

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA

Optimización De Mantenimiento Y Proceso Operacional De Molienda En
Cementos Polpaico

Trabajo de titulación para optar
Título de Técnico Universitario en
Mecánica Industrial Alumno:
Claudio Andrés Aguilera Ferbol
Profesor Guía: Víctor Valdebenito



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Optimización de Mantenimiento y Proceso Operacional de Molienda en Cemento Polpaico

Nombre del candidato(a): Claudio Andrés Aguilera Ferbol

Carrera / Grado: Técnico Universitario en Mecánica Industrial

Campus: Sede Concepción Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Victor Valdebenito C.** en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 17/12-2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17-12-2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Tabla De Contenido

CONSTANCIA DE VALIDACION Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFIA A REPOSITORIO ACADEMICO.....	2
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Problema Central	10
1.4. Pregunta de Investigación	12
1.6. Objetivos Específicos	12
1.7. Tabla de Operacionalización de Variables	13
Variable Independiente: Gestión operacional y de mantenimiento del proceso de molienda .	13
Variable dependiente: Desempeño del proceso de molienda de cemento.....	13
1.7.1 Relación entre Variables	14
1.7.3. Gestión operacional del proceso de molienda	15
1.7.3. Gestión de mantenimiento del proceso de molienda	16
CAPITULO III: MARCO TEORICO	16
3.1. Antecedentes históricos	16
3.1.1 Antecedentes Generales De La Empresa	17
3.1.2 Documentos Consultados	17
cuenta a lo largo de Chile con:	18
3.1.4 Estructura De La Empresa.....	19
3.1.5. PolíOca De Seguridad Y Medio Ambiente	21
Principales Del Proceso	23
3.2.1. Extracción y preparación de materias primas	23
3.2.2 Trituración y prehomogeneización	23
3.2.3 Molienda del crudo	23
3.2.4 Clinkerización (cocción)	24
3.2.6. Molienda de cemento	24

3.3.1. Teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM – Reliability Centered Maintenance): Autor base John Moubray (1997).	24
3.3.2. Teoría del Mantenimiento Productivo Total (TPM) Autor Seiichi Nakajima (1988)	25
TPM busca maximizar la eficiencia global de los equipos (OEE) integrando a los operadores en las tareas básicas de mantenimiento. Pilares del TPM relevantes, para el Mantenimiento autónomo, Mantenimiento planificado Mejora enfocada Capacitación aplicada a la molienda, permite que	
Operadores detectan anomalías (ruidos, vibraciones, pérdidas de eficiencia), Mejora del OEE del molino, Disminución de pérdidas por micro paradas y baja eficiencia	25
3.4.3. Control del Proceso	26
3.4.6. Mantenimiento	27
3.5.1. Calidad del Producto	29
3.5.4 Clasificación Tipos de Cemento	30
Cemento ;po p-400 de alta resistencia	30
3.5.6. Descripción Del Proceso Productivo De Cementos Polpaico S.A Planta Coronel	30
3.5.7. Línea De Alimentación (Banda Transportadora) Y Almacenamiento De Materias Primas (Silo)	31
3.5.8. Recepción Y Descarga De Materias Primas	31
3.5.9. Equipos Asociados En La Recepción	32
3.5.10. Sistema De Dosificación: Dosificador De Placas (Apron Feeder)	32
3.6. Características Técnicas De Dosificador De Placas	32
3.6.2 Ventajas De Este Sistema De Transmisión:	34
3.6.3. Características Mecánicas Relevantes De La Banda 511:	34
3.6.4. Función Operativa De La Banda Transportadora	35
3.6.5. Banda Transportadora:	36
3.6.6. Criterios En Selección Del Correcto Tipo De Banda Es El Siguiete:	36
3.6.7. Características Técnicas:	37
3.6.8. Principales Características Y Funciones	37
3.6.9. Almacenamiento De Materias Primas:	38
3.6.10. Distribución Y Alimentación A Tolvas De Almacenamiento (Sector 521)	38
3.7. Desvío Hacia Tolvas De Clínker	39
3.7.1. Características Del Sistema En Esta Etapa:	39
3.7.2. Desvío Hacia 521 DM2 Para Yeso Y Puzolana	40
3.7.5. Proceso De Alimentación Del Molino	43
5.3. Dosificación Mediante Bandas Pesadoras	43
3.7.6. Características Técnicas De Las Bandas Pesadoras.	44
3.7.8. Condición Operacional Para Iniciar La Alimentación Al Molino	46

3.7.9. Resultado Del Proceso	46
2.7.9. Proceso De Secado	47
3.7.10. Ingreso A Través De La Esclusa De Material	47
3.8. Cámara De Secado Del Molino	47
3.8.1. Generación De Los Gases De Secado	47
3.8.2. El Control Térmico Se Realiza Mediante:	48
3.8.4. Cámara de Secado del Molino	49
3.8.5. Control térmico y generación de gases calientes	49
3.8.6. Ventilación del Molino (Ventilador VE)	49
3.8.7. Transporte Neumático Interno	50
3.8.8. Extracción De Vapores Y Gases Residuales	50
➤ 5.7. Sistema De Inyección De Agua (Enfriamiento Interno)	50
3.8.9. Cámaras de Molienda	51
3.8.10. Primera Cámara	51
3.9. Segunda Cámara	51
3.9.1. Profundización De Sistema De Molienda	52
IMAGEN DE MOLINO DE BOLAS	52
3.9.2. Descripción Funcionamiento molino de bolas cemento polpaico	52
3.9.3. Especificación Técnica de la Composición y Parámetros Operacionales de la Carga de Bolas en Molino de cemento.	53
3.9.4. Principales Partes Que Componen El Molino:	54
➤ Carcasa Interior:	54
➤ Revestimiento Del Molino:.....	54
3.9.5. Datos Del Turboacoplamiento.	55
Función del turbo acoplamiento con maquina detenida	55
3.9.5. En Cuanto A Las Funciones Del Acoplador, Hay Que Considerar Tres Condiciones.	56
5.9.2 Imagen De Turboacoplamiento Detenido	56
3.9.6. Imagen De Turboacoplamiento En Arranque	57
3.9.7. Imagen De Turboacoplamiento Servicio Nominal	58
3.9.9. Componentes De Turboacoplamiento.	62
Tornillos Prisioneros Y Tornillos De Fijación.....	62
Tornillos Fusibles, Tornillos De Llenado, Tornillos Ciegos, Tornillos-Mirillas Del Nivel Del Líquido Y Tornillos De Tobera.....	63
Tornillos De Fijación	64

