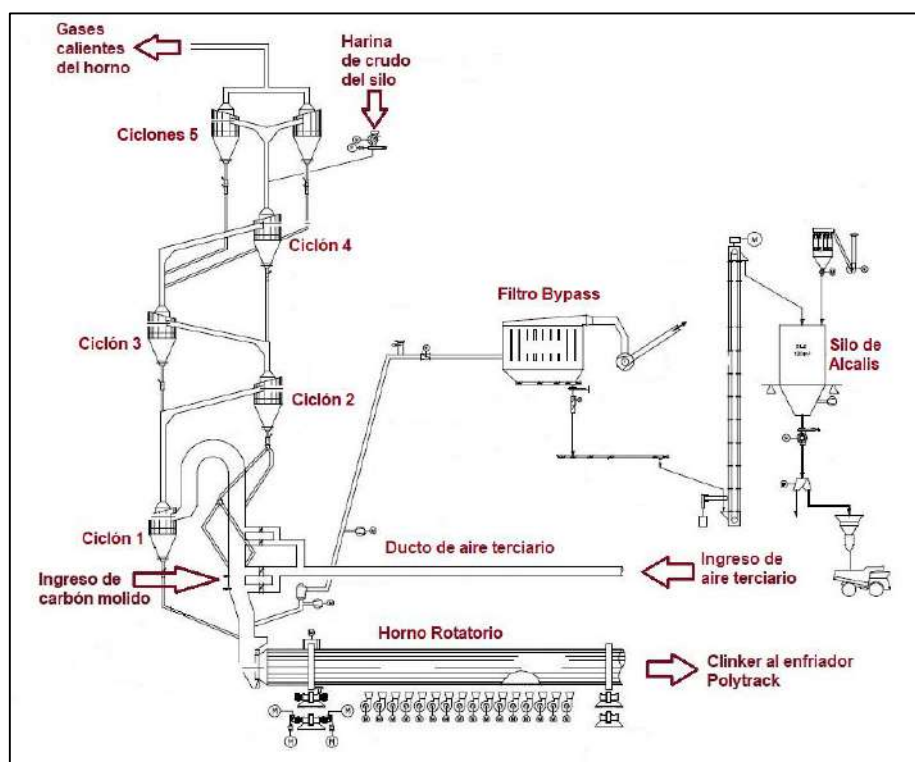


Figura 1.14. Flujo de precalentamiento y horneado.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

La alimentación al horno, inicia con la harina de crudo que se dosifica en el ducto de alimentación, entre los ciclón 5 y el ciclón 4, de esta manera, la mayor parte del

material sube en forma de polvo (por la succión constante del “id fan”) hasta los ciclones 5. En este punto, se produce una separación ciclónica entre el gas caliente y la harina de crudo, siendo este último expulsado por la parte inferior hasta alimentar al ciclón 3. De igual manera, se separa el gas del material y se alimenta al ciclón 1. Finalmente, el material desciende a través del ciclón a la zona de rampa conocida como “cuchara” que se encuentra a unos 900 °C, y posteriormente al horno rotatorio para producir clínker.

Cabe resaltar la presencia de los álcalis, que son elementos nocivos pero inherentes en la reacción química de sinterización, realizada dentro del horno. Estos álcalis, son extraídos mediante el “by pass” a un filtro, para luego ser almacenados en un silo y desechados en camión.

1.3.5.2.Horneado

Se utiliza para cocer la harina de crudo en fragmentos pequeños de clínker, el horno rotatorio de 60 m de largo por 4.2 m de diámetro y con una capacidad de hasta 3 mil toneladas por día. Para ello se encuentra un quemador Polysius en la salida del horno.

El material de alimentación aportado en la entrada del horno rotatorio es conducido mediante la inclinación de 3° y el movimiento giratorio del horno hacia la salida. La cabeza del horno, hace de cierre hermético al aire y sirve de enlace con la siguiente unidad. Para su protección, así como para evitar que se produzcan fuertes pérdidas de calor, el horno está provisto de un revestimiento refractario especial, en forma de ladrillos.

El horno se apoya en dos estaciones de rodillos de rodadura (una motriz y otra de apoyo). La estación motriz cuenta con dos motores de 330 kW con un reductor cada uno, que transmite un par de accionamiento a un rodillo y este por fricción con el aro de rodadura del horno produce su rotación. Mientras que, la guía del horno en dirección axial se realiza mediante un dispositivo de posicionamiento longitudinal.



Figura 1.15. Horno rotatorio 3000 TPD.

Fuente: Foto de autor.

El quemador se encarga de generar calor en el horno. Es alimentado por gas natural y oxígeno proveniente de tres ventiladores: un primario, un secundario y uno de

refrigeración. Además, posee un dispositivo para controlar la orientación de la llama; y mediante válvulas automatizadas se puede controlar la intensidad de esta, que puede alcanzar una potencia térmica de 213 GJ por hora.



Figura 1.16. Quemador Polysius.

Fuente: Foto de autor.

Para iniciar la combustión se utiliza el quemador de encendido, que consta de una lanza de gas y una cabeza del quemador. Con este dispositivo, se enciende el combustible de arranque por chispa. La corriente eléctrica se suministra a través de conexiones flexibles, y se puede controlar la llama para el encendido mediante un electrodo de ionización.

1.3.5.3. Enfriamiento de clinker

En este proceso se utiliza el enfriador Polytrack, técnicamente llamado como enfriador de clinker con trituradora intermedia, que tiene la parte superior de la carcasa provista por un revestimiento refractario y limitada por arriba mediante una cubierta refractaria. Para el enfriamiento del material se insufla aire frío desde abajo, suministrado por 9 ventiladores centrífugos de alto rendimiento, a través del fondo de aireación, y a través de la capa de material a enfriar.

El material a enfriar procedente del horno rotatorio, cae a través de la tolva de entrada del enfriador sobre una parrilla estática. El aire calentado es extraído de la parte superior de la carcasa, empleándose posteriormente en el precalentador como aire terciario. Luego, las barras transportadoras que se encuentran por encima de la parrilla, se desplazan empujando el clinker acumulado sobre ella, hasta llegar a tres trituradoras accionadas hidráulicamente, las cuáles disminuyen el tamaño del clinker. Finalmente, el material cae a la segunda parrilla para luego salir del enfriador.

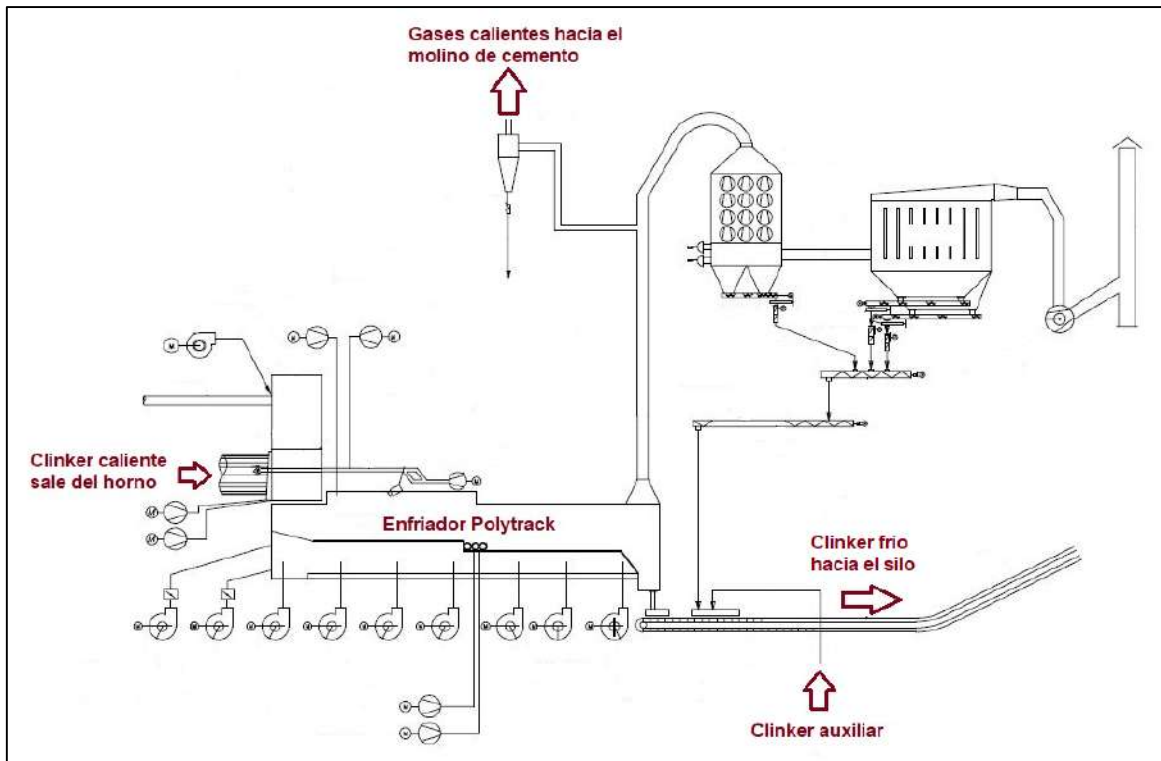


Figura 1.17. Flujo del enfriamiento de clínker.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Luego de ser enfriado, el clínker cae en un transportador de placas de 60 metros de longitud, listo para su transporte hacia el siguiente proceso. Mientras que, los gases calientes son llevados al molino de cemento, y a un intercambiador de aire industrial que consta de 15 ventiladores axiales, cuya función es enfriar los gases previos al filtro de proceso del enfriador, para que finalmente puedan ser expulsados al exterior mediante una chimenea.

También, hay una entrada para depositar clínker auxiliar, es decir, fabricado en otras plantas. Su uso no es muy frecuente, porque solo se usa en las paradas de plantas por mantenimiento del horno o cuando se quiere corregir la calidad del clínker fabricado en planta.

1.3.5.4. Almacenamiento de clínker

El clínker llega hasta la parte superior del silo, y descarga mediante un chute en una caja de distribución, que es un equipo con dos compuertas accionadas por dos motorreductores, para distribuir el clínker según su grado de calidad: Incozido y apto.

El clínker incozido, es decir, aquel que no se ha clinkerizado bien o tiene altos grados de azufre, se almacena en un silo diferente, para su venta *a posteriori* o para su dosificación en menor cantidad al proceso de molienda de cemento; buscando de esta manera no afectar la calidad del producto final.

El clínker apto se almacena en un silo con una capacidad de hasta 46 mil toneladas. Este silo tiene sensores de nivel para monitorear en tiempo real su porcentaje de llenado. La descarga del silo es de manera subterránea, por medio de unas válvulas casco hacia un

transportador de placas, y este hacia otro equipo similar, así el clínker es transportado hasta llegar a la recepción del proceso de molienda de cemento.

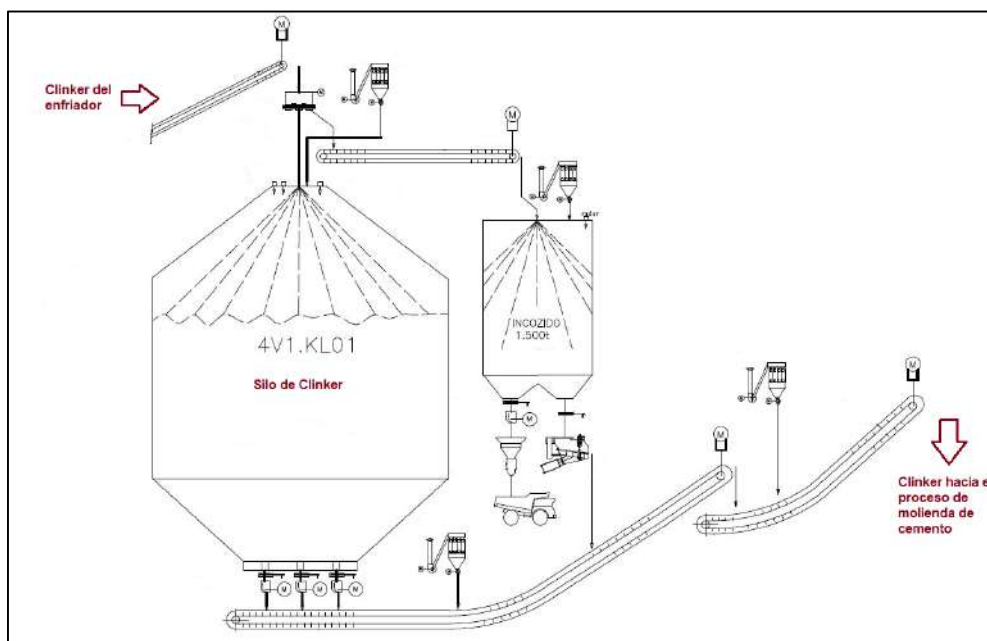


Figura 1.18. Flujo del almacenamiento del clínker.
Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.6. Molienda de cemento

1.3.6.1. Alimentación al molino

El proceso de molienda de cemento, comienza con la recepción de materiales que provienen del hangar de adiciones de cemento, transportados en una faja de cien metros de longitud para la conchuela correctora, puzolana, yeso y escoria. Los materiales desembocan en chutes de descarga adyacentes a compuertas de desvío, con la finalidad de distribuir los materiales correctamente. Además, se utilizan fajas de doble sentido para almacenar el material en sus tolvas correspondientes.

Las tolvas tienen una capacidad de almacenamiento desde 100 hasta 400 toneladas. Luego, se descarga el material en las balanzas dosificadoras, las cuales alimentan a una faja, controlando las toneladas por hora del material; esta parte del proceso es similar al de la molienda de crudo. El transporte de clínker es realizado de manera directa hacia su tolva, mediante transportadores de placas. Luego, de manera análoga se dosifica mediante una balanza.

Cabe resaltar, que se intensifican las protecciones de detectores de metales y separadores magnéticos en las fajas transportadoras para evitar daños en el molino de cemento.

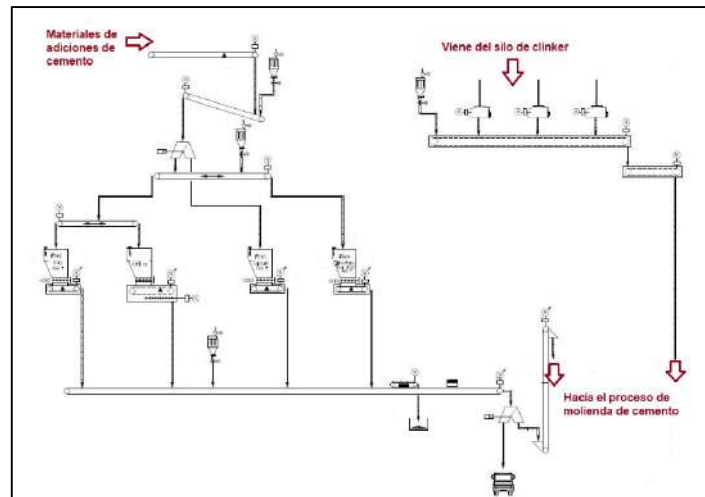


Figura 1.19. Flujo de recepción de materiales para molienda de cemento.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

La mezcla de adiciones de cemento llega hasta una compuerta de desvío con accionamiento neumático, que descarga el material en dos direcciones: la primera, descarga en la tolva de camiones por no tener la calidad requerida o continúa el proceso en un elevador de cangilones tipo cadena.

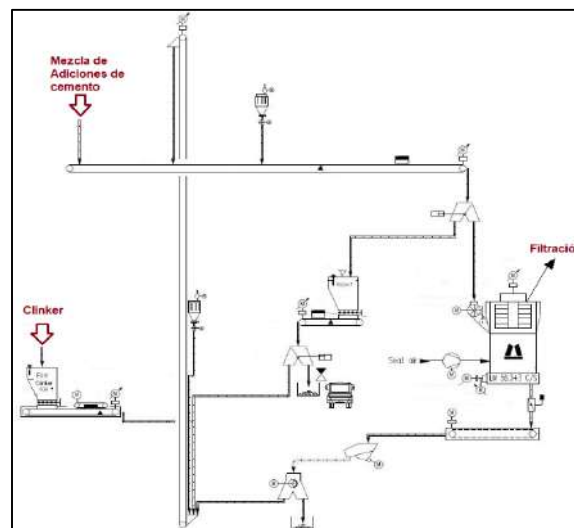


Figura 1.20. Flujo de alimentación al molino de cemento.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

El clíinker es transportado hacia la parte superior, mediante un elevador de cangilones tipo faja. Se descarga en una faja transportadora ubicada horizontalmente, donde también se agregan la mezcla de adiciones de cemento y el clíinker de recirculación, que es el material desecho del molino. Finalmente, la faja desemboca en un alimentador rotativo, igual que, en la molienda de crudo.

1.3.6.2. Molino de cemento

Para el proceso de molienda, se utiliza un molino vertical LM y LDC 56.3 + 3 (Molino y Clasificador LOESCHE Dinámico con una mesa de 5.6 metros de diámetro nominal, 3 rodillos master y 3 rodillos esclavos), el cual tiene una tasa de rendimiento de

230 toneladas por hora y trabaja a presión negativa, originada por un ventilador de aire inducido.

La diferencia de este molino con el de crudo y carbón, no solo está en la capacidad. Este molino tiene 6 rodillos: 3 tipo master, al igual que los demás molinos verticales y 3 tipo esclavo o seguidores, los cuáles se encargan de guiar el material hacia los rodillos.

Otra diferencia, es el modo de encendido del motor. Para este molino se utiliza un arrancador eléctrico, que disminuye la corriente de arranque del motor eléctrico WEG, que tiene una potencia de 5.5 MW. Además, posee un motor auxiliar, que solo se utiliza para el mantenimiento y soldadura de la mesa del molino.



Figura 1.21. Molino de cemento.

Fuente: Foto de autor.

1.3.6.3.Filtración de cemento

Después del proceso de molienda, el cemento es succionado hasta el filtro de proceso, esto ocasionado por el ventilador de tiro inducido. Aquí, al igual que en el proceso de crudo, se filtra el aire para expulsarlo al exterior mediante una chimenea. Mientras que, el cemento es descargado en aerodeslizadores.

Estos equipos son canaletas, con uno o más ventiladores, que suministran aire por un canal de aireación para facilitar el transporte del material a granel. De esta manera, se transporta hasta un elevador de cangilones tipo faja de aproximadamente unos 115 metros de altura, el más largo de la planta Piura, para finalmente ser almacenado.

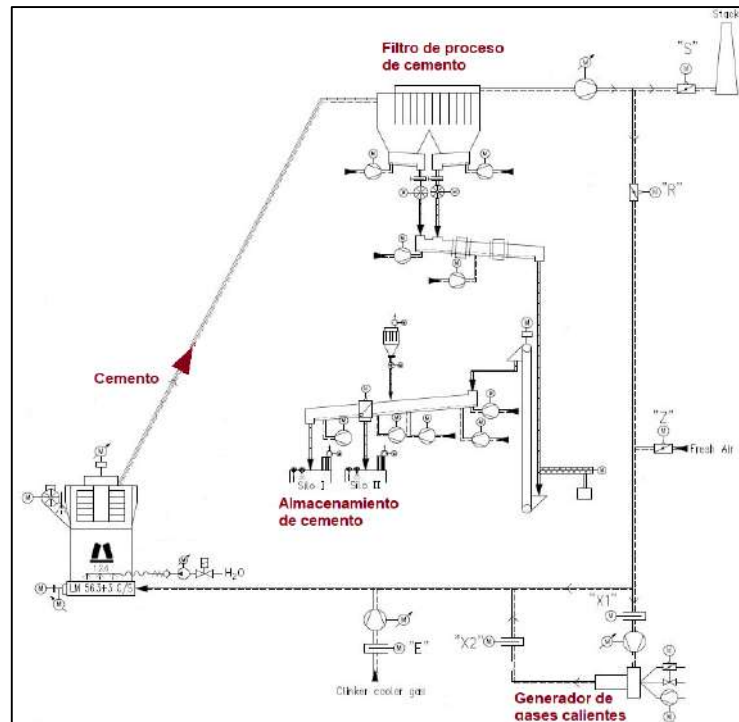


Figura 1.22. Flujo de filtración del proceso de cemento.
Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.7. Almacenamiento y embolsado

1.3.7.1. Almacenamiento de cemento

El almacenamiento, se realiza de acuerdo al tipo de cemento. En la planta Piura, actualmente se producen dos tipos, por lo cual, solo hay dos silos de cemento. Se conocen técnicamente como silos de almacenamiento tangencial, tienen una capacidad de 12 mil toneladas cada uno.

Los silos de cemento, tienen un funcionamiento similar al del silo de crudo. Por lo que, la alimentación es realizada por un distribuidor superior, luego en la cámara del silo se almacena el material. Se vacía de forma continua, a través de los bastidores de descarga hacia la cámara central. De este equipo, se distribuye cemento por el sistema de descarga hacia las salidas correspondientes.

Cada silo tiene tres salidas: una se dirige hacia el despacho por camión, se denomina así, a la venta de cemento por toneladas, de manera directa en un camión. Las otras dos salidas, se dirigen hacia los aerodeslizadores, una para cada línea de embolsado.

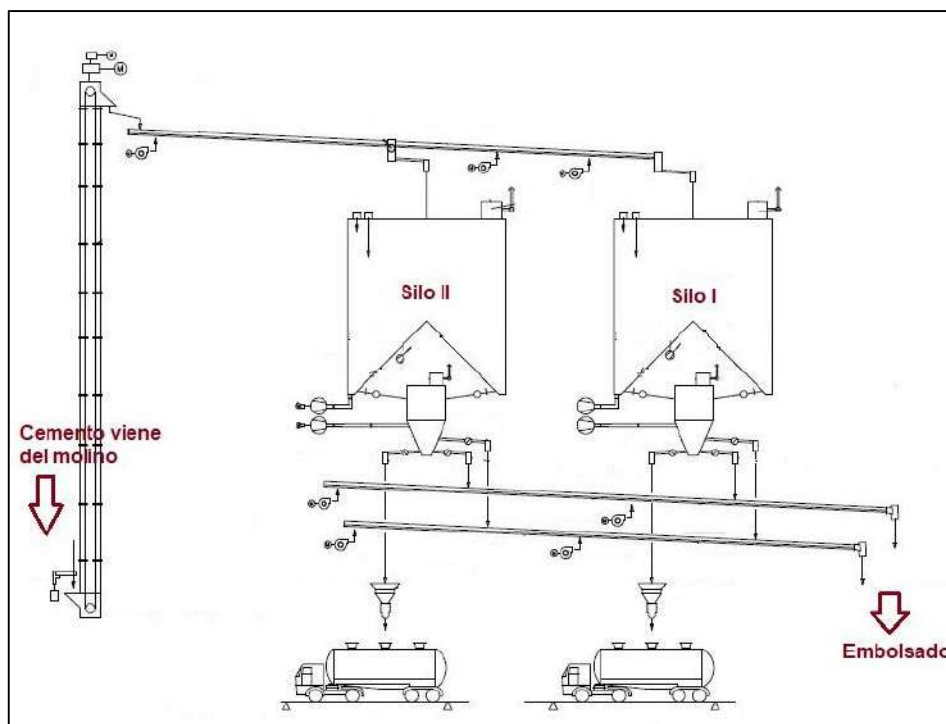


Figura 1.23. Flujo de almacenamiento de cemento.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

1.3.7.2. Embolsado

El cemento transportado en los aerodeslizadores, se descarga en un elevador de cangilones tipo faja. Este equipo, transporta el material hasta la parte superior del edificio de embolsado, para poder descargar en una válvula de desvío. Cuya función es distribuir el cemento, hacia la criba vibrante o hacia la línea Big Bag. Esta línea, actualmente no se encuentra operativa, pero se utilizará para la venta de cemento en bolsas grandes, que tienen una capacidad de una tonelada.

La criba vibrante sirve como colador, para lograr una finura mayor y facilitar su embolsado. Luego de ser colado, el cemento cae hasta una tolva cónica, que tiene la función similar a un embudo. Debajo de la tolva, se encuentra el alimentador de paletas rotativo, que dosifica el material hacia la ensacadora rotativa Giromat GEV10. Este equipo fabricado en Italia, tiene la capacidad de embolsar hasta tres mil sacos por hora, y cuenta con 10 bombas centrífugas.

Para poder embolsar el cemento, primero se debe suministrar los sacos vacíos. Esta función es realizada por el alimentador Noriamat, que es operada por un técnico para colocar los sacos de manera segura y precisa en el aplicador Infilrot Z40. Para que este equipo, con el uso de una bomba de vacío y correas, empuje los sacos hacia las boquillas de la ensacadora mientras está girando.

Los sacos vacíos se cierran con la presión de llenado, es decir, poseen un agujero donde entra la boquilla de la ensacadora rotativa, pero al llenarse rápidamente con cemento. Se genera una presión en el interior del saco que cierra el agujero.

La ensacadora posee pistones neumáticos en la base donde se apoyan los sacos, de manera que, al llenarse estos pistones se accionan y botan el saco hacia un grupo de

pequeñas fajas, denominado sistema de tratamiento de sacos Ventosort Cube, gestionado por un SCADA que monitorea toda la línea de embolsado, mediante señales que recibe o envían los aparatos conectados.

En la primera parte de este grupo, está la cinta evacuadora, que recibe el saco de la ensacadora y lo traslada hacia la cinta estabilizadora, esta posee rodillos cuadrados que sacuden cemento. El proceso continúa con la cinta limpiadora, que con una serie de boquillas; limpian el saco de posibles acumulaciones de material durante el recorrido.

Este procedimiento es necesario, porque permite enviar los sacos totalmente limpios hacia el pesaje. El saco se pesa en la cinta Ventocheck, la cual envía una señal análoga a la cinta rechaza sacos. De esta manera, el saco de cemento que pese exactamente 42.5 kg continúa el proceso hacia una faja transportadora. Por lo contrario, si pesa menos de lo requerido, se rechaza hacia la parte inferior de la línea de embolsado. Aquí pasa por la unidad cortadora de sacos, accionado por dos motorreductores. Finalmente, una especie de rejilla cilíndrica denominada separador de sacos, permite recuperar el cemento y recircularlo desde el comienzo del proceso.

La línea de embolsado posterior al Ventosort y la faja transportadora, continúa con el Paletizador Polimat C301, cuya operación es automatizada al 100%.

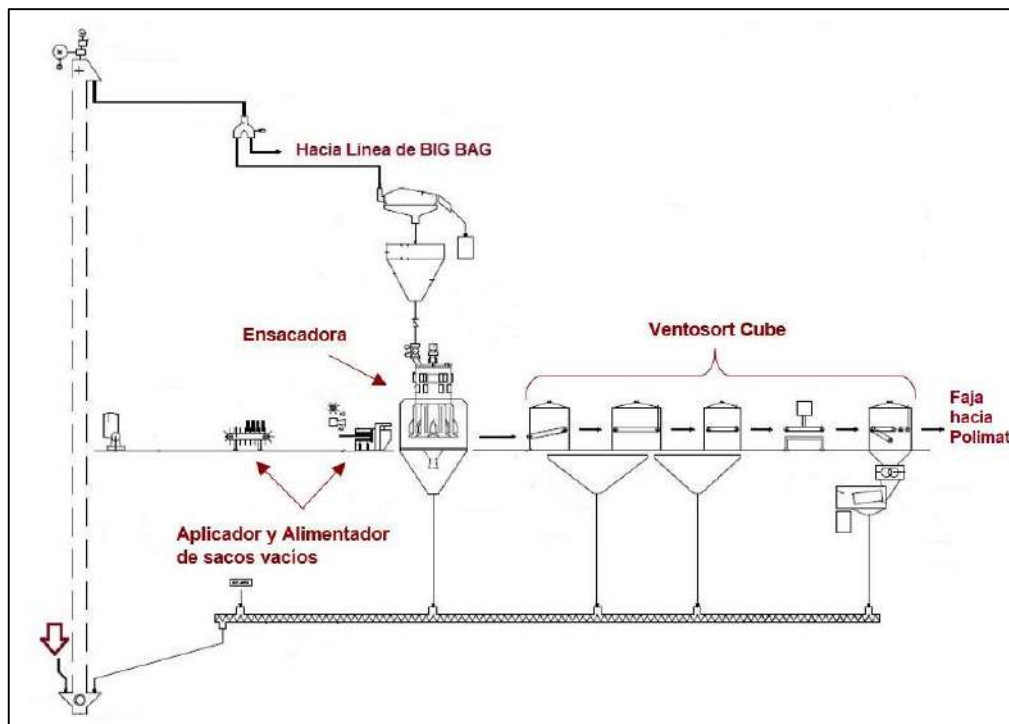


Figura 1.24. Flujo de embolsado de cemento I.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Este tipo de paletizador garantiza la máxima estabilidad y protección del producto durante las fases de manipulación de la cuadrilla de sacos. Sus funciones son distribuir, prensar, rotar y acomodar los sacos, de tal manera, que se puedan formar semicapas de varios sacos para almacenarlos, una vez formada una cuadrilla de 40 sacos de cemento. Además, tiene un alimentador y aplicador de pallets, que se encargan de la formación de la tarima y la evacuación de la misma.

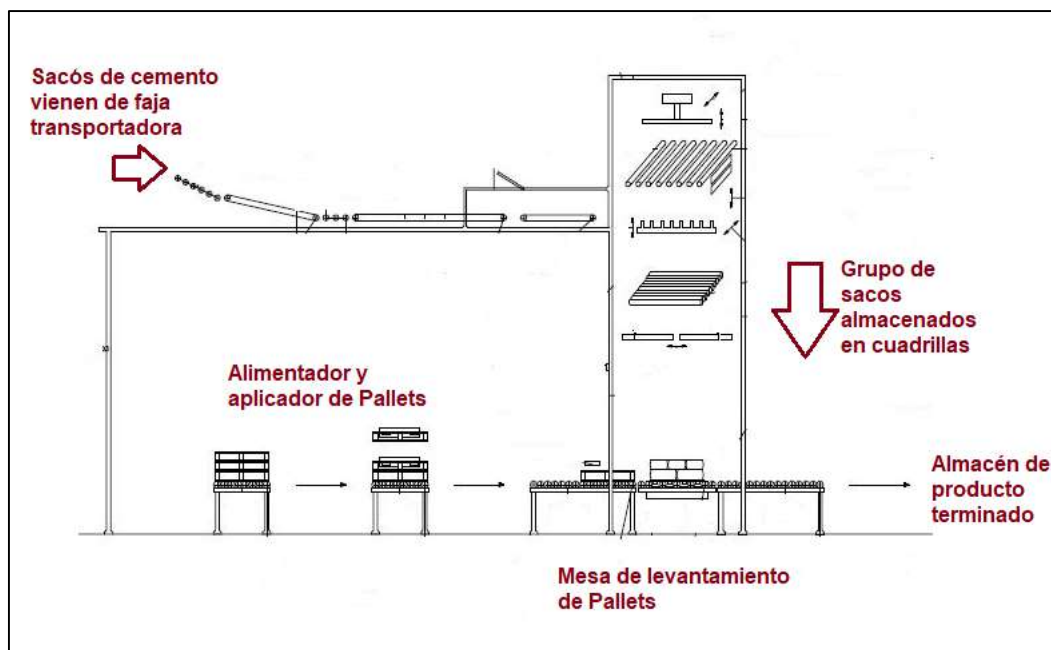


Figura 1.25. Flujo de embolsado de cemento II.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

El proceso en ambas líneas de embolsado es el mismo. De manera que, en cualquier emergencia o por mantenimiento se puede usar una línea para hacer cualquier de los dos tipos de cemento, debido a que, el control del sistema comienza desde el silo.

1.4. Datos del cemento producido

En la planta Piura se produce solamente dos tipos de cemento Portland: El Fortimax 3 (Anti salitre MS) y el Extra Forte (Cemento tipo ICo).



Figura 1.26. Tipos de cemento fabricados en planta Piura.

Fuente: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Bolsas-cpsaa-011.jpg>

1.4.1. Fortimax 3

Este cemento es conocido como tipo 5, y es obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland, yeso y materias calizas hasta un máximo de 5%. Se caracteriza por ser resistente a los sulfatos, y moderado calor de hidratación por sus componentes MS y MH. Además, tiene alta resistencia a cloruros, que son los factores de corrosión de las estructuras de acero.

Este cemento debe cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 150 o de la Norma NTP 334.044 para poder ser comercializado. Además, es común en las distribuidoras cementeras y ferreterías, por sus propiedades y aplicaciones descritas, a continuación:

Tabla 1.1. *Propiedades y aplicaciones del cemento tipo 5.*

Propiedades	Aplicaciones
- Moderada resistencia a los sulfatos. - Alta resistencia a los cloruros. - Resistente al agua de mar. - Moderado calor de hidratación	- Obras portuarias. - Concreto en clima cálido. - Estructuras de concreto masivo. - Pavimentos y losas.

Fuente: Elaborado por autor.

1.4.2. ExtraForte

El cemento compuesto Tipo ICo es obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%. Es de uso general recomendado para columnas, vigas, losas, cimentaciones y otras obras que no se encuentren en ambientes salitrosos.

El cemento Portland Tipo ICo no debe contener adiciones, excepto las señaladas en el ítem 7.11 de la NTP 334.090.

Tabla 1.2. *Propiedades y aplicaciones del cemento tipo ICo.*

Propiedades	Aplicaciones
- Mejor trabajabilidad. - Moderado calor de hidratación	- Obras de concreto y armado en general. - Morteros en general. - Pavimentos y cimentaciones.

Fuente: Elaborado por autor.

Capítulo 2

Sistema de filtración de polvo

2.1. Introducción

Para un correcto diseño mecánico de la válvula pendular, y posterior análisis de confiabilidad, es necesario conocer los fundamentos de las propiedades del material y del equipo que se utiliza en la planta Piura de Cementos Pacasmayo.

Sin embargo, en este capítulo el alcance solamente es teórico, por lo que, se presentan algunos principios matemáticos y ecuaciones que se utilizan para obtener el análisis de conservación de la masa y el análisis de esfuerzos mecánicos. Asumiendo condiciones ideales, en las que no se van a considerar factores externos como la extracción de aire, caudal de polvo filtrado variado, entre otras.

Así mismo, para realizar esta investigación, es imprescindible entender totalmente el funcionamiento de los sistemas de filtración de polvo. Así como, los sub equipos⁴ que posee y su mantenimiento respectivo, que será de utilidad más adelante para analizar la confiabilidad. Por lo que, en este capítulo se precisa conocer más del sistema de filtración de despolvorización, conocido como filtro de mangas. Pero, también se presenta el separador ciclónico, el cual es una alternativa usada en las fábricas de cemento, para diferentes parámetros de operación.

2.2. Fundamentos teóricos

En un sistema de filtración de polvo, siempre se trabaja con material a granel, el cual hace referencia a una mezcla granular o gruesa, que está presente de forma suelta y fluida. Las características de cada material a granel quedan determinadas por la granulación y la distribución de los granos, pero también por la temperatura del producto, la densidad aparente, la humedad y el ángulo de fricción.

En la planta Piura se utilizan como material a granel: Hierro, arcilla, arena, conchuela, yeso, escoria, puzolana y cemento. A lo largo del proceso de fabricación de cemento, el transporte de estos materiales presenta cambios de direcciones, ascensos y descensos; siendo estos últimos los causantes del levantamiento de polución. Por esto, se utiliza un sistema de filtración de polvo.

⁴ NOTA: Sub equipos son los dispositivos de menor clasificación pertenecientes a un equipo superior.

2.2.1. Propiedades del material a granel

Existen diferentes tipos de material a granel, sin embargo, el más importante es el producto final, es decir el cemento. En base a la producción de la planta donde se ha desarrollado este trabajo de investigación, se analiza el cemento Portland.

Cada tipo de cemento presenta diferentes características que dependen de su composición química. Son estas características las que influyen posteriormente en los resultados del cálculo en un análisis de un sistema dinámico. Las propiedades más influyentes de un cemento tipo Portland, en este campo de estudio, son:

2.2.1.1. Volumen

El volumen es una magnitud métrica de tipo escalar, definida como la extensión en tres dimensiones de una región del espacio. Se puede calcular multiplicando la longitud, el ancho y la altura del colector de polvo, que es donde se va almacenar el material antes de la descarga.

2.2.1.2. Densidad

La densidad de un material es la relación entre la masa de la sustancia y el espacio que ésta ocupa, es decir, el volumen. Se describe como la compacidad de un material o alguna sustancia. Además, se considera una propiedad intensiva ya que permanece constante en la sustancia, a pesar de que sus magnitudes como la masa y el volumen son consideradas propiedades extensivas.

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen} \quad [2.1]$$

La densidad del cemento puede expresarse en las siguientes unidades:
 $1000 \frac{kg}{m^3} = 62.428 \frac{lb}{pie^3}.$

2.2.2. Flujo másico de material

2.2.2.1. Caudal

Se define como el producto de la velocidad con la que un fluido fluye y el área por el que éste fluye. De modo que matemáticamente expresa el volumen por el que pasa por una sección en una determinada unidad de tiempo.

$$Q = V \cdot A \quad [2.2]$$

Donde:

V = Velocidad del fluido (m/s).

A = Área de la sección (m²).

2.2.2.2.Ecuación de la conservación de la masa

Expresa que el flujo másico de un material debe permanecer constante a lo largo de toda la trayectoria que éste recorre, a pesar de que la sección de su trayectoria, la velocidad o la densidad del material varíen.

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad [2.3]$$

Además, si se considera que el material es incompresible $\rho_1 = \rho_2$, se cumple que:

$$Q_1 = Q_2 = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad [2.4]$$

2.2.3. Propiedades mecánicas

Para el análisis de esfuerzos mecánicos sobre el sistema de filtración, se utilizará el criterio de máxima tensión de Von Mises, también conocida como teoría de la energía de distorsión máxima. Esta teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión.

2.2.3.1.Esfuerzo normal

Se define el esfuerzo axial o normal como la relación entre la fuerza aplicada y el área de la sección sobre la cual actúa. En otros términos, como la carga que actúa por unidad de área del material. En el Sistema Internacional se define con unidades de N/m^2 o Pascales.

$$\sigma_x = \frac{Fuerza_x}{Área_x} \quad [2.5]$$

$$\sigma_y = \frac{Fuerza_y}{Área_y} \quad [2.6]$$

2.2.3.2.Esfuerzo cortante

Se define como el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico. Impide que el objeto se deforme y así pueda mantener su rigidez. En el Sistema Internacional se define con unidades de N/m^2 o Pascales.

$$\tau_{xy} = \frac{V_{xy}}{Área} \quad [2.7]$$

Donde:

V_{xy} = Fuerzas cortantes en el plano xy (N).

2.2.3.3.Esfuerzo Von Mises

Existen dos métodos para el cálculo de la tensión máxima de Von Mises, aunque el resultado es el mismo se distinguen por ser numérico y gráfico.