3.9.10. Identificar Las Principales Variables Operacionales De La Molienda (Dosificación De Materias Primas, Control De Temperatura, Ventilación Y Separación De Partículas) Y Evaluar Su Impacto En El Consumo Energético Y La Calidad Del Cemento	65
3.9.10. Dosificación de materia prima:	65
4.1.1. Ventilación:	66
4.1.2. Separación De Partículas:	66
4.1.3. Proponer Mejoras En La Operación Y Mantenimiento De Los Equipos Críticos, Orientadas A La Estandarización De Consignas, La Implementación De Estrategias De Mantenimiento Predictivo Y La Optimización De Los Sistemas De Control.	67
4.1.4. Optimización De Sistemas De Control:	69
4.1.5. Contribuir A La Eficiencia Y Sostenibilidad De La Planta De Mediante Recomendaciones Técnicas Orientadas A La Reducción Del Consumo Energético, El Aumento De La Confiabilidad De Los Equipos Y La Estabilidad De La Calidad Del Producto Final.	70
<i>Como resumen de lo expuesto se puede decir, que como primera experiencia en el área de la mecánica industrial proceso productivo, puede abordar este trabajo con una base de información adquirida sólida que me permitió comprender de mejor manera el funcionamiento general de la planta Cementos Polpaico Coronel. A partir de ese conocimiento, describí las maquinarias y componentes principales, dando a conocer la función que cada equipo cumplía dentro del proceso y cómo contribuía a mantener la continuidad operacional.</i>	72
Tipo y Diseño de Estudio	73
3.3. Unidad de análisis	73
Técnicas e instrumentos de recolección de información	73
3.5 Variables y aspectos analizados	74
3.6. Procedimiento de análisis	74
limitaciones del estudio	75
CAPITULO V: RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES	83
Bibliografía:	85

Índice De Tablas Informativas

Tabla 1: Operación De Variables.12-13

Tabla 2: Comparativa De Hombre Y Mujeres Según Su Cargo En Planta Polpaico.19

Tabla 3: Componentes Y Materia Prima En Cemento Polpaico.	30
Tabla 4: Diámetro Y Especificaciones De Bolas De Acero Utilizadas En Molienda.	52
Tabla 5: Apriete Para Tornillos Prisioneros Y Tornillos De Fijación.	61
Tabla 6: Apriete de Tornillos del Turboacoplamiento según tipo y tamaño del acoplador.....	62
Tabla 7: Apriete De Tornillos De Fijacion Del Turboacoplamineto Según Tamaño Del Acoplador ..	63
Tabla 8: De Ejecución Propia Con Datos De Costo Por Empresa Externa De Capacitación (Ecr Capacitación).....	75
Tabla 9: Resumen General De Costos	80
Tabla 10 : Evaluación del Impacto Económico.....	81

RESUMEN

Mi trabajo de investigación toma como referencia proceso de producción de cemento Polpaico enfocándome como punto principal la etapa de molienda.

En este proceso profundizaremos en lo que respecta la práctica operativa y la calidad del producto final, esto será en conjunto con análisis de maquinarias, sus componentes y los sistemas de transmisión de potencia de la planta de cemento ubicada en coronel.

La investigación se centró específicamente en el molino de bolas FL Smidth y en el turbo acoplamiento Voith, componentes clave para asegurar la continuidad operativa, la confiabilidad del sistema y la estabilidad del proceso de molienda, debido a su rol en la transmisión eficiente de potencia y en la protección de los equipos frente a sobrecargas y variaciones operacionales. El trabajo se dirigió al molino de bolas FL Smidth y al acoplamiento turbo Voith, como componentes críticos para la continuidad, estabilidad y confiabilidad de la operación de molienda. Este trabajo de estudio se centra en varios puntos importantes:

- Desgaste del equipo.
- Variabilidad en la dosificación de materia prima.
- Gestión de la temperatura en la cámara de secado.
- Eficiencia operativa del separador dinámico SEPAX.

Todas estas variables afectan de forma directa al consumo de energía del sistema y la estabilidad de los parámetros de calidad, como finura Blaine y la resistencia mecánica del cemento.

Se realizarán mejoras de acuerdo con el diagnóstico reportado, estandarizar los modos de operación, refinar los lazos de control PID, utilizar técnicas de mantenimiento predictivo en el acoplamiento turbo, la caja de engranajes y los ventiladores, y actualizar los

procedimientos operativos. El propósito de estas acciones es minimizar la variabilidad entre turnos, aumentar la consistencia de la calidad del producto y evitar paradas inesperadas.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de fabricación de material de cemento o proceso de molienda como es el caso de nuestra planta de coronal, con esto se logra construir casi en totalidad las infraestructuras de los edificios y vivienda de nuestro país. cemento polpaico posee una participación en el mercado del casi 40% con una capacidad de fabricación de todas las plantas de 3 millones de toneladas anuales repartidas en la totalidad de plantas de chile

La fabricación tiene etapas críticas en la fabricación se nombrarán:

- Extracción de materia prima
- Fabricación del componente principal Clinker en hornos rotativos
- En el caso de tener la materia prima (clinker, Puzolana, yeso) esta ingresa a un molino rotativo donde se reduce toda la materia prima en una sola molina según los requerimientos de fabricación

Definiendo esta etapa de molienda de cemento donde se define en gran medida la calidad del producto donde se mide la finura del material particula , resistencia mecánica, calor de hidratación y el consumo energético específico de la planta. En el caso de Polpaico, una parte relevante de su producción corresponde a cementos puzolánicos, como el Cemento Polpaico Especial y el Cemento Polpaico P400, que se fabrican bajo la norma chilena NCh 148.Of68 mediante la molienda conjunta de clínker, yeso y materiales puzolánicos.

La mezcla de materia prima en el caso del cemento P400 producido en Planta Polpaico es considera aproximadamente 70–80 % de clinker que es el material primordial en la calidad del cemento producido, 20–30 % de puzolana o conocida normalmente como arena y hasta 6 % de yeso, en la dosificación de materia prima controlando por peso en las bandas dosificadoras ,estos materiales para ingresar en el proceso de molienda para obtener una consistencia en el producto final según los parámetros de fabricación requeridos, se puede obtener como referencia que la etapa de molienda es la que mayor consumo energético posee , por lo que algunas mejoras en el proceso de fabricación han aumentado el conocimiento del personal se puede lograr una mejora considerable en los costos de producción disminuyendo el carbono producido, controlando desviaciones operaciones como la finura del material procesado, temperatura de salida del material , disminuyendo el reproceso de

material de partículas de mayor tamaño logrando una uniformidad en el proceso disminuyendo los reclamos y manteniendo la eficiencia operativa

El desarrollo de la tesis se basa en analizar las etapas de molienda nombrando los principales equipos considerando en cada uno los costos en la energía por reproceso de materiales, logrando una mejor eficiencia productiva y una estabilidad en el proceso logrando una mejora en la eficiencia total del proceso.

Se analizan características de los equipos fundamentales del proceso de molino de bolas FL Smidth, ventiladores principales, separador dinámico SEPAX, bandas pesadoras y sistemas de transporte de materia prima , así como las variables críticas de proceso que determinan el desempeño de la molienda, tales como componentes principales en la molienda , temperatura de funcionamiento del molino, caudal de alimentación y consumo de materia prima Este análisis busca identificar en qué sistema se pueden realizar mejoras operativas con información de puntos críticos que afectan la productividad y consistencia del cemento producido. Se busca mejorar la operación diaria del proceso con un diagnóstico técnico proponiendo algunas mejoras y aumentando los conocimientos de todo el personal involucrado en la fabricación, con esto se puede lograr disminuir el consumo energético asegurando la calidad del proceso con la mejor eficiencia mensual del proceso productivo.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema Central

En la etapa de molienda del cemento presentan problemas desafiantes en las operaciones diarias que van relacionadas directamente con el consumo energético, estabilidad en la dosificación de materia prima y calidad del producto final terminado. debido a que en esta etapa de fabricación se tienen que definir los parámetros de dosificación y temperatura crítica en el molino con esto se trabaja en la finura final del proceso y la calidad en la resistencia mecánica del cemento fabricado logrando impactar en la producción diaria, productividad operativa, confiabilidad en el proceso operativo que generan una alta productividad o una baja productividad según los problemas diarios que afectan directamente a los equipos críticos en nuestra planta (molino, turbo acoplamiento, bandas dosificadoras).

Sin importar que el equipo usado en la planta de fabricación sea de la más alta calidad o tengan poco tiempo en el proceso de fabricación se presentan problemas en el molino por mala dosificación de materia prima, falta de mantenimiento, trabajos correctivos mal ejecutados. con esto el equipo encargado de separar el material procesado (sepax) y los ventiladores que transportan la materia prima presentan ineficiencias operativas críticas que pueden detener el proceso o en algunos casos más críticos dejar el material fabricado fuera de las especificaciones técnicas solicitadas por el equipo de calidad, siendo este un material que se va al deshecho por no cumplir con los requisitos de fabricación

1.2 Causas del Problema

Entre las principales causas que explican las ineficiencias en la etapa de molienda se identifican:

- Variabilidad en el caudal de alimentación y dosificación de materias primas, asociada a limitaciones en las bandas pesadoras y en los sistemas de control.
- Desgaste de los componentes principales del molino de bolas, lo que reduce la eficiencia de la molienda y aumenta el consumo energético.

- Gestión no óptima de la temperatura de operación del molino, especialmente en la cámara de secado, afectando la estabilidad del proceso y la eficiencia del separador.
- Desempeño variable del separador dinámico SEPAX, que incide directamente en la finura del cemento y en la recirculación de material.
- Falta de estandarización en los modos de operación, lo que genera diferencias significativas entre turnos y condiciones de operación.
- Limitada aplicación de mantenimiento predictivo en equipos críticos, incrementando la probabilidad de fallas y paradas no planificadas.

Las causas anteriormente descritas generan una serie de consecuencias que impactan negativamente en la operación:

- Incremento del consumo energético específico del proceso de molienda.
- Inestabilidad en los parámetros de calidad del cemento, particularmente en la finura Blaine y la resistencia mecánica.
- Aumento de la variabilidad operacional entre turnos, dificultando el control del proceso.
- Mayor desgaste de equipos y componentes críticos, reduciendo su vida útil.
- Incremento de detenciones no programadas, afectando la continuidad operacional.
- Disminución de la productividad y eficiencia global de la planta, con efectos directos en los costos operativos y en la competitividad de la empresa.