- Método Directo: Es el método más simple, solo se reemplazan los valores determinados anteriormente.

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad [2.8]$$

- Método Círculo de Mohr: En este método se utiliza el círculo

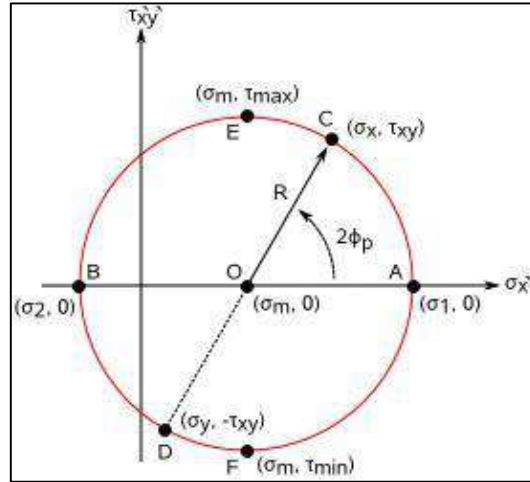


Figura 2.1. Círculo de Mohr.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/figura_3.jpg

De la gráfica se extraen los datos necesarios, para el cálculo del radio y centro:

$$Radio = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad [2.9]$$

$$Centro = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad [2.10]$$

A continuación, se calculan los esfuerzos:

$$\sigma_1 = Centro + Radio \quad [2.11]$$

$$\sigma_2 = Centro - Radio \quad [2.12]$$

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_2} \quad [2.13]$$

2.2.3.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad es el cociente entre el valor del límite de tensión, para la mayoría de casos se usa el límite de fluencia, y el valor del esfuerzo requerido realmente a que estará sometido, en este caso el esfuerzo de Von Mises.

$$F.S. = \frac{\sigma_{limite}}{\sigma_{equivalente}} \quad [2.14]$$

2.3. Equipo y proceso de filtración de polvo

Para separar las partículas de material del flujo de aire en la fabricación de cemento, se utilizan dos equipos: el separador ciclónico y el filtro de despolvorización, también conocido como filtro de mangas. Estos equipos, tienen similar objetivo pero diferente funcionamiento e incluso se utilizan para diferentes etapas del proceso.

Sin embargo, este trabajo de investigación solo se desarrolla con el filtro de mangas, el cuál justifica esta tesis, tras ocurrir un problema recurrente en la descarga del material.



Figura 2.2. Foto de filtro de mangas de planta Piura.
Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Anteriormente, en las industrias se utilizaban los precipitadores electrostáticos, para atrapar partículas mediante su ionización, atrayéndolas por una carga electrostática inducida. Sin embargo, la marca austríaca Scheuch revolucionó la limpieza para bolsas de filtro con el sistema de limpieza IMPULS en 1985, dirigido a las industrias que tenían problemas con la polución ocasionadas al transportar material a granel. Este equipo, además de captar el polvo para evitar la contaminación del medio ambiente, recupera las partículas sólidas del aire sucio y las regresa al proceso, de tal manera que reduce las pérdidas de manera eficiente. Es por esto, que es uno de los equipos más utilizados en las plantas de cemento.

Está fabricado en chapa de hierro de alta calidad, ya sea en base a paneles atornillados o como construcción soldada. Consiste en los elementos principales del cuerpo colector de polvo (embudo o cubeta), carcasa y cabezal del filtro.

2.3.1. Sub equipos y accesorios

Según el ISO 14224 (Norma para la recolección e intercambio de confiabilidad y datos del mantenimiento del equipo) la clasificación de los equipos se define con estos términos:

- **Clase de equipo superior:** Clase de unidades de equipo. Ejemplo: Todas las bombas.
- **Equipo Superior:** Unidad del equipo específica dentro de una clase de equipo. Ejemplo: Una bomba.

- **Sub equipo:** Ensamblaje de componentes que realizan una función específica que se requiere para una unidad de equipo, dentro del límite principal para ejecutar la función deseada. Ejemplo: El motor de una bomba.

Entonces, según esta taxonomía el filtro de mangas es el equipo superior y sus sub equipos son: un ventilador centrífugo, un motor para el ventilador, una esclusa, también denominada válvula rotativa, un motorreductor para esta.

También, es considerado como sub equipo, la instrumentación y control, es decir, todos los sensores y controladores como el sensor de revoluciones y la unidad de control del filtro. Además, se considera como un accesorio al grupo FR (Filtro Regulador), denominado unidad de mantenimiento.

2.3.1.1. Ventilador centrífugo

El ventilador es uno de los componentes principales del filtro de mangas. Está compuesto principalmente por una carcasa en espiral con toberas de admisión y abertura de escape, al rodete y al accionamiento. El medio de transporte entra a través de la tobera de admisión al rodete y se lleva por medio del movimiento de rotación a la corriente y se desvía en dirección radial.

En el rodete tiene lugar la conversión de energía mediante el conjunto de los álabes, es decir, la energía mecánica llevada al rodete a través del eje del motor de accionamiento se convierte en su mayor parte en energía hidrodinámica.

La carcasa en espiral convierte una parte de esta energía (presión dinámica), mediante el ensanchamiento constante en sección transversal (presión estática). El punto más estrecho entre la carcasa en espiral y el rodete se forma desde la lengüeta.

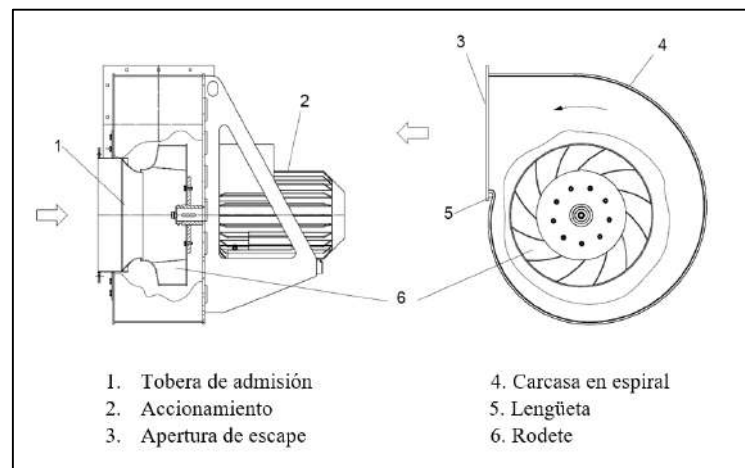


Figura 2.3. Esquema de partes de un ventilador centrífugo.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

2.3.1.2. Motor de ventilador

Se encarga del accionamiento del ventilador centrífugo. En la planta Piura para esta función, se utilizan motores de marca WEG modelo LENZE W22, los cuáles varían su potencia entre 6.3 kW para filtros donde no hay mucha polución hasta 53 kW para filtros en lugares con alta presencia de polvo, como en el proceso de embolsado.

2.3.1.3. Esclusa

La válvula rotativa, también denominada como esclusa de rueda celular, cumple la función principal de regular caudal del material entre la tolva inferior del filtro y la descarga hacia la línea del proceso respectivo, manteniendo un buen sello neumático. Para evitar ingreso de aire falso, que perjudique el proceso de filtración de polvo.

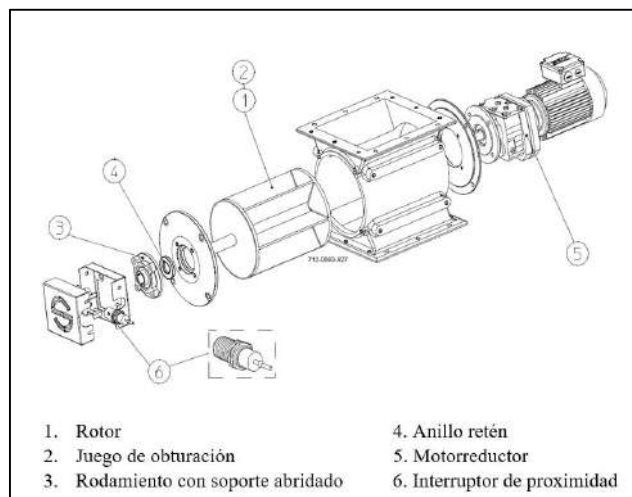


Figura 2.4. Esquema de partes de una esclusa.

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

2.3.1.4. Motorreductor de esclusa

Se encarga del accionamiento de la esclusa. En la planta Piura para esta función, se utilizan motorreductores de marca SEW-EURODRIVE, los cuáles varían su potencia entre 0.37 kW para filtros donde no hay mucha polución como en el proceso de crudo hasta 0.75 kW para filtros en lugares con alta presencia de polvo, como en el proceso de embolsado.

2.3.1.5. Instrumentación y control

En sala de control, un parámetro de seguimiento constante es el caudal que entra y sale del filtro. Por lo que, para poder tener una lectura de este parámetro, es necesario un detector de proximidad inductivo, también conocido como sensor de rotación, en la esclusa. Este dispositivo envía una señal pulsante hacia la esclusa y el sistema POLCID calcula la velocidad de rotación.

La unidad de control del filtro, se encarga de realizar el comando IMPULS de manera automática y ordena. Al conectarse el relé de arranque, emite impulsos por turno, indicación mediante un led. Al abrir el contacto de arranque se interrumpirá de inmediato la emisión de impulsos. Finalmente, si se vuelve a cerrar se continuará el proceso de limpieza con la siguiente salida, limpiando la siguiente fila de mangas. Y así continuamente, forma un ciclo.

2.3.1.6. Grupo FR

Este dispositivo no está incluido en instrumentación y control, sino en el área de mantenimiento mecánico. Es una combinación de los siguientes componentes:

- Un filtro de línea que elimina partículas de polvo en el aire comprimido y que al mismo tiempo suele ser coalescente para condensar agua en fase líquida.
- Un regulador de presión que permite de mantener la presión de trabajo en un valor adecuado para el componente que lo requiere, y además dicho valor debe ser constante, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red y del consumo de aire. La presión de trabajo es ajustable por medio de un tornillo.



Figura 2.5. Esquema de partes de un filtro regulador.
Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

2.3.2. Proceso de filtración mediante un filtro de mangas

El filtro de despolvorización es un separador filtrante con limpieza automática de las mangas de filtro mediante impulsos de aire comprimido automáticos, y sirve para la separación en seco de polvos contenidos en gases de escape de procesos.

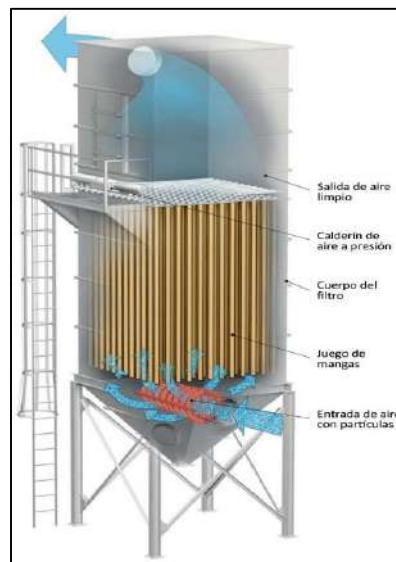


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un filtro de mangas.
Fuente: <http://www.gamohar.com/wp-content/uploads/2016/02/esquema-mangas.jpg>

El aire con partículas, absorbido por un ventilador centrífugo ubicado en la parte superior, se introduce lateralmente en el filtro y es distribuido a las mangas del filtro por

medio de una placa de choque. Simultáneamente, las partículas de polvo más grande son desviadas directamente hacia abajo, al cuerpo colector de polvo.

El polvo es retenido en la parte exterior de las mangas de filtro colocadas sobre cestos de soporte, mientras que el gas limpio pasa desde el interior de las mangas hacia la cámara de gas limpio, a través de las toberas de inyección. Durante el proceso de filtraje, las mangas de filtro están encogidas hacia el interior en forma de estrella.

Una unidad de mando electrónica abre una válvula electromagnética durante 0.1 segundos, según un ritmo ajustado. Desde el depósito de aire comprimido se impele aire comprimido hacia las toberas de inyección a través del tubo de propulsión. Con ello se invierte el sentido de circulación normal del aire, se arrastra aire de la cámara de gas limpio y los cartuchos filtrantes se hinchan y despolvorean súbitamente.

Tras este breve impulso de despolvoreo, la hilera de mangas de filtro vuelve a quedar en posición de filtraje y se despolvorea la próxima hilera conforme al ritmo ajustado.

El polvo que se desprende de la manga se recoge por gravedad en la tolva inferior, efectuándose la descarga del mismo mediante una válvula rotativa, denominada también como esclusa.

2.3.3. Mantenimiento del equipo

Se define mantenimiento a la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluyendo acciones de supervisión, encaminadas a mantener una parte en funciones o restaurar cierta parte en un estado en el cual pueda ejecutar las funciones requeridas.

Específicamente al equipo superior filtro de mangas se le hace dos tipos de mantenimiento; el correctivo y el preventivo. Dejando de lado de lado el mantenimiento predictivo, para equipos con mayor criticidad, como aquellos que están enlazados directamente con el horno rotatorio.

2.3.3.1.Mantenimiento correctivo

Se realiza después de detectada la falla, y busca poner un elemento en un estado en el que pueda realizar una función requerida.

Generalmente, la falla se ocasiona porque el material se filtra hacia el motorreductor de la esclusa. Puesto que, el retén es solo de un labio y no ofrece la resistencia necesaria, esto ocasiona desgaste en los rodamientos y en los casos más críticos que el motorreductor se averíe, si no se detecta tiempo en las muestras de aceite respectivas.

2.3.3.2.Mantenimiento preventivo

Se realiza en intervalos predeterminados en base a un criterio prescrito, y encausado a tratar de reducir las posibilidades de falla o degradación de la funcionalidad de cierta parte. Siempre se interviene al equipo en estado detenido.

Cementos Pacasmayo S.A.A ha optado por utilizar el mantenimiento preventivo por niveles, es decir, de acuerdo al conjunto de actividades que conllevan se clasifican en los siguientes:

Tabla 2.1. Niveles de mantenimiento preventivo.

NIVEL	ACTIVIDADES
1º nivel	Ajustes simples sin ningún desmontaje del equipo, o cambio de elementos accesibles para plena seguridad, incluyen todo el conjunto de acciones simples y realizadas sobre elementos de fácil acceso; limpieza, inspecciones, regulaciones, etc, reemplazo de algún artículo consumible dentro de un equipo, mantenimiento rutinario.
2º nivel	Se incluyen en este nivel todo el conjunto de acciones que necesitan de procedimiento simple o de equipamiento de soporte, En este caso se puede incluir los controles de performance, regulaciones, controles, reparaciones (reemplazos fáciles). las tareas representan una complejidad superior.
3º nivel	Identificación y diagnóstico de averías, reparación por cambio de componentes funcionales, reparaciones mecánicas menores, diagnóstico de averías, operaciones delicadas.
4º nivel	Trabajos importantes de mantenimiento correctivo o preventivo, Se incluyen acá todo el conjunto de acciones donde se necesitan una especialización en una tecnología en particular por parte del personal que va a efectuar la tarea, reemplazo y verificación de equipos.
5º nivel	Trabajos de renovación, de reconstrucción o reparaciones generales (overhaul) por técnicos especialistas. Se puede incluir aquí el mantenimiento contratado con empresas externas especializadas.

Fuente: Elaborado por autor.

Las actividades tienen una frecuencia de 12 semanas para el primer nivel. En este período de tiempo, conocido como paquete, se realizan estas actividades:

- Comprobar el estado del grupo FR, en busca de daños en las mangueras.
- Comprobar el diafragma de la electroválvula.
- Comprobar exterior del filtro, en busca de daños, corrosión.

Mientras que, para el segundo nivel, la frecuencia es de 24 semanas y se realizan las siguientes actividades:

- Limpiar impulsor y dámper del ventilador.
- Comprobar integridad de flautas.

2.4. Sistema de filtración alterno

Así como el filtro de mangas, hay otro equipo que se utiliza para la misma función, pero en diferentes partes del proceso. Este equipo es conocido como el separador ciclónico o ciclón.

2.4.1. Proceso de filtración mediante un ciclón

Se basa en los efectos de la rotación y la gravedad para separar el fluido de las partículas sólidas. El aire cargado de polvo ingresa a velocidad, por un ducto tangencial en la parte superior del ciclón. Sigue una trayectoria en espiral por el vórtice externo de manera descendente hacia la parte inferior del ciclón, ascendiendo después por el centro del mismo.

Las grandes partículas del polvo tienen demasiada inercia para seguir la curva ascendente de aire en el interior del ciclón. Por lo que, se separa el material del aire, para

ser expulsado por la parte inferior. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior y es impulsado a la atmosfera gracias a la corriente generada mediante la turbina del ventilador.

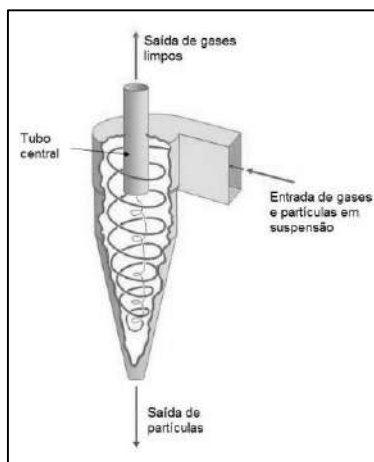


Figura 2.7. Esquema de funcionamiento de un ciclón.

Fuente: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/SeparadorCiclonico.jpg>

2.4.2. Tipos de ciclón en la planta Piura

En la planta Piura existen dos tipos de ciclón, para diferentes etapas del proceso. Lo que conlleva, que tengan diferentes componentes, materiales de fabricación y accesorios.

2.4.2.1. Ciclón de crudo

Hay dos ciclones en el proceso de crudo, los cuales tienen la misma función, separar el crudo del gas caliente. Este ciclón es de la marca ATEC AMERICA, modelo Hurriclon®.

Se compone de una carcasa de entrada en forma de espiral, una cámara de separación esencialmente cilíndrica, un ducto superior, uno inferior de salida de gas limpio y una cámara de sedimentación con un cono de salida de polvo.

El sistema de ductos de gas crudo es para ser atornillado a la entrada. Para garantizar una situación de flujo óptima en este punto, el ducto de gas crudo se lleva linealmente a lo largo de una distancia específica. El gas crudo entra a través de la entrada en forma de espiral lo que provoca que gire alrededor del eje central del ciclón.

Según la ley de conservación de la energía, la velocidad de rotación alrededor del eje de rotación del ciclón aumentará en la manera que el radio de rotación sea más pequeño. Por lo que, la fuerza centrífuga mueve las partículas de polvo a la pared de la cámara de separación.

El gas despolvado sale de la cámara de separación, a través de los dos ductos de gas limpio. Fuera del ciclón, el gas limpio del ducto superior e inferior se unen en un ducto de salida y se extrae a través de un ventilador.

La gravedad y capa límite fluye hacia abajo a lo largo de la pared, causando que el polvo descienda afuera de la cámara de separación y dentro de la cámara de sedimentación. Finalmente, se descarga en el cono por su abertura de descarga.

2.4.2.2.Ciclón del precalentador

A diferencia de otros separadores ciclónicos, estos tienen revestimiento con ladrillos refractario para soportar las altas temperaturas del precalentador. Hay 5 ciclones y cumplen fundamentalmente dos funciones:

- Calentamiento de la harina de crudo en la corriente de gas.
- Separación de la harina de crudo y descarga por la resbaladera de harina.