1.3. Justificación del Problema

Frente a este escenario, se hace necesario desarrollar un diagnóstico técnico detallado de la etapa de molienda, enfocado exclusivamente en esta fase del proceso productivo, con el fin de identificar puntos críticos y proponer mejoras operativas concretas. El estudio se centra en la línea de molienda por ser una de las etapas más complejas, intensivas en energía y determinantes para la calidad del cemento, excluyendo etapas previas como la fabricación de clínker y posteriores como el envasado o despacho.

El propósito final es contribuir a una operación de molienda más eficiente, estable y sustentable, alineada con las exigencias actuales de competitividad industrial y sostenibilidad ambiental de Cementos Polpaico.

1.4. Pregunta de Investigación

¿Cómo inciden las condiciones operacionales y la gestión de mantenimiento del proceso de molienda de cemento en Cementos Polpaico en la eficiencia energética, la estabilidad operacional y la calidad del producto final?

1.5. Objetivo General

“Mejorar el proceso operacional y la gestión de mantenimiento de molienda en el cemento Polpaico mejorando la eficiencia operacional y energética, con un enfoque en la calidad del producto final logrando un producto confiable en el tiempo”

1.6. Objetivos Específicos

1. Identificar cómo se desarrolla el proceso de cemento Polpaico, los equipos principales y las variables críticas de operación.
2. Reconocer las principales ineficiencias y fuentes de variabilidad operacional del sistema de molienda, tales como el desgaste de equipos, la dosificación de materias primas y el control de las condiciones de operación.
3. Evaluar el desempeño del mantenimiento de los equipos críticos, determinando su impacto en la continuidad operacional, el consumo energético y la estabilidad del proceso.
4. Proponer mejoras operacionales y de mantenimiento, orientadas a la estandarización de la operación, la optimización de los sistemas de control y la reducción de paradas no planificadas, que contribuyan a una molienda más eficiente y confiable.

1.7. Tabla de Operacionalización de Variables

Variable Independiente:

Tabla 1 : Gestión operacional y de mantenimiento del proceso de molienda

Dimensión	Indicadores	Descripción operacional	Instrumento / Fuente
Operación del alimentación	Caudal de alimentadas al molino	Toneladas/horas PLC	Registros DCS / proceso
	Dosificación de pesadoras operación	Precisión de bandas operación	Registros de materias primas
	Temperatura del salida temperatura	°C en cámara de secado y temperatura	Sensores de molino
Control del proceso	Desempeño lazos (set point)	Estabilidad y respuesta del control	Tendencias históricas
	Variabilidad entre turnos	Desviación de variables clave en proceso	Informes operacionales
Mantenimiento	Estado de equipos críticos	Nivel de desgaste y condición mecánica	Informes de mantenimiento
		Tipo de Correctivo, preventivo o predictivo	Planes de mantenimiento

Variable dependiente: Desempeño del proceso de molienda de cemento

Dimensión	Indicadores	Descripción operacional	Instrumento / Fuente
Eficiencia energética	Consumo específico	kWh/ton de cemento producido	Reportes energéticos
Estabilidad operacional	Paradas no planificadas	Nº de detenciones del proceso	Historial de fallas
	Continuidad del proceso	Horas efectivas de operación	Registros de planta
Calidad del producto	Finura Blaine	cm ² /g del cemento	Ensayos de laboratorio
	Resistencia mecánica	MPa a 7 y 28 días	Ensayos normalizados

1.7.1 Relación entre Variables

La gestión operacional y de mantenimiento del proceso de molienda (variable independiente) influye directamente en el desempeño global del proceso (variable dependiente), ya que una operación estandarizada, un control efectivo de las variables críticas y una estrategia de mantenimiento adecuada permiten reducir la variabilidad del proceso, optimizar el consumo energético y asegurar la calidad del cemento producido.

1.7.2 Variables relevantes en el proceso:

- Cantidad de dosificación de clinker (elemento clave en las propiedades de resistencia mecánica)
- Cantidad de yeso (regula el proceso de fraguado)
- Aditivos (puzolana, ceniza) regula la resistencia mecánica a largo plazo
- - Calidad en el proceso de molienda (finura de Blaine) el elemento crítico en este paso es el sepa (separador de partículas por medio de vacío)
- Tamaño de material de molienda

- Variables de temperatura térmica (es de vital importancia controlar la temperatura de salida para evitar deshidratación del yeso)
- Humedad en el proceso (genera aglomeración y atorones en proceso)
- Velocidad de giro de molino (esto genera velocidad de impacto de bolas, granulometría final)
- Variables en el transporte de material molino es de vital importancia para los aerodeslizadores poseer un material uniforme
- Variabilidad en consumo energético si se genera mucho reproceso de material es consumo del molino aumenta generando con consumo mayor de electricidad (kwh/ton) provocando un gasto adicional.
- Conocer set points de buenas corridas para corregir de manera más rápida algunas variantes que se puedan presentar

Las variables operacionales mencionadas son determinantes para la eficiencia del proceso de molienda y se encuentran directamente relacionadas con el problema central de investigación como por ejemplo la variabilidad operacional, sus efectos en la calidad del cemento y el consumo energético. El estudio evidenció que variaciones en temperatura, dosificación, ventilación y clasificación del producto recién molido afectan la estabilidad del SEPAX, incrementan la recirculación y generan un mayor gasto energético del molino. La estandarización de estas variables constituye la base para la propuesta de mejora planteada.

1.7.3. Gestión operacional del proceso de molienda

Corresponde a la administración diaria del funcionamiento del sistema de molienda, incluyendo:

- Control de variables de proceso (caudal de alimentación, finura, velocidad, carga de medios, temperatura).
- Optimización del rendimiento del molino.
- Cumplimiento de parámetros de calidad del producto.
- Coordinación del personal y procedimientos operativos.
- Uso eficiente de la energía y los insumos.