El ciclón recibe la corriente de aire desde abajo. La harina de crudo alimentada a la tubería de gas es transportada por el gas de escape al ciclón. En el ciclón, la harina de crudo es separada y transportada mediante la resbaladera de harina y las cajas de dispersión, que son piezas encargadas de crear polvo para facilitar su transporte, a la tubería de gas de la etapa de ciclón más baja que siga a continuación.

La caja de dispersión efectúa al mismo tiempo una distribución por igual de la harina de crudo en la tubería de gas. El gas de escape corre por el tubo de salida de aire y la pieza intermedia a la tubería de gas que sigue en altura.

Capítulo 3

Diseño mecánico de válvula pendular

3.1. Introducción

En la primera parte de este capítulo se presenta la información del filtro de mangas seleccionado, tomando en cuenta los parámetros de operación y criticidad del equipo, este último factor basado en la matriz de criticidad de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. Por lo que, se ha buscado un equipo importante e imprescindible para la operación del proceso, y de esta manera, se justifique realizar una mejora para su descarga.

Luego, se realiza el dimensionamiento de cada parte diseñada de la válvula pendular, especificando el por qué de sus medidas, material y características elegidas. En esta parte del capítulo se debe utilizar un software CAD de diseño para modelados mecánicos en dos y tres dimensiones. También, se muestran algunas piezas comerciales seleccionadas, así como, el ensamblaje total de la válvula donde se detallan las uniones empernadas y soldadas, teniendo como prioridad la facilidad para el mantenimiento futuro del equipo.

Además, se comentará un breve informe acerca de la confiabilidad en el mantenimiento, su importancia para el cálculo de los indicadores en una empresa industrial. Esto servirá como punto de referencia para evaluar los efectos de la válvula diseñada en el siguiente capítulo. Finalmente, se procede a detallar la actualidad del equipo en la planta Piura, en el cual se ejecuta una solución no tan ingenieril, por lo que, el desarrollo de esta investigación podría ser una solución futura.

3.2. Equipo de filtración seleccionado

Como se detalló en los capítulos anteriores, el equipo seleccionado pertenece al proceso de embolsado de cemento. La producción en el Almacén de Producto Terminado, solo se detiene durante 8 horas con una frecuencia de quince días para el mantenimiento. Por lo que, una avería grave en cualquier equipo de esta línea haría detener las operaciones y afectaría el tiempo de suministro de las ventas. Ocasionando una pérdida de dinero significativa, puesto que se tiene previsto una producción de 3000 sacos por hora.

3.2.1. Filtro de mangas de embolsado

A continuación, se detalla el suceso que explica el por qué de la elección del filtro de mangas de la segunda línea de embolsado (6G2.BF01). La avería se detectó cuando se

realizó un mantenimiento preventivo, específicamente de lubricación, a inicios del mes de noviembre del 2017. Según el análisis de las muestras, se encontraron partículas de cemento en el aceite del motorreductor de la esclusa.



Figura 3.1. Motorreductor de esclusa 6G2.BF01.RFJ01-M5101.

Fuente: Foto del autor.

Por lo que, se procedió a coordinar con el área de producción para detener el proceso, y poder revisar el equipo fuera del mantenimiento programado. Debido a que, la línea de embolsado no puede funcionar sin que este equipo se encuentre en su total capacidad operativa, por la cantidad de polución que desencadenaría. Y teniendo en cuenta que en esta área predomina el uso de sensores, la polución no solamente afectaría el medio ambiente sino los equipos y por ende la producción.

Entonces, se procedió a desenergizar la línea de embolsado y bloquear la alimentación. Para su inspección mecánica; el técnico de mantenimiento luego de desmontar el equipo encontró que el retén estaba desgastado, por lo cual se habría ocasionado la filtración de cemento hacia el interior del motorreductor, arruinando los rodamientos.

Al revisar el historial de fallas, se encuentra que este mantenimiento correctivo es recurrente. Es por esto, que se justifica de alguna manera las mejoras para reemplazar la esclusa con la finalidad de que se evite el desgaste del retén, detener la producción fuera de lo programado y el gasto de dinero en compra del kit de mantenimiento como repuesto.

3.2.2. Parámetros de operación

El filtro de mangas 6G2.BF01 tiene como caudal nominal de absorción 27 mil metros cúbicos por hora. Este dato representa el caudal de aire con cemento que succiona con el ventilador centrífugo de alto rendimiento que posee.

Sin embargo, expresando los datos en cemento, se tiene que el filtro retroalimenta a la línea de embolsado con 12 toneladas de cemento por hora, mediante el elevador de cangilones 6G2.BE01.

3.2.3. Criticidad

Una de las mejores metodologías para mejorar la confiabilidad de un equipo o proceso, es analizar su criticidad. Puesto que, permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Para realizar un análisis de criticidad se debe definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

En las fábricas de Cementos Pacasmayo, se clasifica los equipos críticos según una matriz, la cual indica el nivel de criticidad de acuerdo a los aspectos y consecuencias que estos ocasionen, en los siguientes campos: Seguridad industrial, medio ambiente, calidad, pérdida de producción, costos de mantenimiento y tiempo de reparación de mantenimiento.

En consecuencia, se tiene que la planta Piura cuenta con 656 equipos; de los cuales 108 son de criticidad nivel A, 312 son de criticidad nivel B y 236 son criticidad nivel C.

Tabla 3.1. Resumen y cantidad de equipos críticos de planta Piura CPSAA.

RESUMEN DE CRITICIDAD CPSAA		
EQUIPOS CRITICOS A	108	16%
EQUIPOS CRITICOS B	312	48%
EQUIPOS CRITICOS C	236	36%
TOTAL	656	100%

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Tabla 3.2. Matriz de criticidad para la clasificación de equipos de Cementos Pacasmayo.

ASPECTOS Y CONSECUENCIAS A EVALUAR								
Nivel de Criticidad	Seguridad Industrial		Medio Ambiente	Calidad	Pérdida de Producción	Costos de Mantenimiento	Tiempo de Reparación de Mantenimiento	
	Alto	H1 La falla en el sistema/equipo ocasiona accidentes con fatalidades o incapacidad permanente a la persona.	E1 La falla al sistema/equipo genera impacto ambiental que supera los Límites Máximo Permisibles y/o Estándares de Calidad Ambiental y genera consecuencias legales de: PM10 >= 50 mgr/m3 SO2 >= 20 µgr/m3 NO2 >= 100 mgr/m3 CO >= 10000 mgr/m3 Material particulado (Horno) >= 250mgr/m3 PM2.5 >= 25 mgr/m3 H2S >= 250 mgr/m3	Q1 La falla ocasiona un Producto No Conforme, fuera de las especificaciones mínimas que afecten: Crudo: Factor de saturación de Cal (FSC) 94-96 Módulo de Silíce (MS)2.4 - 2.6 Módulo de Alumina (MA)1.4 -1.6 Retenido %90 micras : 12-14 Clinker: Factor de saturación de Cal (FSC) 94-96 Módulo de Silíce (MS) 2.4 - 2.6 Módulo de Alumina 1.4 -1.6 Contenido de Alita (C3S): 60-65	P1 La falla Ocasiona una parada total del proceso productivo o producción por debajo de: Crudo: <=200TN/HR Clinker <=100 TN/HR Cemento <=200 TN/HR Bolsas <=4000 BL/HR	C1 La falla genera altos costos directos de mantenimiento (> \$ 100000)	T1 La falla genera tiempos de reparación de acuerdo a: MATERIA PRIMA > 1 SEMANA CRUDO > 1 SEMANA CLINKER > 1 SEMANAS CEMENTO > 1 SEMANAS	
		Medio	H2 La falla en el sistema/equipo ocasiona accidente con incapacidad temporal y/o descanso médico de la persona	E2 La falla al sistema/equipo genera impacto ambiental que no supera los Límites Máximo Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental y no genera consecuencias legales PM10 >= 40<=50 (mgr/m3) SO2 >= 16<=20 (mgr/m3) NO2 >= 80<= 100 (mgr/m3) CO >= 8000<= 10000 (mgr/m3) Material particulado (Horno) >= 200 <= 250 (mgr/m3) PM2.5 >= 20 mgr/m3 H2S >= 200mgr/m3	Q2 La falla afecta indirectamente la calidad del Producto	P2 La falla Ocasiona una reducción en la velocidad de producción. Que afecta el plan de producción diario. Crudo: >=200<=240 TN/HR Clinker >=100<=110 TN/HR Cemento >=200 <=220 TN/HR Bolsas >=4000<= 5500 BL/HR	C2 La falla genera moderados costos directos de mantenimiento (ENTRE \$30100 y \$1.00000)	T2 La falla genera tiempos de reparación de acuerdo a: MATERIA PRIMA > 1 DIAS < 1 SEMANA CRUDO > 1 DIAS < 1 SEMANA CLINKER > 1 DIAS < 1 SEMANAS CEMENTO > 1 DIAS < 1 SEMANAS
			Bajo	H3 La falla en el sistema/equipo no ocasiona lesión alguna o descanso médico	E3 La falla del sistema/equipo no genera impacto ambiental PM10 <= 40 (mgr/m3) SO2 <= 16 (mgr/m3) NO2 <= 80 (mgr/m3) CO >= 8000<= 10000 (mgr/m3) Material particulado (Horno) <= 200 (mgr/m3) PM2.5 <= 20 mgr/m3 H2S <= 200 mgr/m3	Q3 La Falla No Afecta la calidad del Producto	P3 La falla No tiene efectos graves sobre la continuidad del proceso productivo Crudo >=240 y <= 250 TN/HR Clinker >= 110 y <=125 TN/HR Cemento >= 220 y <=230 TN/HR Bolsas >= 5500 y <=6000BL/HR	C3 Los costos directos de mantenimiento no son relevantes (< \$30100)

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo

Se analiza el filtro de mangas 6G1.BF02 con los aspectos y consecuencias a evaluar, y se obtiene lo siguiente:

- Seguridad industrial – H2: El exceso de polución podría afectar a los operadores.
- Medio ambiente – E2: El cemento contamina el aire, debido a sus componentes.
- Calidad – Q3: No afecta la calidad del producto.
- Pérdida de producción – P1: La falla del equipo detiene el proceso.
- Costos de mantenimiento – C3: Los costos no son relevantes.
- Tiempo de reparación – T3: Los tiempos de reparación no exceden a 1 día.

Debido a que, es suficiente con que solo un aspecto tenga alto nivel de criticidad, para que el equipo tenga esa taxonomía. Entonces, se demuestra que el filtro de mangas de la segunda línea de embolsado tiene nivel A en criticidad.

3.3. Diseño mecánico de válvula pendular

Se debe tener claro el alcance y restricciones del diseño. La válvula no puede interferir con el funcionamiento del filtro de mangas, por lo que el diseño debe tener una altura menor a 3000 mm, la cual es la altura de la tolva de descarga del equipo, tal y como se aprecia en la siguiente imagen.

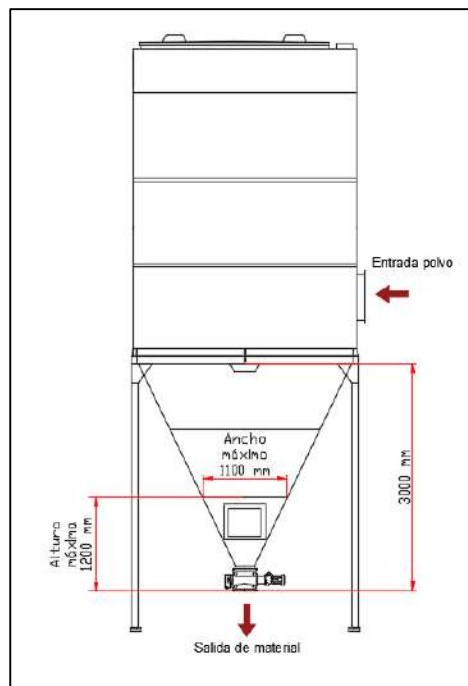


Figura 3.2. Plano de vista frontal del filtro 6G2.BF01.

Fuente: Elaborado por autor.

La forma de prisma de la parte inferior del filtro de mangas tiene una inclinación de 60°. Además, teniendo en cuenta la cercanía a las mangas todo el equipo diseñado debe tener 1200 mm como altura máxima.

Así mismo, como alcance del equipo se tiene que la capacidad de alimentación es 12 toneladas por hora, es decir, la válvula requiere bajas revoluciones por minuto. Teniendo en cuenta que la norma LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) recomienda un factor de seguridad de 1.4 para estructuras de acero con cargas estáticas.

Se opta por considerar este criterio, debido a que la válvula se someterá a bajas velocidades y para la facilidad de diseño.

3.3.1. Dimensionamiento del equipo

En este apartado se hace énfasis en que no existe ninguna normativa para válvulas pendulares, por su facilidad de diseño. Es por esto que, solo se utilizarán las recomendaciones de aquellas empresas productoras de acero, tal y como ACEROS AREQUIPA, PERÚ METALES, etc.

Estas empresas recomiendan para estructuras que tienen contacto con materiales abrasivos como el cemento, la plancha de Acero Estructural de Alta Resistencia Mecánica y cuyos elementos de aleación ayudan a formar una capa protectora contra la corrosión atmosférica ASTM A – 588 GRADO A. La cual es usada en condiciones donde son importantes la reducción de peso, la reducción de los costos de mantenimiento que se requiere en este diseño.

En el siguiente capítulo se verificará si este material es el adecuado según las propiedades mecánicas y el factor de seguridad establecido anteriormente. A continuación, se presentan las partes y subcomponentes de la válvula pendular diseñadas en el programa SOLIDWORKS.

3.3.1.1. Eje y chapaleta

El eje es el componente rotatorio que transmite la potencia mecánica del contrapeso a la chapaleta. Es una parte fundamental de la válvula, porque soportará los esfuerzos mecánicos causados por la carga del cemento. Para el diseño de esta pieza, se utilizará las barras redondas calibradas SAE 1045, la cual tiene mayor resistencia en comparación con las otras variantes de acero 1045 y es el más común en el rango de aceros carbono medio.

Las dimensiones del eje son elegidas de manera comercial, por lo que tiene 1 ¼ pulgada de diámetro, y para el diseño es suficiente 640 mm de longitud. Tiene dos chaveteros de 5 mm x 5mm y 50 mm longitud. Se hace énfasis, en que la chapaleta no se encuentra en el medio del eje, porque solo una parte del eje va a estar ensamblada con el contrapeso, y es ahí donde se requiere mayor longitud.

Por otro lado, se denomina chapaleta a la parte principal de la válvula pendular, que tiene como función cerrar por completo el paso del flujo en una dirección y permitirlo en el sentido contrario, las válvulas de retención de fluidos tienen un funcionamiento similar.

Puesto que, el flujo másico de cemento debe vencer la inercia de la chapaleta, sus dimensiones no deben representar un impedimento. Por eso, se elige 1/4" como espesor comercial de la plancha ASTM A588. Así mismo, se tiene que las dimensiones son 200 mm de ancho y 300 mm de largo.

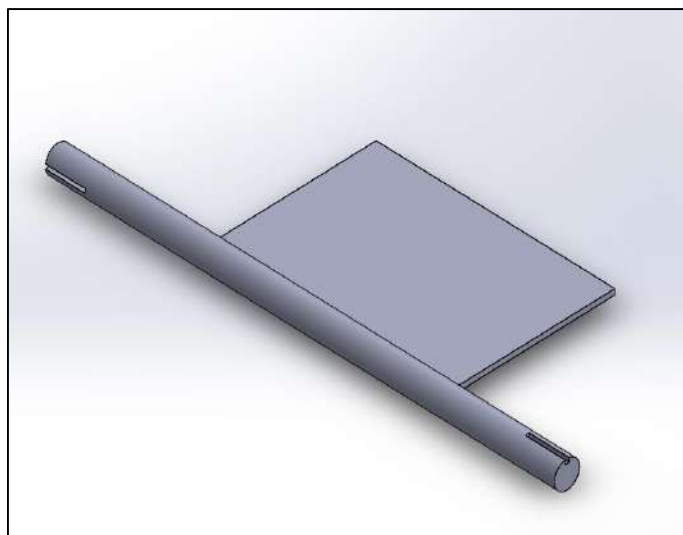


Figura 3.3. Isométrico de eje y chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

Se elige que ambas piezas estén unidas por soldadura. Debido a que no estará sometida a altas temperaturas, la soldadura no representaría gran problema en la fabricación de la pieza. Por lo que, se podría utilizar una soldadura de arco eléctrico con un cordón de 3 mm.

3.3.1.2. Caja de válvula y *bypass*

Para los parámetros de operación considerados es suficiente 10 mm de espesor para el *bypass*. Sin embargo, se considera aproximadamente 3 mm como espesor de desgaste por las propiedades corrosivas del cemento, por lo cual se elige un espesor total de $\frac{1}{2}$ pulgada para esta pieza.

Las dimensiones del *bypass* son de 320 mm de largo, 216 mm de ancho y 200 mm de altura. La parte inferior está diseñada para ser el tope de la chapaleta, con la finalidad de cerrar la descarga totalmente. Así mismo, se ha creído pertinente la unión de dos prismas rectangulares en los lados para ser un tope al momento de la instalación, debido a que el *bypass* solamente va superpuesto a la caja de válvula, para mayor facilidad de montaje y desmontaje.

Además, se ha diseñado una ventana de inspección con la finalidad de permitir su monitoreo sin desmontar las piezas, reduciendo los tiempos de mantenimiento. Las dimensiones de esta ventana son de 220 mm de largo y 140 mm de ancho, cuenta con catorce orificios para asegurar su hermeticidad con pernos M8, evitando filtraciones de aire.

Todas las piezas deben ser soldadas a una “pestaña”, se le conoce técnicamente así a la pieza que permita la unión empernada, en este caso para pernos M13 se une el *bypass* con el chute de alimentación. Para esta pieza se utilizará el material AISI 1020 por su facilidad en la elaboración para los agujeros, todas las pestañas cuentan con $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor.

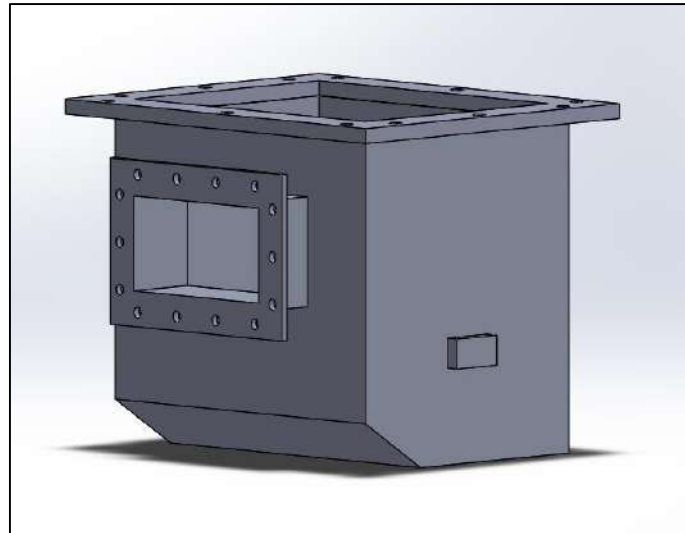


Figura 3.4. Isométrico de *bypass*.

Fuente: Elaborado por autor.

La caja de la válvula es la unión entre el *bypass* y la chapaleta. Sus dimensiones son 422 mm de largo, 422 mm de ancho y 250 mm de altura. El espesor de las paredes laterales es de 1/2 " por ser el lugar más propenso al desgaste y porque se han diseñado los orificios en los lados para que pase el eje y los pernos de las chumaceras que aseguren la chapaleta.

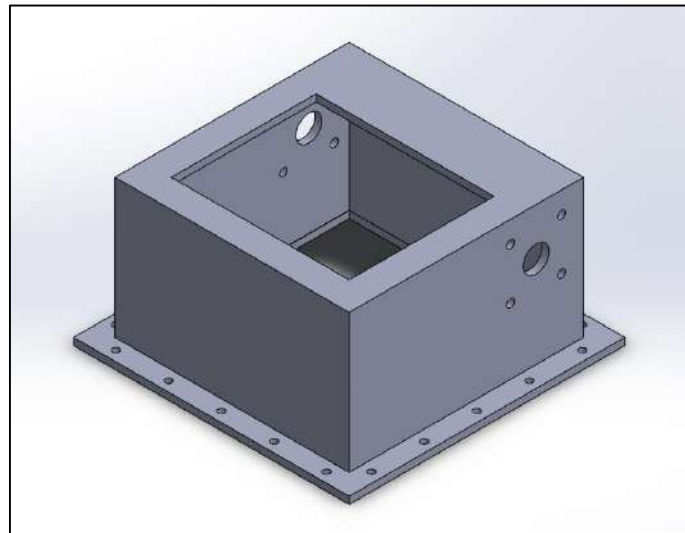


Figura 3.5. Isométrico de caja de la válvula.

Fuente: Elaborado por autor.

Finalmente, se muestra como el *bypass* va superpuesto de la caja, de tal manera, que el tiempo de ensamblaje y mantenimiento se reducirán considerablemente. Estos materiales descritos serán del mismo material antiabrasivo que la chapaleta.

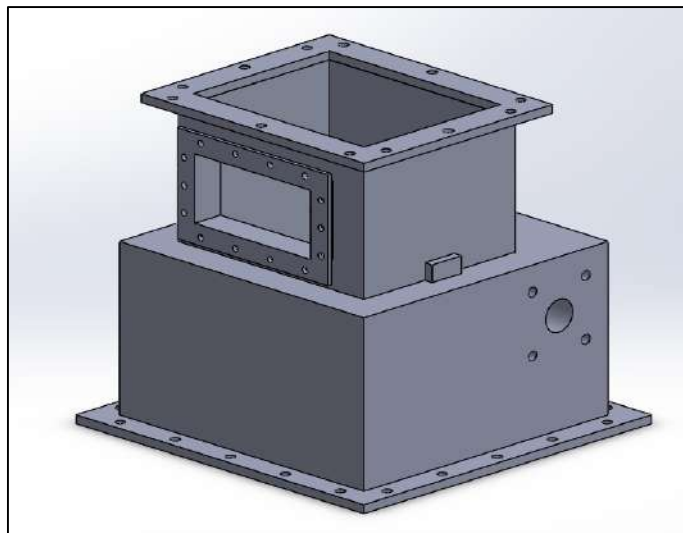


Figura 3.6. Isométrico de ensamblaje de caja y *bypass*.
Fuente: Elaborado por autor.

3.3.1.3. Contrapeso

En el diseño mecánico se conoce como contrapeso, a la pieza que ejerce una fuerza opuesta a otra. En este caso, se diseña un contrapeso para contrarrestar la carga del cemento que será ejercida en la chapaleta. Para esto, se tiene que ensamblar la pieza en el mismo eje de la chapaleta, con la finalidad de que una vez abierta la válvula pendular, regrese a su ubicación inicial de manera rápida y no permita el ingreso continuo de cemento sino por intervalos, ocasionando una mejor dosificación.

Las dimensiones del contrapeso son de una manivela de 425 mm de longitud y 15 mm de espesor, con un orificio de 1 ¼ pulgada de diámetro. Así mismo, tiene un chavetero de 5 mm x 5mm y 50 mm de profundidad. Sin embargo, la parte principal de la pieza es el disco que realiza la función de contrapeso, ubicado al centro de gravedad de la manivela, con un diámetro de 150 mm y 50 mm de espesor. El material del contrapeso será de material AISI 1020 debido a su facilidad de trabajo en frío para su fabricación.

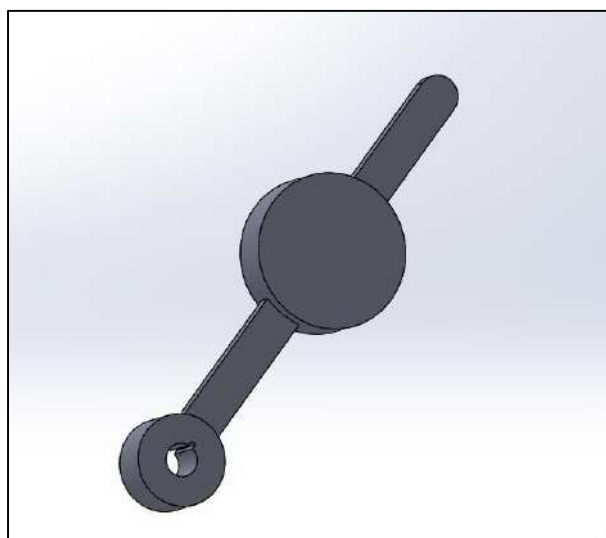


Figura 3.7. Isométrico del contrapeso.
Fuente: Elaborado por autor.

Para un correcto funcionamiento, el peso del disco tiene que ser mayor que el peso de la chapaleta, garantizando el cierre de la descarga de cemento en pocos segundos. A continuación, se hace el cálculo respectivo teniendo en cuenta que el material utilizado es el acero ASTM A588 y su densidad es $7860 \frac{kg}{m^3}$.

Primero se calcula el volumen de la chapaleta, según sus dimensiones:

$$Volumen \text{ de chapaleta} = Largo \times Ancho \times Espesor \quad [3.1]$$

$$Volumen \text{ chapaleta} = (0.2m) \times (0.3m) \times (0.00635m) = 0.00038 \text{ m}^3 \quad [3.2]$$

Luego, se obtiene la masa de la misma:

$$Masa \text{ de chapaleta} = Densidad \text{ ASTM A588} \times Volumen \text{ chapaleta} \quad [3.3]$$

$$Masa \text{ de chapaleta} = \left(7860 \frac{kg}{m^3}\right) \times (0.00038m^3) = 2.99 \text{ kg} \quad [3.4]$$

Ahora, se realiza el mismo procedimiento para el disco:

$$Volumen \text{ del contrapeso} = \pi \times R^2 \times h \quad [3.5]$$

$$Volumen \text{ contrapeso} = \pi \times (0.075m)^2 \times (0.05) = 8.8357 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad [3.6]$$

Finalmente, se tiene que la masa del contrapeso es:

$$Masa \text{ de contrapeso} = Densidad \text{ de AISI 1020} \times Volumen \text{ contrapeso} \quad [3.7]$$

$$Masa \text{ de contrapeso} = \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) \times (0.00088357 \text{ m}^3) = 6.94 \text{ kg} \quad [3.8]$$

Según las ecuaciones 3.8 y 3.4 se comprueba que con las dimensiones elegidas la masa del contrapeso es mayor que la de la chapaleta.

3.3.1.4.Chumacera seleccionada

La chumacera comercial elegida para el diseño es la de tipo pared UCF 207, que tiene $1 \frac{1}{4}$ pulgada de diámetro para el eje, con 4 agujeros para pernos M14. Está compuesta por un rodamiento rígido de bolas con anillo interior extendido y un alojamiento.

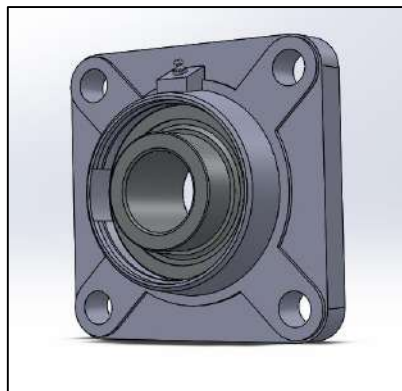


Figura 3.8. Isométrico de chumacera.

Fuente: <https://grabcad.com/library/square-flange-1>

3.3.1.5. Chute de descarga

Se diseñan los chutes de alimentación y descarga, con la finalidad de facilitar las conexiones de las piezas antes descritas con el filtro de mangas. Por lo que, estos chutes tienen las mismas dimensiones que la caja de válvula y el *bypass*.

El espesor de todos los chutes es mínimo, para no que representen ningún esfuerzo adicional en el filtro, por lo que es de $\frac{1}{4}$ pulgada. El material para su construcción será la plancha de ASTM A588, por las mismas razones descritas anteriormente.

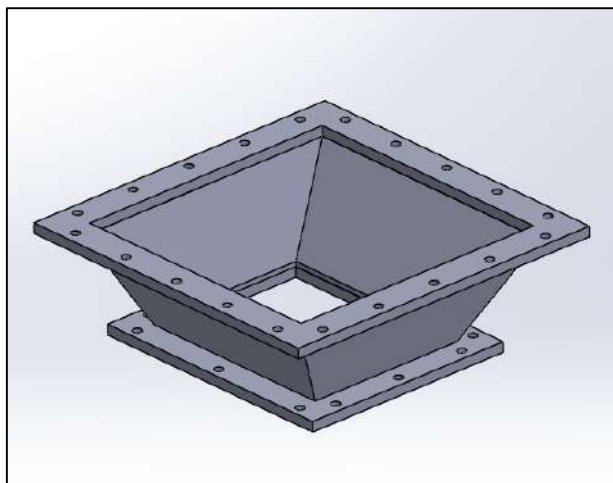


Figura 3.9. Isométrico del chute de descarga.

Fuente: Elaborado por autor.

3.3.2. Ensamblaje total

En este apartado se presenta el ensamblaje de las piezas, utilizando la herramienta relación de posición en el programa de dibujo mecánico. Se puede observar un buen alineamiento de las piezas.

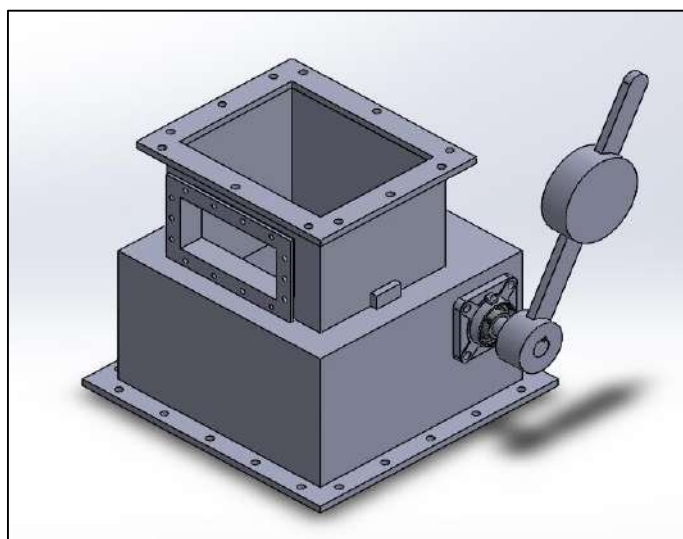


Figura 3.10. Isométrico del ensamblaje parcial.

Fuente: Elaborado por autor.

Así mismo, se coloca una manivela al otro extremo del eje con la finalidad de poder simular una fuerza, de manera análoga al movimiento que generaría un motorreductor en la válvula. Además, se coloca la tapa que cierra la ventana de inspección, los chutes y las chumaceras.

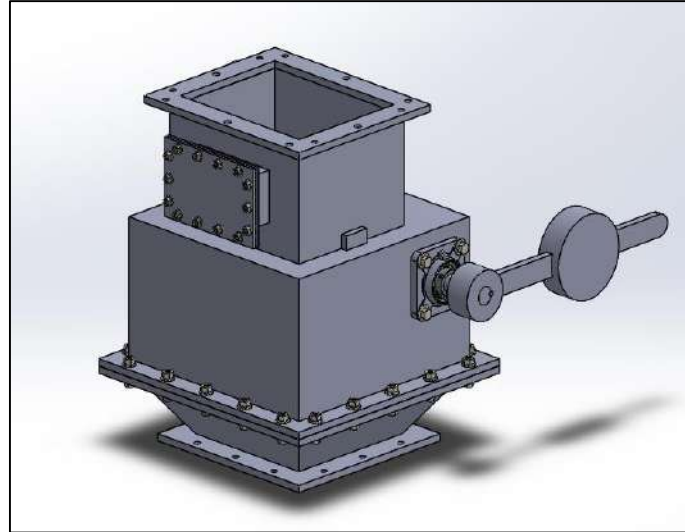


Figura 3.11. Ensamblaje parcial de válvula.

Fuente: Elaborado por autor.

Sin embargo, el anterior ensamblaje solo es el parcial, puesto que, se opta por diseñar una doble válvula pendular debido al tiempo de ciclo de descarga de cemento, asegurando una mejor dosificación. Entonces, el diseño final sería dos piezas de cada elemento descrito anteriormente.

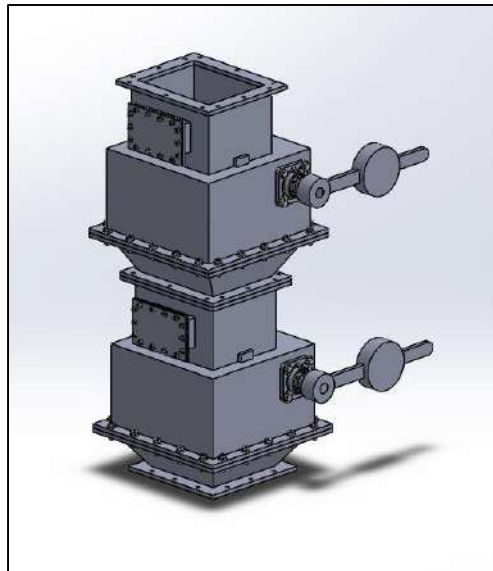


Figura 3.12. Ensamblaje total de válvula pendular.

Fuente: Elaborado por autor.

Así mismo, para poder generar un movimiento en las manivelas superior e inferior, estas deben ser opuestas. Se debe hacer el chavetero de la manivela en lugares contrarios, lo que conlleva a modificar levemente a la chapaleta superior. Finalmente, el ensamblaje total resulta de la siguiente manera:

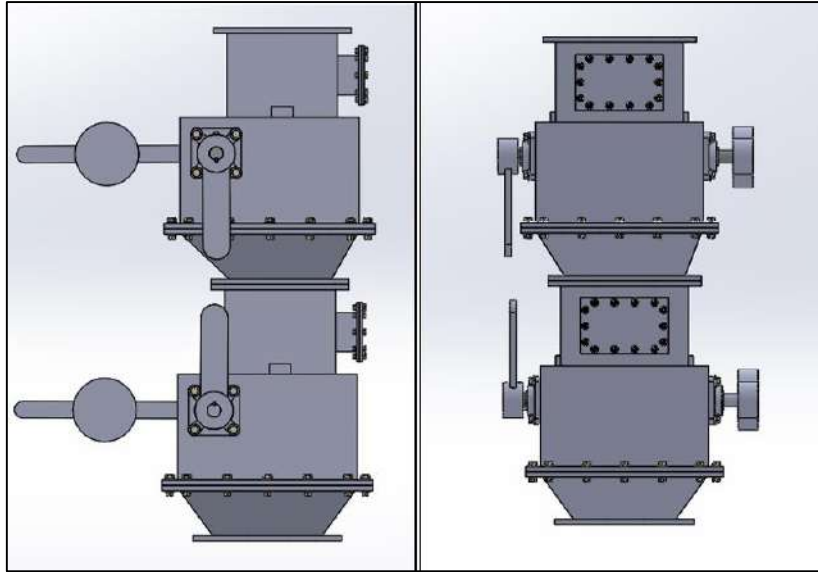


Figura 3.13. Vista frontal y lateral del ensamble total.

Fuente: Elaborado por autor.

3.4. Confiabilidad y disponibilidad

Según el ISO 14224, la confiabilidad se define como la capacidad de cierto componente para ejecutar una función requerida en condiciones dadas en un intervalo de tiempo determinado. Por lo que, expresada en una fórmula teórica sería:

$$R = e^{-\lambda(t)T} \quad [3.9]$$

Si $\lambda(t)$ es constante, $\lambda(t) = \lambda$. Entonces:

$$R = e^{-\lambda T} \quad [3.10]$$

Donde:

R= Confiabilidad.

T= Tiempo de duración de la falla.

λ = Coeficiente de tasa de fallas.

Sin embargo, en la vida real esto no sucede. Es decir, los equipos no tienen una tasa de fallas constante, sino que es más probable que fallen a medida que aumenta sus horas de operación. Por lo que, se opta por tener una fórmula más pragmática:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{Tiempo de mantenimiento no programado}}{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo de paradas programadas}} \times 100 \quad [3.11]$$

En la mayoría de fábricas de cemento, se consideran como tiempo de paradas programadas al tiempo en que se detiene la operación por la ejecución del mantenimiento preventivo y por hora punta, debido al alto costo de la energía eléctrica durante ese período. Además, se incluye al tiempo en que el silo del material está lleno porque en esa circunstancia no hay demanda. Por lo que, se tiene que el factor de confiabilidad es:

$$\text{Factor de confiabilidad} = 1 - \left[\frac{CNP}{TT - [PMV + PSD + PCD]} \right] \quad [3.12]$$

Donde:

CNP = Correctivos no programados.

TT = Tiempo total.

PMV = Mantenimiento preventivo.

PSD = Sin demanda (Silo lleno).

PCD = Control de demanda (Hora Punta).

Así mismo, la confiabilidad y la mantenibilidad, sirven para tener noción de la disponibilidad de los equipos. Por eso, se utiliza constantemente la disponibilidad como indicador en el área de mantenimiento y se calcula de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ Total - Tiempo\ de\ paradas\ programadas}{Tiempo\ total} \quad [3.13]$$

Si se utiliza las mismas variables que en la ecuación 3.12, y se añaden dos nuevas que se relacionan con fallas externas. Se tiene que la disponibilidad en una fábrica de cemento se determina con la siguiente fórmula:

$$Disponibilidad = \left[\frac{TT - [CNP + MO + PCE]}{TT - [PMV + PSD + PCD]} \right] \quad [3.14]$$

Donde:

MO = Maniobras operativas.

CE = Condiciones externas.

Finalmente, se concluye que al reducir el tiempo de correctivos no programados y optimizar el mantenimiento preventivo, se tiene un aumento de confiabilidad, que es lo que se busca con el diseño de la válvula pendular.

3.5. Situación actual en planta Piura

Una vez expuesto el problema y la hipótesis planteada en este trabajo de investigación, ahora se presenta la solución escogida por el departamento de mantenimiento en la planta Piura, la cual se ejecutó inmediatamente después del problema detectado.

Por motivos de tiempo y costo, el área de Administración de mantenimiento escogió colocar un retén con doble labio, en lugar del existente. Para un mejor entendimiento de este apartado se define la pieza retén como un sello de material sintético que es utilizado para evitar fugas entre el eje del motor y el exterior. Esta pieza, DIN AS35x47x7-NBR tiene 47 mm de diámetro exterior y 35 mm de diámetro inferior, y un espesor de aproximadamente 7 mm.



Figura 3.14. Retén de doble labio.

Fuente: https://moto-boxer.com/images/IMG_1903.JPG

Capítulo 4

Verificación mecánica del diseño

4.1. Introducción

En este último capítulo se muestran los resultados del análisis de esfuerzos mecánicos sobre el diseño de la válvula, utilizando la herramienta SimulationXpress de SOLIDWORKS con la finalidad de ayudar a predecir el comportamiento de la válvula pendular bajo los efectos de una carga, y detectar posibles problemas del diseño. Así mismo, se describen de manera detallada las consideraciones necesarias para el correcto análisis.