1.7.3. Gestión de mantenimiento del proceso de molienda

Se refiere a la planificación y ejecución de acciones destinadas a conservar y restablecer las condiciones óptimas de los equipos, tales como:

- Mantenimiento preventivo programado.
- Mantenimiento correctivo ante fallas.
- Mantenimiento predictivo basado en monitoreo de condición.
- Gestión de repuestos críticos y paradas programadas.
- Reducción de tiempos muertos y fallas no planifica

CAPITULO III: Marco Teórico

3.1. Antecedentes históricos

La historia de Polpaico se inicia en 1944, cuando la empresa Gildemeister y Cía. adquiere la Hacienda Polpaico e instala sus primeras operaciones de producción de cemento. Debido al requerimiento a la actividad de fabricación industrial y el creciente mercado habitacional, se estableció como lugar de operaciones el Cerro Blanco, lugar que fue hogar de los trabajadores durante más de 50 años. estableciendo su presencia en el mercado nacional de fabricación de material de cemento logrando con esto la expansión y como resultado siendo la planta de fabricación más grande chile.

Debido al requerimiento de material de cemento a lo largo de nuestro país se toma la decisión de construir una planta en el sur de chile con la localidad de planta coronel, aumentando su presencia en el sur de chile respondiendo a las demandas de los principales fabricantes de obras de construcción y viviendas sociales. debido al cuidado del medio ambiente la empresa en el año 2022 se traza como meta convertirse en una solución sostenible en energía limpia enfocándose en el cuidado del medio ambiente

3.1.1 Antecedentes Generales De La Empresa



Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021.pdf

3.1.2 Documentos Constitutivos

La sociedad fue constituida por escritura pública de fecha 20 de septiembre de 1948, otorgada en la Notaría de Santiago de don Javier Echeverría Vial. Posteriormente, se autorizó su existencia en virtud del Decreto N° 319 del Ministerio de Hacienda, de fecha 12 de enero de 1949, el cual fue publicado en el Diario Oficial N° 1.260 el día 24 de enero de 1949. La sociedad se encuentra inscrita a fojas 475 N° 247 del año 1949, en el Registro de Comercio del Conservador de Bienes Raíces de Santiago. Finalmente, Cemento Polpaico S.A. se declaró legalmente instalada por Decreto N° 7.589 del Ministerio de Hacienda, publicado en el Diario Oficial N 21.486, de fecha 25 de octubre de 1949.3.1

3.1.3. Numero de Plantes a Nivel de Latinoamérica y su estructura

Polpaico cuenta a lo largo de Chile con:





Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021.pdf

3.1.4 Estructura De La Empresa

La siguiente imagen nos muestra como es hasta el día de hoy la estructura laboral del equipo de trabajo. En ella se muestran la cantidad en porcentaje por sexo, la distribución del personal según tipo de contrato y puesto laboral en términos de jornada. Esta información permite visualizar cómo se estructura las distintas áreas laborales y refleja el compromiso de la organización con la formalidad, estabilidad y dedicación de sus colaboradores.

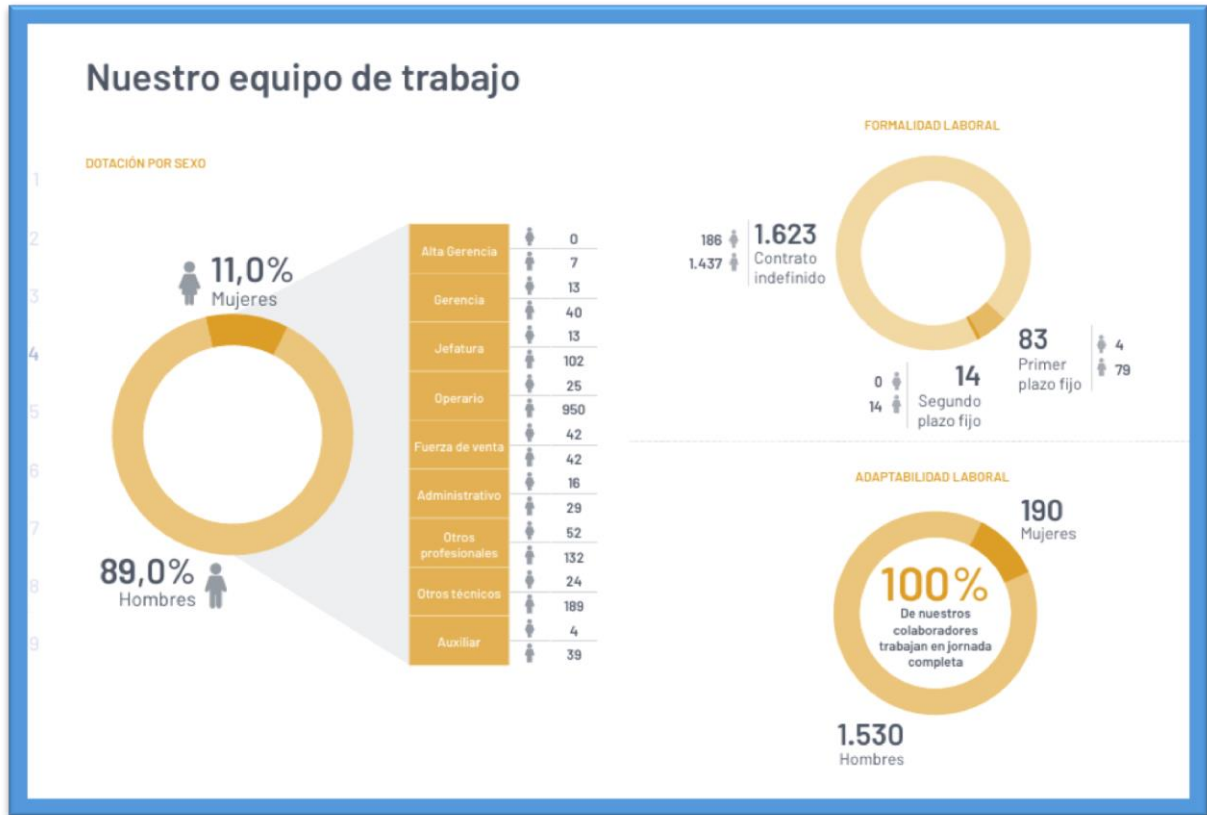


Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021.pdf

Estructura laboral de es de 11% de mujeres y un 80 % de hombres ...

En la siguiente tabla se desglosará un pequeño resumen del personal de trabajo de POLPAICO.

Tabla 2: Comparativa De Hombre Y Mujeres Según Su Cargo En Planta Polpaico.

CARGO	MUJERES	HOMBRES
ALTA GERENCIA	0	7
GERENCIA	13	40
JAFATURA	13	102

OPERARIO	25	950
FUERZA DE VENTA	42	42
ADMINISTRATIVO	16	29
OTROS PROFESIONALES	52	132
OTROS TECNICOS	24	189
AUXILIAR	4	39

NOTA: Esta tabla muestra la diferencia de hombres y mujeres que trabajan en planta Polpaico.



Durante el 2021, Polpaico BSA relanzó su nueva Política de Inclusión, cuyo objetivo es enriquecer a nuestra empresa y sus equipos, promoviendo la valoración de nuevas visiones y ampliando las posibilidades laborales de las personas en situación de discapacidad o asignatarias de pensiones de invalidez.

Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021.pdf

3.1.5. Política De Seguridad Y Medio Ambiente

Las políticas de seguridad y medioambiente son pilares fundamentales para garantizar un entorno laboral seguro y saludable. Como sabemos es sumamente importante y necesario incluir políticas en este entorno laboral, para poder identificar y controlar peligros, evaluación de riesgos y la implementación de programas de prevención de riesgos.

Además, se busca minimizar los impactos en el medio ambiente y promover la sostenibilidad.

Polpaico como una empresa que se preocupa de este tema tiene todas sus operaciones y procesos con los más altos estándares en la industria contando con la certificación ISO 9001, ISO 14001, además de la USGBC y certificación de viviendas sostenibles.



Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021. Proceso Productivo

Proceso productivo



Imagen Memoria-Integrada-Polpaico-BSA-2021.pdf

El segmento de negocios por el que es conocido Polpaico es por su producción de cementos y fabricación de hormigón.

Profundizaremos este proyecto de tesis en la producción cemento que se realiza en una de las cuatro plantas de cemento y hormigón que hay en Chile, en este caso será de planta de la región del Bio Bio, coronel.

Cemento



3.2. Etapas Principales Del Proceso

3.2.1. Extracción y preparación de materias primas

El proceso se inicia con la extracción de materias primas desde canteras, principalmente caliza, arcilla y otros materiales correctivos. Para el cemento puzolánico, se incorpora además puzolana natural o artificial, la cual aporta propiedades hidráulicas y mejora la durabilidad del producto final.

3.2.2 Trituración y prehomogeneización

Las materias primas extraídas son sometidas a una trituración primaria y secundaria, reduciendo su tamaño para facilitar su manejo. Posteriormente, se realiza una selección del material para que este se encuentre lo más uniforme posible, con el objetivo de obtener una mezcla con la mejor calidad posible y estable en composición química.

3.2.3 Molienda del crudo

La mezcla inicial de materiales molidos se trata de crear una mezcla uniforme que se introduce al molino de crudo, donde se muele finamente hasta obtener una masa uniforme. En este punto se pueden realizar ajustes por el laboratorio para lograr una mezcla para la creación de clinker de calidad.

3.2.4 Clinkerización (cocción)

La mezcla cruda reacción creada según los parámetros de laboratorio alimenta un horno rotativo, donde con temperaturas de trabajo de alrededor de 1450 °c. Con estos requisitos operativos se producen las reacciones químicas necesarias para la creación del material de clinker que es el material primordial en el proceso de cemento.

3.2.5. Enfriamiento del clinker:

El clinker recién salido del horno rotativo es enfriado en forma inmediata para generar una estructura uniforme en su composición química este proceso se realiza en enfriadores de material por medio de agua (tratando de obtener una temperatura objetivo de 100°C) ,este equipo genera un porcentaje de vapor que es recuperado por la compañía volviendo al proceso de molienda primario recuperando un porcentaje de energía térmica.

3.2.6. Molienda de cemento

El material primordial en el proceso de molienda conocido como clinker se agregan varios componentes adicionales que mejoran la calidad y el tiempo de fraguado (yeso, puzolana) obteniéndose así el cemento requerido en nuestra fábrica (pt400 o cemento especial).

En esta etapa se determina se logra la fineza del material molido que es primordial para la resistencia mecánica del producto del producto.

Al terminar el proceso de molienda este se transportar por medio de aerodeslizadores que llevan el producto a silos de almacenamiento donde se direcciona en el caso que se requiera para el silo de cemento pt400 que se transporta en camiones o a la máquina de envasado que se utiliza para las obras de construcción de casas

El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) se basa en asegurar que los equipos sigan cumpliendo sus funciones críticas dentro de un sistema productivo, identificando: Fallas funcionales, Modos de falla, Efectos y consecuencias de las fallas, se aplica en molienda, molinos de bolas o verticales, aportando directamente a la optimización del mantenimiento.