Además, se verifica que el material escogido en el capítulo anterior cumpla con la norma descrita y sea apto para la carga del cemento a la cuál es sometida. Luego, se realizará una proyección estimada de la confiabilidad del proceso de embolsado con y sin el diseño de la válvula pendular, que servirá para sacar conclusiones cuantitativas en este trabajo de investigación.

Finalmente, se calcula los costos respectivos para poder analizar su viabilidad económica. Puesto que, el costo de los repuestos y recursos utilizados en el mantenimiento deben justificar el diseño y fabricación de la válvula. Para esto, se utilizará la información de las horas hombre y repuestos utilizados para la reparación, extraídas del departamento de Operaciones de la planta Piura de Cementos Pacasmayo S.A.A.

4.2. Análisis de esfuerzos mecánicos

En este apartado, surge la limitación de no poder simular todo el ensamblaje presentado en el capítulo anterior. Por lo que, el análisis y simulación de esfuerzos mecánicos se tiene que hacer en la pieza que soportará la mayor carga y que es fundamental para el funcionamiento de la válvula.

Cualitativamente se puede deducir que la chapaleta recibirá el flujo másico de cemento de manera vertical. Además, en el diseño está unida con el eje por soldadura, por lo que será sometida a esfuerzos combinados y por ende será la pieza más crítica. Es por esto, que la chapaleta es la pieza seleccionada para la simulación requerida.

4.2.1. Consideraciones para la simulación

La herramienta SimulationXpress, requiere establecer tres consideraciones para realizar la simulación. Los cuales son: las sujeciones de la pieza, la superficie donde recibirá la fuerza o presión y finalmente, la carga que soportará en unidades de Newton.

4.2.1.1. Sujeciones

En primer lugar, es necesario elegir correctamente la sujeción de la chapaleta. Para este caso, se define como sujeción al elemento o parte de la pieza que se opone al movimiento. En la siguiente imagen se puede observar detalladamente la válvula y entender la fijación del eje.

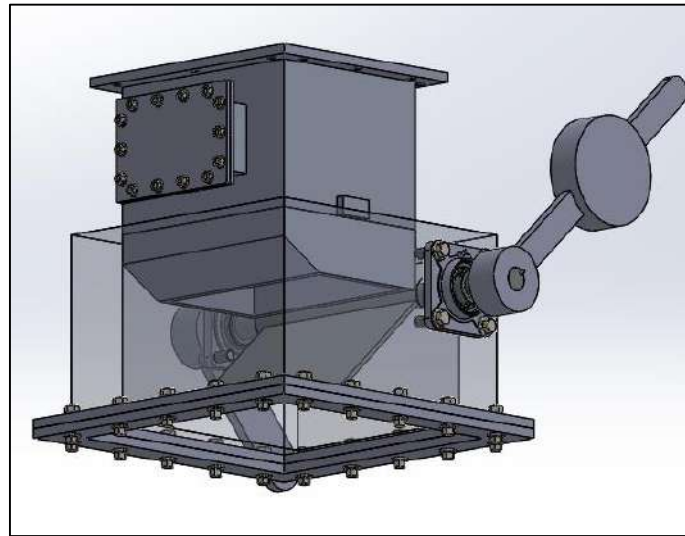


Figura 4.1. Válvula pendular con efecto transparencia.

Fuente: Elaborado por autor.

Se concluye que los lugares donde se genera oposición al movimiento de la válvula, es en los chaveteros. Es decir, donde el eje de la chapaleta estará sujeta a la chaveta y al contrapeso o manivela.

Sin embargo, cada chavetero tiene cuatro pequeñas superficies, por lo que, solo se tomará en cuenta la superficie opuesta al giro de la chapaleta. A continuación, se indican resaltados en azul los lados de los chaveteros los cuales se van a considerar como sujeciones.

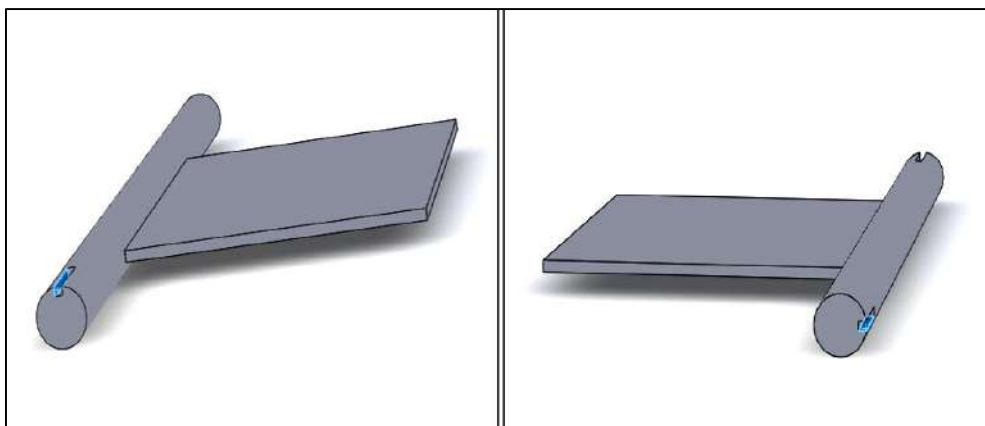


Figura 4.2. Sujeciones de la chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

4.2.1.2. Superficie

Una vez seleccionadas las sujeciones, se debe elegir la superficie de la chapaleta sobre la cual se aplicará la carga, para poder ejecutar la simulación.

Se tiene en cuenta que el material cae de manera vertical del filtro hacia la descarga de la válvula. Por lo que, la parte más expuesta al flujo de cemento, es la superficie de la lengüeta, específicamente la parte superior.

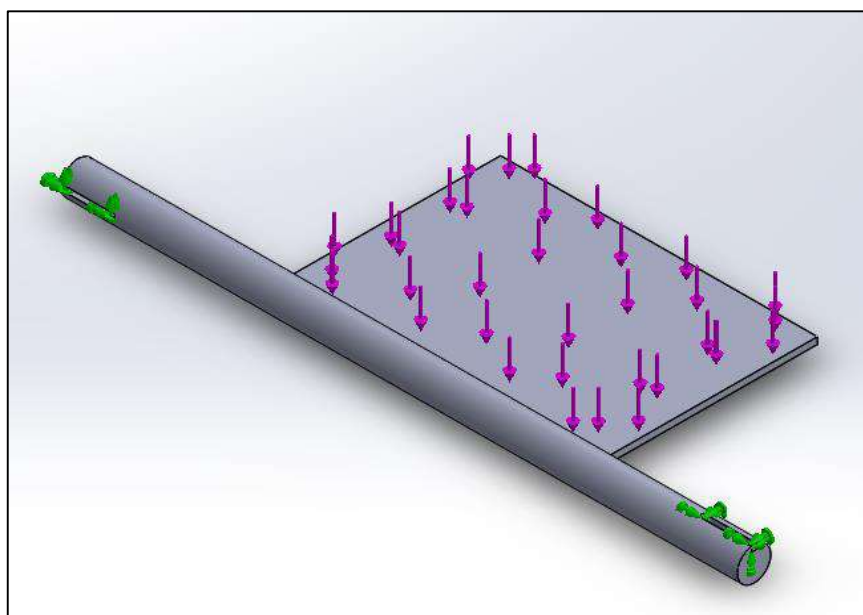


Figura 4.3. Fuerza aplicada sobre la superficie de la chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

En la imagen anterior, se puede observar las consideraciones establecidas hasta el momento. Las flechas verdes representan las sujeciones de la pieza, y el área donde están las flechas moradas representan la superficie seleccionada.

4.2.1.3.Carga

La carga es la última consideración que se establece para poder simular los esfuerzos mecánicos. En el software, es la fuerza o presión equivalente al flujo de cemento en el período determinado, que se demora el ciclo de la válvula.

Se estima que el tiempo de ciclo de descarga por cada chapaleta es de 18 segundos. Es decir, el tiempo en que demora la válvula pendular en descargar el cemento, tomando como punto de inicio el descenso del cemento en la entrada al *bypass* y como punto final el regreso de la válvula a su posición inicial.

La fuerza ejercida sobre la superficie superior de la chapaleta, se calcula en base a la capacidad de alimentación del filtro, que es 12 toneladas por hora. Entonces se resuelven las siguientes ecuaciones:

Se convierte la carga de ton/h a las unidades kg/s :

$$carga = 12000 \frac{\text{kg}}{h} \times \left(\frac{1 \text{ hora}}{3600 s} \right) = 3.33 \frac{\text{kg}}{s} \quad [4.1]$$

Se calcula la masa de cemento durante el ciclo de descarga:

$$masa = carga \times tiempo \text{ de ciclo} \quad [4.2]$$

$$masa = \left(3.33 \frac{\text{kg}}{s} \right) \times (18 s) = 59.94 \text{ kg} \quad [4.3]$$

Según la segunda ecuación de newton:

$$Fuerza = masa \times aceleración \quad [4.4]$$

El valor de la aceleración, será igual a la gravedad por tratarse de una caída vertical:

$$Fuerza = masa \times gravedad \quad [4.5]$$

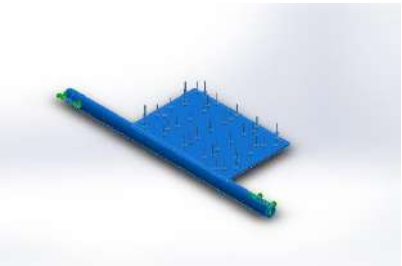
$$Fuerza = (59.94 \text{ kg}) \times (9.81 \text{ m/s}) \quad [4.6]$$

$$Fuerza = 588.01 \text{ kg.m.s}^{-1} \quad [4.7]$$

La fuerza calculada puede expresarse en las siguientes unidades:
 $1 \text{ kg.m.s}^{-1} = 1 \text{ N}$

Finalmente, el software pide seleccionar el material de la pieza, esto como se señaló en el diseño del capítulo anterior, es el acero ASTM A588. Pero al no contar el software con este ítem, se debe crear un material en el Editor de Materiales del *Feature Manager*, e insertar las propiedades mecánicas según las tablas de PERU METALES.

Tabla 4.1. *Propiedades del acero elegido para la simulación.*

Referencia de modelo	Propiedades
	Material: Acero estructural Tipo de acero: ASTM A588 Límite elástico: 345 MPa Límite de tracción: 470 MPa

4.2.2. Resultados

Cabe resaltar que los resultados expuestos, son solo en el caso crítico de trabamiento mecánico. Esto por dos razones: La primera porque el software solamente permite simular los esfuerzos estáticos, es decir en un punto determinado en reposo; y la segunda es porque de esta manera permite analizar los máximos esfuerzos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación en cuanto a esfuerzos mecánicos, desplazamiento y factor de seguridad de la pieza estudiada. Esto, según las consideraciones establecidas anteriormente.

4.2.2.1. Esfuerzos Von Mises

Como se indicó anteriormente, la pieza estudiada es crítica en cuanto a esfuerzos mecánicos, por lo que, presentará tensiones y deformaciones tridimensionales en varias direcciones. Tal y como se explicó en el segundo capítulo de esta tesis, una manera de simplificar el cálculo de estas consiste en resumirlas en una tensión equivalente, y así determinar los esfuerzos Von Mises.

En la Figura 4.4. se muestran los resultados de los esfuerzos en la chapaleta. Se puede observar que los esfuerzos están totalmente por debajo del esfuerzo máximo permisible que soportaría esta pieza. Así mismo, se puede hacer énfasis de la ubicación del esfuerzo máximo, porque se encuentra en el lugar de sujeción, específicamente en un chavetero.

El chavetero del lado izquierdo de la chapaleta presenta el máximo esfuerzo con 231.9 MPa. El esfuerzo mínimo se ubica en la lengüeta, específicamente en un punto del borde de la parte superior con 0.001161 MPa.

Según la simulación se puede determinar que los chaveteros son los lugares de mayor tensión, y en los cuáles se debe priorizar la inspección mecánica para este tipo de válvulas, conjuntamente con sus chumaceras.

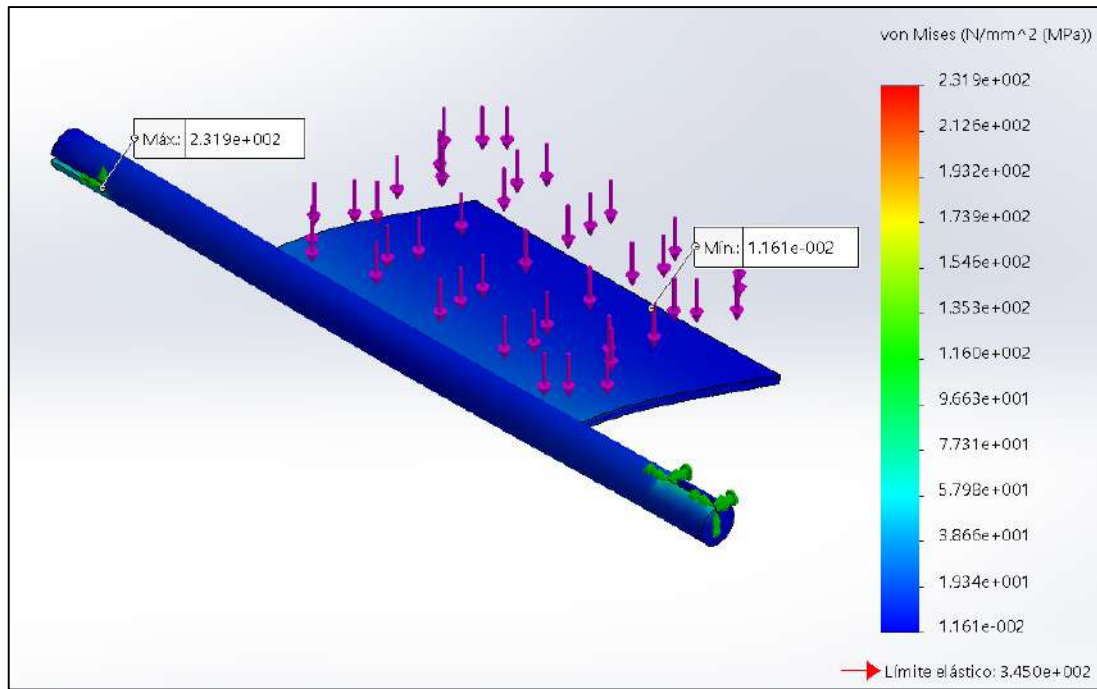


Figura 4.4. Esfuerzos Von Mises sobre la chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

Así mismo, se concluye que la pieza se encuentra en óptimas condiciones para el trabajo con la carga mencionada anteriormente. Resultando hasta el momento un diseño viable mecánicamente para la función requerida.

4.2.2.2.Desplazamiento

En este apartado se considera al desplazamiento como la elongación que sufre un material al ser sometido a esfuerzos. Se puede relacionar de manera análoga al pandeo que sufre una viga estructural empotrada.

Los resultados se presentan para analizar el comportamiento de la chapaleta en caso de trabamiento mecánico, lo que permite ver si en algún momento del ciclo, la carga ocasiona un desplazamiento anormal sobre la chapaleta.

Se obtiene que, el desplazamiento máximo en el borde de la lengüeta es 0.5 mm, lo cual sería insignificante. Este parámetro está dentro del rango normal, puesto que entre mayor distancia exista entre el punto de carga y sus sujeciones, habrá mayor momento de fuerza y por ende mayor desplazamiento.

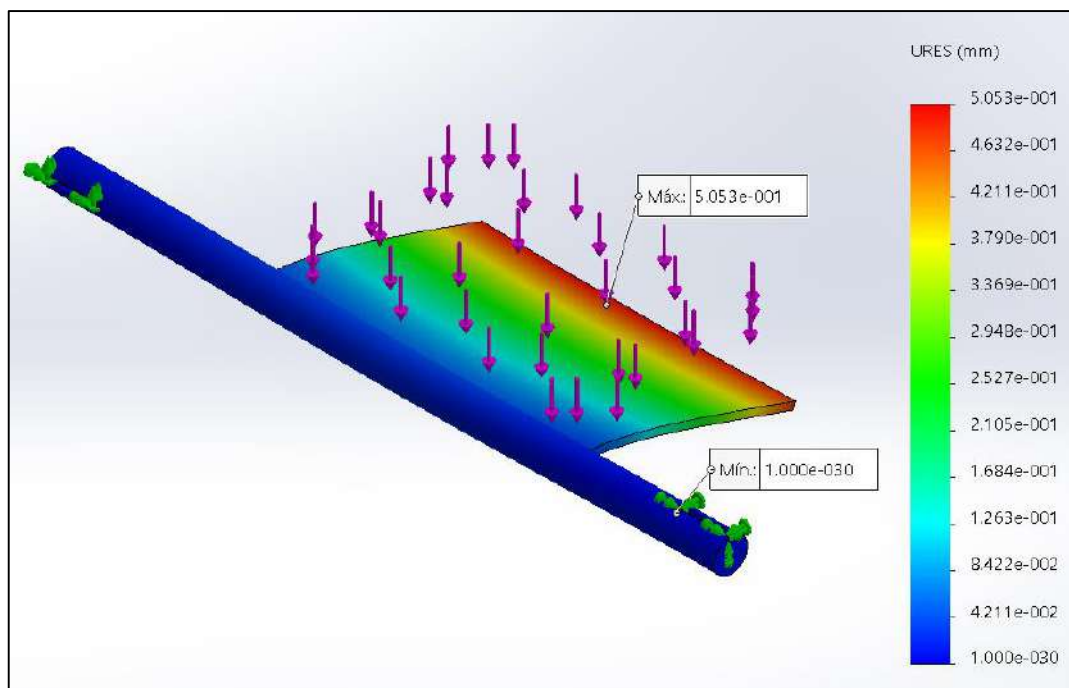


Figura 4.5. Desplazamiento mecánico de la chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

4.2.2.3. Factor de seguridad

De forma similar al resultado de los esfuerzos de Von Mises, el máximo y el mínimo se ubican en los mismos lugares. Sin embargo, el factor de seguridad mínimo es el más importante y vale la pena analizar, porque es el índice que refleja que tan segura es la pieza en cuanto a resistencia mecánica.

A continuación, se verifica que el material cumpla con la norma LRFD para los parámetros establecidos anteriormente:

$$\sigma_{\text{límite}} \geq 1.4 (\sigma_{\text{carga máx}}) \quad [4.8]$$

Se debe tener en cuenta que el esfuerzo máximo permisible del acero ASTM A588 es 345 MPa. Y que el esfuerzo máximo que soporta la chapaleta ante la carga simulada anteriormente es 231.9 MPa. Para calcular el factor de seguridad de manera cuantitativamente, se reemplazan los valores determinados en la siguiente ecuación:

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{máximo}}} \quad [4.9]$$

$$F.S. = \frac{345 \text{ MPa}}{231.9 \text{ MPa}} \quad [4.10]$$

$$F.S. = 1.48 \quad [4.11]$$

Finalmente, se concluye que el diseño de la válvula pendular cumple con la norma mecánica establecida, además garantiza un funcionamiento correcto mientras la carga de cemento esté dentro del rango utilizado.