3.3.2. Teoría del Mantenimiento Productivo Total (TPM) Autor Seiichi Nakajima (1988)

El TPM busca maximizar la eficiencia global de los equipos (OEE) integrando a los operadores en las tareas básicas de mantenimiento. Pilares del TPM relevantes, para el Mantenimiento autónomo, Mantenimiento planificado Mejora enfocada Capacitación aplicada a la molienda, permite que Operadores detectan anomalías (ruidos, vibraciones, pérdidas de eficiencia), Mejora del OEE del molino, Disminución de pérdidas por micro paradas y baja eficiencia

3.3.3. Teoría de la Eficiencia Energética en Procesos de Molienda: Autor base Bond (1952) – Ley de molienda.

Relaciona el consumo de energía con el tamaño de partículas del material molido como aplicación práctica fundamenta la Optimización del consumo eléctrico, Ajuste de parámetros de molienda, Reducción de costos energéticos

Como resumen de las diferentes teorías se puede decir que las teorías de mantenimiento y optimización de procesos constituyen una base fundamental para mejorar el desempeño del sistema de molienda en la industria cementera. En particular, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) permite identificar equipos críticos y definir estrategias de mantenimiento orientadas a reducir fallas y detenciones no programadas, mientras que el Mantenimiento Productivo Total (TPM) promueve la integración entre operación y mantenimiento, aumentando la eficiencia global de los equipos.

Asimismo, los enfoques de optimización de procesos y mejora continua contribuyen a controlar las variables críticas de la molienda, mejorando la estabilidad operacional y la calidad del cemento. La gestión de activos basada en la norma ISO 55000 permite una administración eficiente del ciclo de vida de los equipos, equilibrando costos, riesgos y desempeño. Finalmente, la teoría de eficiencia energética aplicada a la molienda y el Control Estadístico de Procesos (CEP) resultan esenciales para reducir el consumo energético, asegurar la calidad del producto y apoyar la toma de decisiones basada en datos. En conjunto, estas teorías sustentan el desarrollo de estrategias integradas que fortalecen la confiabilidad, eficiencia y sostenibilidad del proceso de molienda.

3.4. Conceptos y definiciones Operación del proceso de molienda.

3.4.1. Operación del Proceso de Molienda

Se entiende como la gestión y control de las variables operacionales que determinan el desempeño, estabilidad y calidad del proceso productivo. Según normas ISO 9001:2015, el control sistemático de los procesos es esencial para asegurar resultados consistentes y mejorar el desempeño organizacional. En el proceso de molienda de cemento, el caudal de alimentación del molino, expresado en toneladas por hora, constituye una variable crítica, ya que influye directamente en la eficiencia energética y en el rendimiento del equipo (Wills & Finch, 2016).

3.4.2. Dosificación de Materias Primas y la Precisión de las Bandas Pesadoras

Son fundamentales para garantizar la cantidad de material en la mezcla y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del cemento. Según Seborg et al. (2023), el buen funcionamiento de los sistemas de medición es fundamentales para mantener la continuidad del proceso de fabricación. Estos equipos son monitoreados mediante sistemas automatizados de control DCS y PLC, con estos se logran datos en tiempo real mejorando la toma de decisiones operacionales basadas en información de calidad del material permitiendo lograr una calidad en el proceso productivo garantizando la calidad del producto final.

3.4.3. Control del Proceso

El control del proceso es un sistema automatizado controlado por un operador de sala de control que permite regular puntos operativos de los equipos críticos permitiendo mantener las variables críticas de proceso dentro de los requerimientos de calidad del producto terminado, con estos puntos permite aumentar la eficiencia total de la planta manteniendo una variabilidad mínima en el proceso productivo logrando tener resultados operativos óptimos en la totalidad del proceso

3.4.4. Desempeño de los Lazos de Control PID

Los lazos de control son de vital importancia permitiendo una rápida respuesta del equipo encargado de la fabricación de cemento debido que si un valor no se encuentra dentro de los parámetros requeridos la pantalla muestra la variación o alarma en la pantalla alertando al equipo para corregir variabilidad del proceso

Un cambio en los parámetros operaciones ineficientes generar inestabilidad en el proceso afectando en la totalidad en la calidad del material fabricado aumentando el tiempo de respuesta del equipo encargado de la fabricación. La mayor importancia de los lazos PID es comparar mediante el análisis de datos registrados en el sistema de buenas corridas,

variaciones en el proceso permitiendo identificar variaciones y pérdidas en eficiencias productivas

3.4.5. Variabilidad Entre Turnos

La variabilidad entre turnos es un punto para considerar si no se encuentra bien controladas las variables o la eficiencia de los equipos se logra obtener resultados variados entre turnos operativos con los mismos componentes mecánicos por ende es necesario trabajar entre los encargados de turno creando controles operativos, prácticas operativas, manuales de buenas corridas etc.

Una gran variación en los resultados operativos indica una mala gestión en el control de prácticas operativas por ende no se posee un estándar en la fabricación. Se crea una planilla de control de datos en ambos turnos para una entrega de datos más eficiente entre personal de ambos turnos mejorando el control de proceso.

3.4.6. Mantenimiento

El mantenimiento industrial es de vital importancia para asegurar la continuidad del proceso si se realiza un mantenimiento incorrecto genera pérdidas de equipos en eficiencia y en tiempo de máquina disponible durante el tiempo de fabricación.

Una buena planificación en el mantenimiento es la mejor opción para aumentar el ciclo de detenciones de equipos logrando altos valores de eficiencia de nuestra planta tratando de automatizar los equipos de la mejor manera (sistema de lubricación automáticos) para disminuir la posibilidad de falla operativa.

3.4.7. Estado de los Equipos Críticos.

Determinado a través del nivel de desgaste que poseen los equipos y la condición mecánica de estos, lo que es fundamental para la correcta continuidad del proceso de molienda, debido a que el deterioro de los equipos mecánico impacta directamente en la confiabilidad de los equipos y eficiencia del sistema (moubray, 1997). los estudios de los equipos se realizan por medio de informes de mantenimiento mensuales creados por el personal técnico de la planta, los cuales permiten identificar fallas potenciales y anomalías en el proceso que genera un plan de acción para corregir la anomalía.