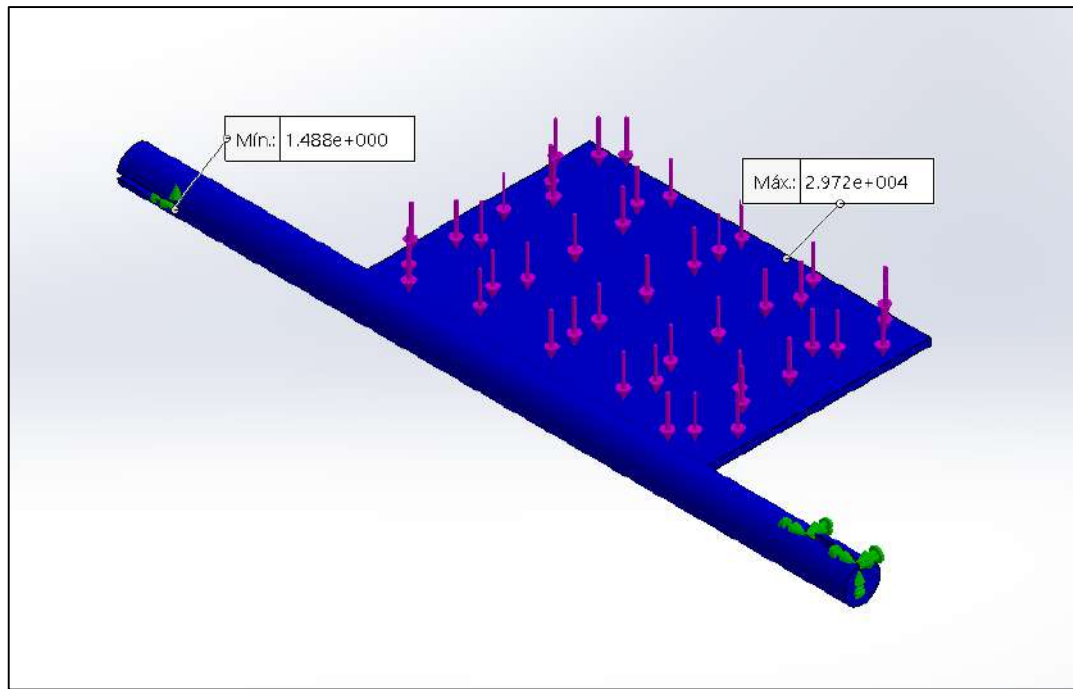


Figura 4.6. Factores de seguridad de la chapaleta.

Fuente: Elaborado por autor.

4.3. Confiabilidad del equipo

En este apartado se calculará el factor de confiabilidad del proceso de embolsadura, utilizando la fórmula enunciada en el capítulo anterior. Esta fórmula está adaptada para la planta Piura, debido a las variables propias de esta fábrica.

4.3.1. Consideraciones para el cálculo

A continuación, se presentan las consideraciones establecidas de cada parámetro para el cálculo del factor de confiabilidad del proceso de embolsadura, con su explicación pertinente.

4.3.1.1. Correctivos no programados

Tal y como su nombre lo dice, son los trabajos de mantenimiento no programados que se realizan cuando se da a conocer una avería y la reparación no puede ser postergada. Como se mencionó en los capítulos anteriores, el ingreso de cemento al motorreductor ocasionaba hasta más de 4 horas de reparación, con una frecuencia de cuatro a cinco semanas, por lo que se considera dentro de este parámetro.

El problema en esta área, es que el mantenimiento preventivo es mínimo. Por lo que, de manera frecuente suceden averías comunes en el traslado de los sacos de cemento, ya sea como un cambio de faja o el alineamiento de esta en el mejor de los casos. El tiempo de correctivos no programados en el mes de noviembre del 2017 es:

$$CNP_{sin\ diseño} = 28.58\ horas \quad [4.12]$$

Teniendo en cuenta la mejora de la válvula pendular, este tiempo se reduciría considerablemente, puesto que, la avería descrita anteriormente ya no sucedería y al ser

dos filtros de mangas de embolsado con el mismo problema, se tendría aproximadamente 9 horas menos. Por lo tanto, la duración en cuanto a trabajos no programados en un mes sería:

$$CNP_{con\ diseño} = 19.58\ horas \quad [4.13]$$

4.3.1.2. Tiempo total de operación

El tiempo total de operación hace referencia al período evaluado, en el departamento de mantenimiento se llevan de manera mensual los indicadores más importantes.

$$TT_{sin\ diseño} = TT_{con\ diseño} = 720\ horas \quad [4.14]$$

4.3.1.3. Mantenimiento preventivo

Son los trabajos de mantenimiento que se encuentran programados. En el área de embolsado se ejecutan durante 8 horas los días jueves, deteniendo la producción de una de las líneas de embolsado, alternando las actividades según la producción. Por lo que, se tiene:

$$PMV_{sin\ diseño} = 32.0\ horas \quad [4.15]$$

El diseño de la válvula pendular no tendría gran efecto sobre el mantenimiento preventivo eléctrico y de instrumentación. Sin embargo, sobre la parte mecánica significaría una reducción de aproximadamente 2 horas, de manera particular en los trabajos para comprobar el estado de la holgura de la esclusa. Puesto que, este equipo ya no se utilizaría y sería reemplazada por el diseño de la válvula. Entonces se tiene un tiempo de:

$$PMV_{con\ diseño} = 30.0\ horas \quad [4.16]$$

4.3.1.4. Sin demanda

Este parámetro no se considera para el cálculo de equipos del proceso de embolsadura, puesto que, al contrario de los molinos verticales en los cuales se detiene su operación cuando el silo está lleno. Los equipos de embolsado están operativos mientras el silo se encuentre por encima del 50% de su totalidad. Por lo que su valor es nulo.

$$PSD_{sin\ diseño} = PSD_{con\ diseño} = 00.0\ horas \quad [4.17]$$

4.3.1.5. Control de demanda

Los equipos de esta área, se mantienen funcionando durante dos turnos por día, siendo cada turno de 8 horas. A diferencia de otros procesos en la fábrica, el embolsado no se detiene por hora punta, es decir, se mantiene operativo entre las 5pm a 11pm de manera normal.

$$PCD_{sin\ diseño} = PCD_{con\ diseño} = 00.0\ horas \quad [4.18]$$

4.3.2. Resultados

Para el siguiente cálculo, se debe tener en cuenta que el tiempo considerado es aproximado y será reemplazado por el obtenido en la data real, porque generalmente existen tiempos muertos los cuales no se tienen en cuenta en la programación.

A continuación, se presentan los resultados calculados en Excel, gracias a la fórmula establecida anteriormente con respecto a la confiabilidad del proceso de embolsadura.

4.3.2.1. Confiabilidad sin diseño

En este apartado se calcula la confiabilidad, según la data real que se tiene del departamento de operaciones de la empresa Cementos Pacasmayo. Los tiempos están en horas y minutos por lo que se debe convertir todo a las mismas unidades para obtener así un valor más exacto.

Tabla 4.2. *Parámetros para el cálculo de la confiabilidad sin el diseño de la válvula.*

Sin Diseño	Variable	Tiempo [H]	%
Fecha Inicio	-	1/11/2017	-
Fecha Final	-	31/11/2017	-
Tiempo Total	TT	720.0	100.00%
M. Programado	PMV	34.37	4.77%
M. No Programado	CNP	28.58	3.97%
Prod. Hora Punta	PCD	0.0	0.00%
Restricciones	PSD	244.25	33.92%
Fallas Externas	PCE	2.70	0.38%
Tiempo Operativo	-	410.01	56.96%

Fuente: Elaborado por autor.

Se reemplazan los valores en la fórmula para el cálculo del factor de confiabilidad:

$$\text{Factor de confiabilidad} = 1 - \left[\frac{CNP}{TT - [PMV + PSD + PCD]} \right] \quad [4.19]$$

Donde:

CNP = Correctivos no programados.

TT = Tiempo total.

PMV = Mantenimiento preventivo.

PSD = Sin demanda (Silo lleno).

PCD = Control de demanda (Hora Punta).

$$\text{Factor de confiab.} = \left[1 - \left[\frac{28.58}{720 - [34.37 + 244.25 + 0]} \right] \right] \times 100 \quad [4.20]$$

$$\text{Factor de confiabilidad} = 93.58 \% \quad [4.21]$$

4.3.2.2. Confiabilidad con diseño

Para este apartado se utilizan valores proyectados del impacto de la válvula pendular en el equipo con base en la data real. Por lo que, se tiene la siguiente tabla de parámetros:

Tabla 4.3. *Parámetros para el cálculo de la confiabilidad sin el diseño de la válvula.*

Con Diseño	Variable	Tiempo [H]	%
Fecha Inicio	-	1/11/2017	-
Fecha Final	-	31/11/2017	-
Tiempo Total	TT	720.0	100.00%
M. Programado	PMV	32.37	4.50%
M. No Programado	CNP	19.58	2.72%
Prod. Hora Punta	PCD	0.0	0.00%
Restricciones	PSD	244.25	33.92%
Fallas Externas	PCE	2.70	0.38%
Tiempo Operativo	-	421.10	58.48%

Fuente: Elaborado por autor.

Se reemplazan los valores en la fórmula para el cálculo del factor de confiabilidad:

$$\text{Factor de confiabilidad} = 1 - \left[\frac{\text{CNP}}{\text{TT} - [\text{PMV} + \text{PSD} + \text{PCD}]} \right] \quad [4.22]$$

Donde:

CNP = Correctivos no programados.

TT = Tiempo total.

PMV = Mantenimiento preventivo.

PSD = Sin demanda (Silo lleno).

PCD = Control de demanda (Hora Punta).

$$\text{Factor de confiab.} = \left[1 - \left[\frac{19.58}{720 - [32.37 + 244.25 + 0]} \right] \right] \times 100 \quad [4.23]$$

$$\text{Factor de confiabilidad} = 95.58 \% \quad [4.24]$$

Como se puede observar en los resultados cuantitativos, el aumento en la confiabilidad de los equipos en el área de embolsado no sobrepasa el dos por ciento. Sin embargo, este pequeño aumento significaría muchas horas hombre menos de trabajo y por lo tanto de dinero. Además de mayor tiempo disponible para que producción pueda operar los equipos según su stock diario.

A continuación, se grafican los resultados para puntualizar de manera concreta lo que significaría el reemplazo de la esclusa en el filtro de mangas por la válvula diseñada en esta investigación. Así mismo, se incluye la disponibilidad el cual es un parámetro importante y que a diferencia del factor de confiabilidad tiene en cuenta las paradas de operación por fallas externas y problemas operativos.

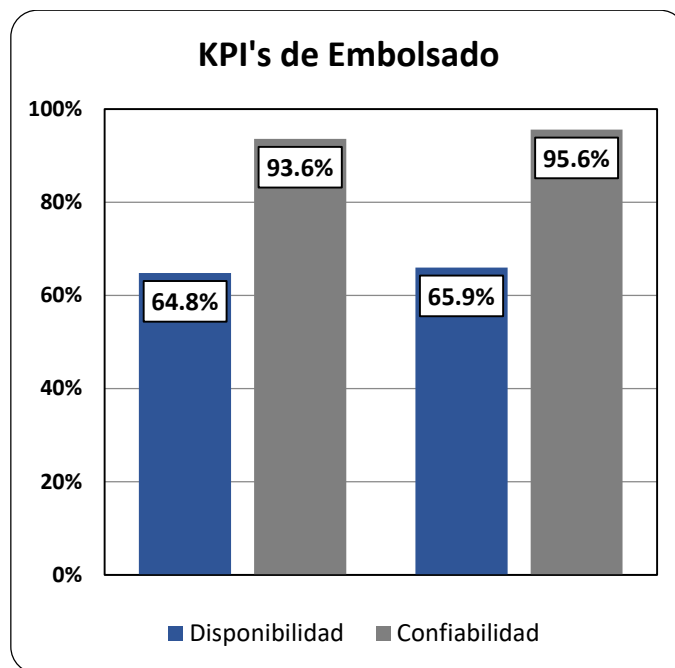


Figura 4.20. Cuadro de barras comparativos de la disponibilidad y confiabilidad.

Fuente: Elaborado por autor.

4.4. Costos

En este apartado se presenta el alcance económico del diseño de la válvula pendular, así como, el ahorro en horas hombre y en repuestos que se tendría si se implementa la mejora.

4.4.1. Costo de mantenimiento

En la planta Piura los trabajos de mantenimiento preventivo son tercerizados, es decir, son ejecutados por una empresa contratista. La cual tiene un costo unitario por hora hombre para los técnicos, y supervisores.

Tabla 4.4. Costo de las horas hombre de mantenimiento.

MANO DE OBRA								
ITEM	DESCRIPCIÓN	H. HOMBRES	DIAS NORMALES	PERSONAL	C. UNITARIO H-H		SUB TOTAL	
1	Técnico mecánico	5	2	2	S/	25.00	S/	500.00
2	Supervisor mecánico	5	2	1	S/	35.00	S/	350.00
3	Supervisor de seguridad	5	2	1	S/	33.00	S/	330.00
SUB TOTAL							S/	1,180.00

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Como se puede observar en la tabla, en un día de trabajo de mantenimiento el costo es de S/. 1, 180.00. Puesto que, por reglamento interno de la empresa siempre tiene que haber un supervisor del área y uno de seguridad. Así mismo, se requieren dos técnicos mecánicos para los trabajos por la fuerza que demanda y porque la política de seguridad así lo dicta.

Lo descrito anteriormente, hace referencia a las circunstancias previas al estado de falla. Pero en el caso más crítico se produce la avería de los rodamientos y por ende falla del motorreductor. Por lo que, el Ingeniero de Planeamiento debe hacer una orden de retiro, o una orden de compra si es que no se encuentra en stock del almacén. A continuación, se muestran los precios de los repuestos:

Tabla 4.5. *Costo de los repuestos del motorreductor.*

REPUESTO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
1	Kit de Mantto SEW RF37 DRE80M4	1	S/ 550.00	S/ 550.00
2	DRE80M4 MOTORREDUCTOR SEW	1	S/ 3,460.23	S/ 3,460.23
	SUB TOTAL			S/ 4010.23

Fuente: Departamento de Operaciones. Cementos Pacasmayo.

Se puede observar que, ante una avería conviene tener el kit del mantenimiento, puesto que, un motorreductor nuevo costaría más de seis veces su precio. Las ventajas que tendría esta válvula pendular en el aspecto económico son evidentes. En este apartado se demuestra un ahorro de dos mil soles por mes, debido al alto costo de mantenimiento preventivo y repuestos. Esto sin tomar en cuenta el costo de los trabajos correctivos en lo que se refiere a detener la producción, lo que convierte totalmente viable esta mejora.

Conclusiones

1. Con la mejora del diseño se puede realizar un control de inspección más accesible, menos frecuente y menos complejo. Debido a que, el diseño tiene ventanas de inspección las cuáles son de unión empernada, y esto facilita su apertura y cierre para la ejecución de trabajos de limpieza o mantenimiento. Por lo que, se genera una reducción considerable en los tiempos de reparación y, por ende, en el costo del mantenimiento del activo.
2. En el diseño de una pieza de acero sometida a materiales corrosivos como el cemento se debe tener en cuenta el material a elegir, además de la resistencia mecánica necesaria para los esfuerzos que será sometido. En este caso, se eligió el acero ASTM A588, sin embargo, existen otros aceros como el CHRONIT T1 el cual tiene buenas características anticorrosivas, pero presenta gran dificultad para la soldadura lo cual impide una sencilla fabricación de la pieza.
3. Aunque no tiene en cuenta las fallas o suministros externos, la confiabilidad es un indicador eficiente para poder gestionar el mantenimiento de planta. Debido a que, relaciona la reducción de los trabajos preventivos y correctivos con el aumento de la capacidad de funcionar un equipo en un intervalo de tiempo dado. Sin embargo, para la fábrica del cemento de la planta Piura, la disponibilidad es el indicador de mayor importancia y que se tiende a mejorar.
4. Se puede concluir que, si el equipo es crítico o también llamado “punto rojo” para la producción, al mejorar su confiabilidad y disponibilidad, este incremento tendrá un impacto considerable en todo el proceso. Como se pudo observar en los cálculos de la confiabilidad del embolsado de cemento.
5. Tener los repuestos del motorreductor en stock no es un precio excesivamente alto, pero el cambio frecuente de estos más el costo las horas hombre de los técnicos mecánicos, resultan un costo considerable para un solo equipo de un proceso. Además, un motorreductor nuevo costaría hasta seis veces el precio del kit de mantenimiento. Por lo cual implementar una mejora que reduzca esto, es viable económicamente.
6. No solo los equipos que tienen un impacto inmediato o trascendental en la producción, son calificados como críticos o “puntos rojos”. En una fábrica de cemento, llegan a ser casi de igual importancia los activos que produzcan una polución trascendental para el medio ambiente y/o para la salud de los colaboradores, tal y como ha sido el equipo que se ha elegido para mejorar.

7. En esta tesis se concluye que las actividades del Ingeniero de confiabilidad no deben limitarse a identificar las fallas a través de los métodos como el FMEA, LCC, RCM. Sino también, puede proponer y ejecutar mejoras utilizando conocimientos de diseño mecánico, aportando al proceso de mejora continua, relacionando el mantenimiento con la producción de su empresa.
8. El análisis de esfuerzos mecánicos basado en el Método de Elementos Finitos (MEF) reduce el tiempo y costo en el diseño de una pieza, debido a que, especifica los puntos críticos con exactitud y se puede llegar a saber de manera inmediata donde no está dimensionada correctamente una pieza para la carga que será sometida. Por lo que, este trabajo de investigación no se pudiera haber realizado sin la herramienta SimulationXpress del software SOLIDWORKS.

Bibliografía

Budynas, R. y Nisbett, J. (1997). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México D.F, México: McGraw-Hill / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Sanjuán, M. y Chinchón, S. (2015). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Alicante, España: Unión de Editoriales Universitarias Españolas.

Arata, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*. Valparaíso, Chile: RIL Editores.

Huancaya, C. (2016). Mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de una flota de cosechadoras de caña de azúcar de 40 t/h de capacidad (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Villarroel, L. (2013). Diseño de válvula de admisión tipo mariposa con diámetro nominal de 750 mm para una central hidroeléctrica de 34.7 m de salto neto (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Ocampo, J. (2016). Mundo negocio. *Historia de éxito: Cementos Pacasmayo el gigante de la construcción*. Recuperado de <http://mundoNegocio.pe>

Anexos

Anexo B – 1
Propiedades mecánicas del Acero ASTM A588

TIPO DE ACERO	DIFERENTES USOS
ASTM A 36	-Placas de Conexión -Anchajes de barras redondas tipo (OS) y perfiles (L) -Cuerdas Superiores e Inferiores de Armaduras (L) -Armaduras y Diagonales de Armaduras (L) -Llaves tipo J (OS o L) -Contravientos de Columnas (OS)
ASTM A 529 G 50	-Placas hasta 1" de espesor (Placas de Conexión, Placas Base, Cortabombas, etc.) -Canales (OS) pequeños utilizados para alfileres de escaleras y conexiones de puntos de viento -Cuerdas de Armaduras de (L) -Molduras y Diagonales (L) -Contravientos Laterales (L)
ASTM A 572 G 50	-Placa hasta 4" -Vigas Principales tipo (R) -Vigas Secundarias tipo (R) -Columnas de Perfiles tipo (R) -Mezclas
ASTM A 588	-Acero Pátinable (por lo general es un acero que está sometido a la intemperie) -Plataformas Marinas
ASTM A 709	-Puentes -Torres de Transmisión
ASTM A 992	-Vigas (R) -Columnas (R) -Mezclas (R) -Puntos de viento (R) -Espectáculos (R) -Trabes Cortil
ASTM A 53	-Tubos Estructurales
ASTM A 500	-Columnas de secciones huecas cuadradas (RSS o OR) -Columnas de secciones huecas circulares (RC) -Columnas de secciones huecas rectangulares (RSS o OR)
ASTM A 501	-Borbotones (PTB o UB) -Bases de tanques de gas, de agua, etc (PTB o UB)

TABLA 1

CORRELACION DE LAS NMX Y ASTM DE ACEROS ESTRUCTURALES					
Nomenclatura		F _y ^a		F _u ^a	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
B-254	A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
		320	3,235	460	4,710
B-282	A 242	345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
		345	3,515	450	4,570
B-284	A 572	414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
	A 992	345	3,515	450 a 620	4,570 a 6,330
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588	345	3,515	483	4,920
		250	2,550	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
	A 913	345 a 483	3,515 a 4,920	448 a 620	4,570 a 6,330

- 1) Norma Mexicana
- 2) American Society for Testing and Materials
- 3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material
- 4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible
- 5) ASTM especifica varios grados de acero A 500, para tubos circulares y rectangulares
- 6) Para perfiles estructurales; placas y barras ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material
- 7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70

Anexo B – 2

Propiedades mecánicas de las barras de Acero AISI 1045



BARRAS REDONDAS CALIBRADAS SAE 1045

Denominación
Eje Calibrado SAE 1045

CARACTERÍSTICAS:

Producto de sección redonda, que se obtiene por laminación en frío, obteniendo una gran exactitud dimensional (DIN/EN 10278 h9) y buena calidad superficial.

Tienen mayor resistencia en comparación con las otras variantes de acero SAE 1045. Es el acero de transmisión más común en el rango de aceros de carbono medio.

CALIBRADA SAE 1045		
Diámetro	Peso	
	(kg/m)	(kg/6m)
1/2"	0.99	5.97
5/8"	2.24	9.32
3/4"	1.55	13.42
1"	3.98	23.87
1 1/4"	6.22	37.29
1 1/2"	8.95	53.70

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Límite de Fluencia mín. (Mpa)	580
Resistencia la Tracción (Mpa)	680
Alargamiento mín. en 2%	12%
Dureza mín (HB)	180



NORMA TÉCNICA:

AISI/SAE 1045

Tolerancia Dimensional DIN/EN 10278 h9

PRESENTACIÓN:

Barras de 6m de largo + ó - 0.50m.

USO:

Es utilizado para todo tipo de elementos que requieren de dureza y tenacidad como ejes, manivelas, chavetas, engranajes de baja velocidad, pasadores y cigüeñales.

DIÁMETRO mm.	TOLERANCIA h9 mm.
Hasta 3mm	-0.025 / +0.0
<3 - 6]	-0.030 / +0.0
<6 - 10]	-0.036 / +0.0
<10 - 18]	-0.043 / +0.0
<18 - 30]	-0.052 / +0.0
<30 - 50]	-0.062 / +0.0
<50 - 80]	-0.074 / +0.0
<80 - 120]	-0.087 / +0.0
<120 - 180]	-0.100 / +0.0
<180 - 200]	-0.115 / +0.0

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Carbono (% máx.)	0.43-0.50
Manganeso (% máx.)	0.60-0.90
Fósforo (% máx.)	0.04
Azufre (% máx.)	0.05



Anexo B – 3

Propiedades mecánicas del Acero AISI 1020





CATÁLOGO DE PRODUCTOS

ACEROS AL CARBONO

SUMINISTRO LAMINADO Y TREFILADO

SAE 1020

Descripción: Acero de bajo carbono, blando, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.

Usos: Se utiliza en ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos, sujetadores, engranajes, piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas.

SAE 1020

Composición química (%)	
C	0,18 - 0,23
Mn	0,30 - 0,60
P	0,04 Máx.
S	0,05 Máx.

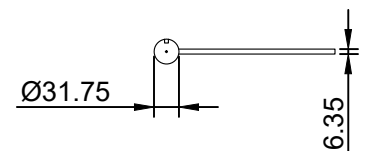
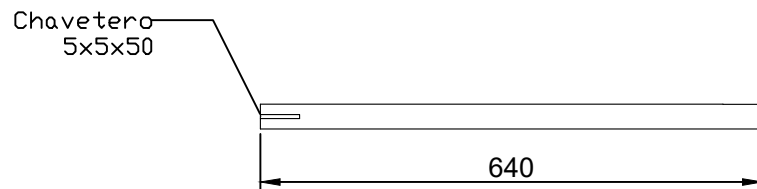
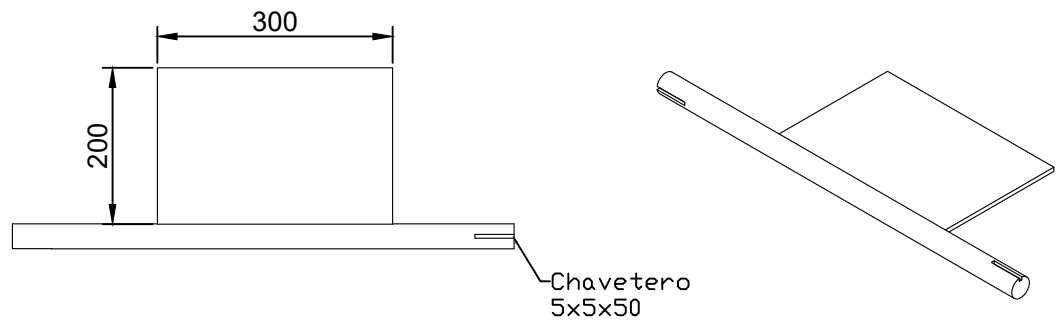
Tratamiento térmico Valores en °C	
Forjado	820 - 1100
Normalizado	870 - 890
Revenido	150 - 180
Recocido	650 - 700
Templado	Agua 820 - 850
Cementación	900 - 950

Propiedades mecánicas Laminado en caliente	
Resistencia a la tracción	40 - 45 kgf/mm ²
Límite de fluencia	27 kgf/mm ²
Elongación	20%
Reducción de área	50%
Maquinabilidad	72%
Dureza (HB)	110 - 140



Formas: Redonda, cuadrada y hexagonal

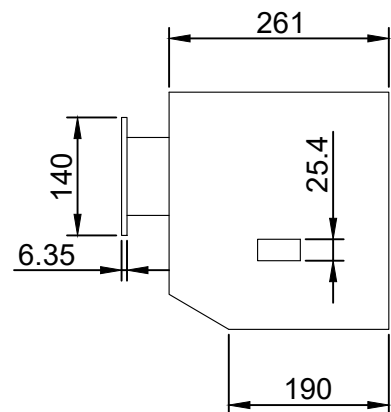
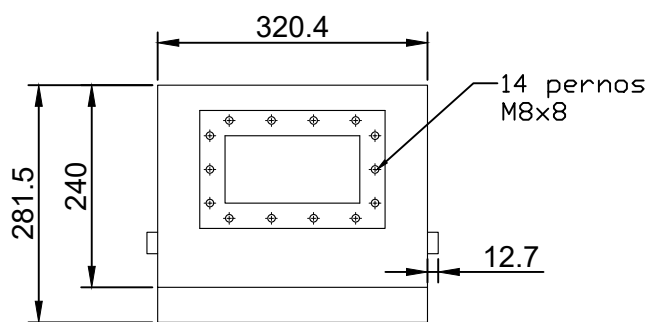
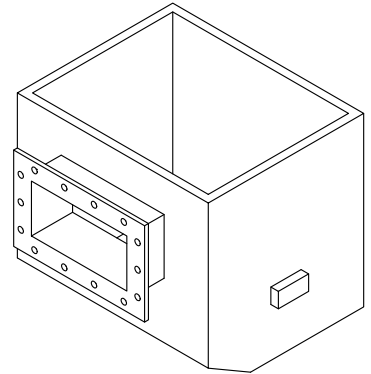
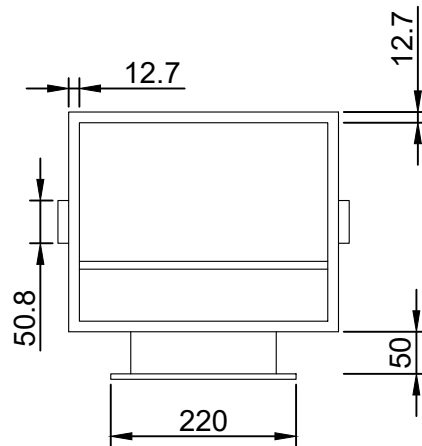
Apéndices



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

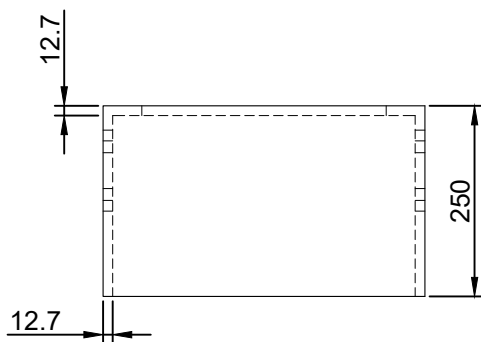
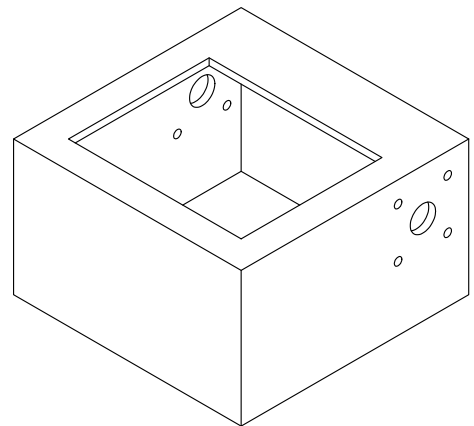
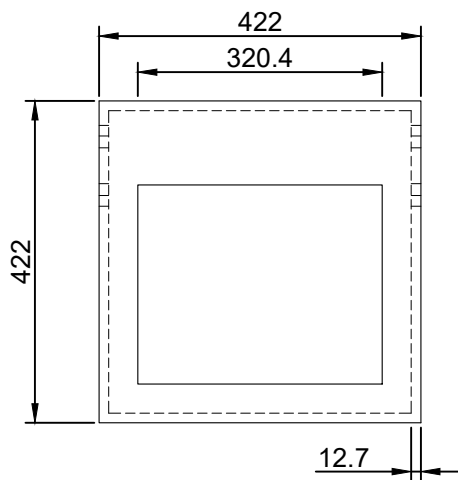
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA			
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Vistas e isométrico - chapaleta			Apéndice A - 1		1:10
Luis Angel Rivera Vitonera					PLANO N°1



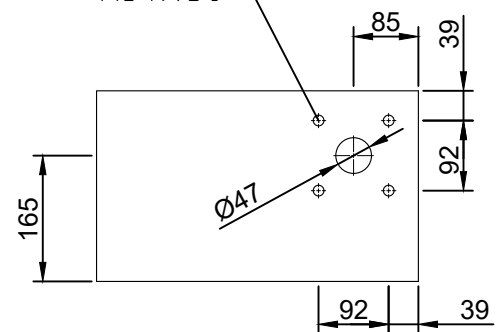
Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA			
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Vista e isométrico - Bypass			Apéndice A - 2	1:10	
Luis Angel Rivera Vitonera				PLANO Nº2	



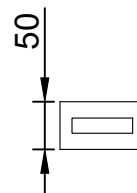
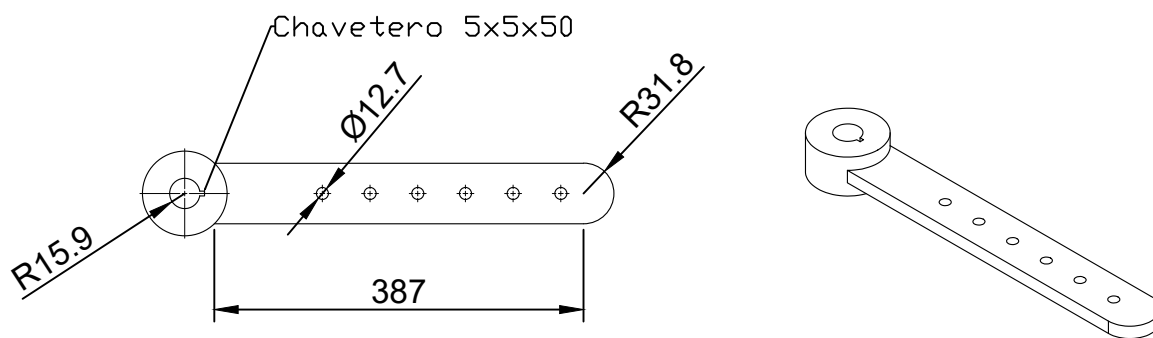
Agujeros p/pernos
M14x30



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

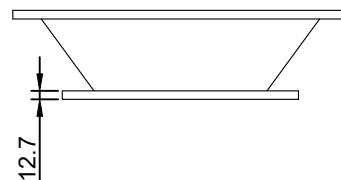
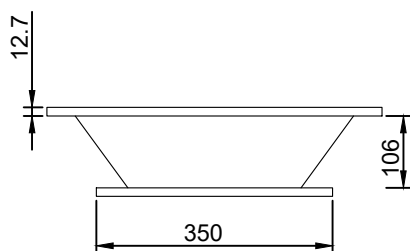
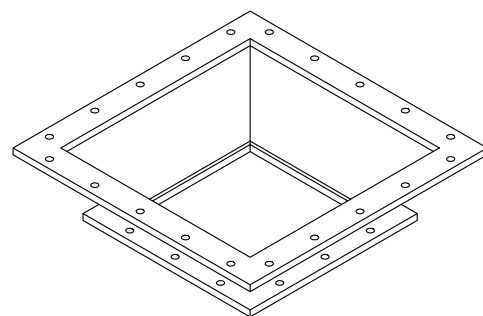
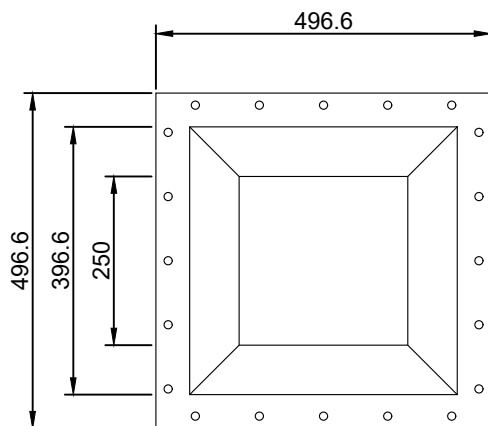
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA			
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Vistas e isométrico - Caja válvula			Apéndice A - 3	1:10	
Luis Angel Rivera Vitonera				PLANO N°3	



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

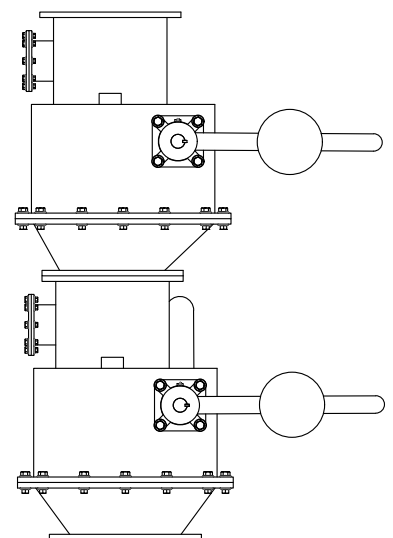
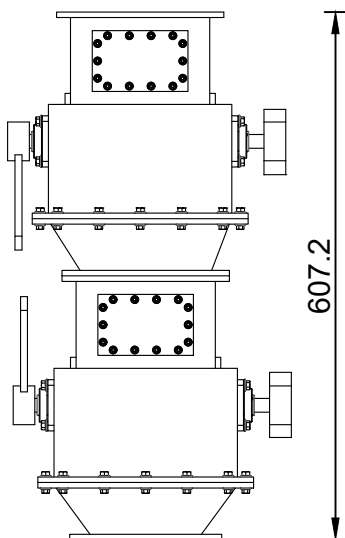
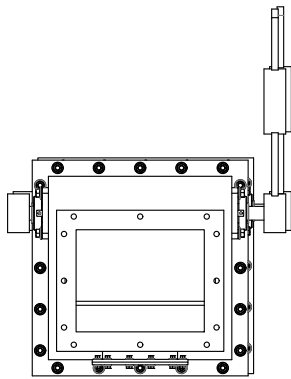
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA	
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA		
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO		
Vistas e isométrico - Contrapeso			Apéndice A - 4	1:10
Luis Angel Rivera Vitonera				PLANO N°4



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

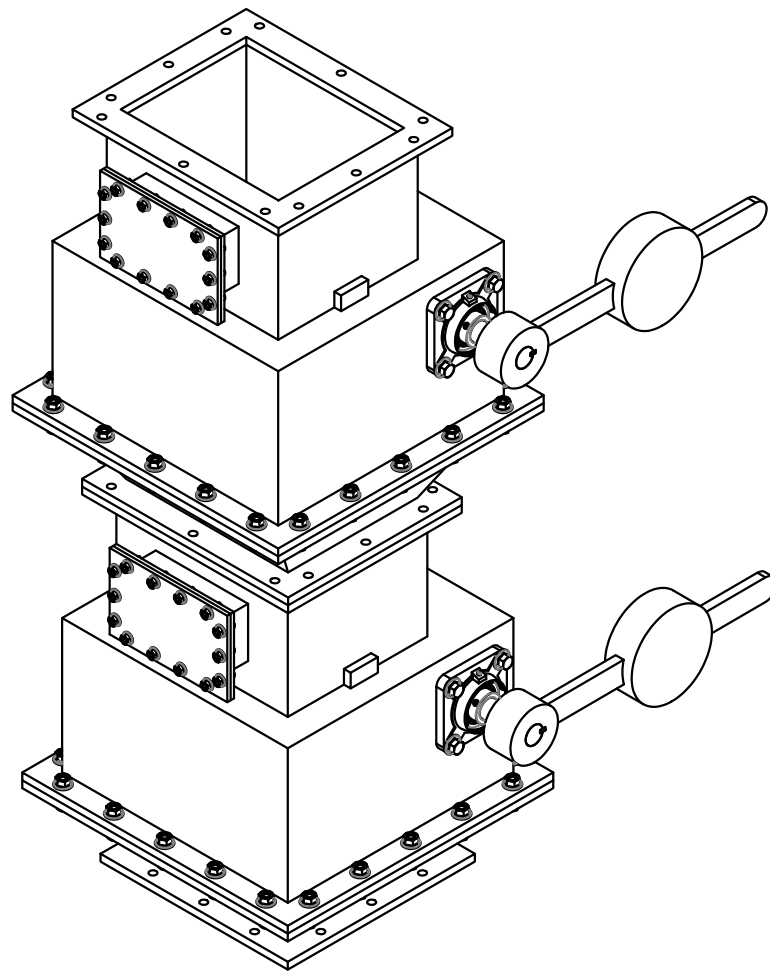
	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA	FACULTAD DE INGENIERÍA		
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Vistas e isométrico - Chute			Apéndice A - 5		1:10
Luis Angel Rivera Vitonera					PLANO N°5



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA			
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Vistas del ensamblaje			Apéndice A - 6		1:10
Luis Angel Rivera Vitonera					PLANO N°6



Nota:

- 1) Todas las dimensiones están en milímetros.

	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERÍA		
DIBUJADO	DIC-2018	LUIS RIVERA			
REVISADO	FEB-2019	ING. CASTRO			
Isométrico del ensamblaje			Apéndice A - 7		1:10
Luis Angel Rivera Vitonera					PLANO Nº7