3.4.8. Tipo de Mantenimiento Aplicado

Los mantenimientos en nuestra planta son de tres tipos correctivo, preventivo o predictivo, son de vital importancia para la confiabilidad de los equipos operativos. Según Nakajima (1988), el equilibrio entre los mantenimientos da paso a la reducción de fallas en los turnos y ayuda optimizar recursos mejorando la eficiencia. Los planes de mantenimiento son la herramienta que posee nuestra planta para crear una correcta planificación, ejecución y control de estas actividades del equipo de mantenimiento, contribuyendo ASÍ a la confiabilidad y sostenibilidad del proceso productivo.

3.4.9. Estabilidad Operacional

Se refiere a la capacidad DEL sistema productivo para mantener un proceso continuo, controlado según los requerimientos del cemento A LO LARGO DEL tiempo, minimizando detenciones y variaciones en el proceso. De acuerdo con Slack et al. (2022), la estabilidad de los procesos es un elemento vital en el funcionamiento operacional, ya que golpea directamente en la confiabilidad, la eficiencia y el cumplimiento de los objetivos de operación planteados por planta polpaico.

3.4.10 Paradas no Planificadas

Las mismas son detenciones imprevistas del proceso productivo que son originadas por fallas mecánicas, técnicas, operacionales o de producción. según mobley (2002), este tipo de detenciones refleja problemas en la gestión del mantenimiento planificado y afecta la disponibilidad total de los equipos.

Analizar el número de detenciones del proceso, es vital estudiar el historial de fallas detectadas, permite identificar patrones recurrentes tiempo de fallas conocidas y priorizar acciones de mejora continua.

3.5. Continuidad del Proceso

se define como la capacidad de mantener el funcionamiento correcto de la planta de fabricación de cemento durante un tiempo determinado que sería el turno completo de 8 horas, que serían las horas disponibles de los equipos disponible por turno. de acuerdo con wireman (2014), una alta eficiencia operativa es fundamental para tener procesos estables y de una correcta coordinación entre operación y mantenimiento. esta variable se controla y evalúa a través de registros de planillas de control de parámetros, los cuales permiten monitorear el desempeño real del proceso y respaldar de esta manera la toma de decisiones operacionales.

3.5.1. Calidad del Producto

La calidad del producto final fábrica es de vital relevancia en las características físicas y mecánicas del cemento cumpliendo con los valores técnicos de fabricación otorgados por el departamento de calidad de nuestra planta y normativos establecidos para su uso estructural. De acuerdo con la International Organization for Standardization (ISO, 2015), la calidad del producto se logra mediante el control exhaustivo y sistemático de sus propiedades críticas y la verificación de su producto final fabricado a través de ensayos normalizados.

3.5.2. Finura Blaine

Es un método creado para determinar la permeabilidad del aire en palabras simples determina que tan finas son las partículas molidas del cemento. Esto determina la velocidad de hidratación y los valores de resistencia mecánica final cuando el cemento se seca mientras que problemas en los valores generan desviaciones que pueden afectar el comportamiento mecánico y la durabilidad del cemento. Su procedimiento se realiza mediante ensayos de laboratorio, los cuales permiten verificar la uniformidad del proceso de molienda. (definición Técnica).

En conclusión, la finura de blaine es el punto para considerar en la calidad del producto fabricado tratando de obtener un equilibrio entre la finura del material y las características técnicas final del concreto fabricado

3.5.3. Resistencia Mecánica

El cemento se define como la capacidad del material para soportar esfuerzos de compresión, normalmente evaluada a los 7 y 28 días, y expresada en megapascales (MPa). De acuerdo con Taylor (1997), esta propiedad es un indicador clave del desempeño del cemento y de la eficacia del proceso productivo. La medición de la resistencia mecánica se realiza mediante ensayos normalizados, los cuales aseguran la comparabilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

En la actualidad el cemento se puede clasificar en dos clases de acuerdo con a la composición de estos, siendo el cemento puzolánico (fabricado a base de puzolana o normalmente conocido como arena) y el cemento siderúrgico (fabricado a base de la escoria del metal) en este proceso se basa la creación de cementos bio-bio En base a estas propiedades el cemento se clasifica de acuerdo con su resistencia mecánica, siendo su unidad de medida kg/cm de acuerdo con lo anterior el cemento puzolánico se clasifica en:

3.5.4 Clasificación Tipos de Cemento

Cemento tipo p-400 de alta resistencia

Hoy en día las características del proceso de producción requeridas para la fabricación del cemento son muy exigentes, por lo tanto, las nuevas tecnologías utilizadas para controlar las variables del proceso deben ser confiables y acordes con las necesidades de proceso. Logrando, con los adelantos técnicos optimizar los tiempos de producción, la calidad del producto, la seguridad del proceso para los trabajadores y la confiabilidad del proceso productivo.

3.5.6. Descripción Del Proceso Productivo De Cementos Polpaico S.A Planta Coronel

En esta planta se fabrican dos tipos de cementos puzolánicos, siendo estos el cemento especial y el cemento de alta resistencia p-400.

Los componentes y materias primas del cemento son tres en la actualidad siendo estos Clinker, puzolana y yeso, teniendo en cuenta que los porcentajes de apoyo son los siguientes.

Tabla 3: De Componentes Y Materia Prima De Cemento Polpaico

MATERIA PRIMA	CEMENTO ESPECIAL	CEMENTO P-400
CLINKER	68%	77 %
PUZOLANA	23 %	18 %
YESO	5 %	5 %

NOTA: Esta tabla nos ayuda a tener la claridad de los porcentajes de materia prima según el tipo de cemento a producir.

3.5.7. Línea De Alimentación (Banda Transportadora) Y Almacenamiento De Materias Primas (Silo)

La línea de alimentación y almacenamiento de materias primas corresponde al primer paso en el proceso continuo de fabricación de cemento. Su función principal es asegurar la recepción de camiones, descarga controlada de materia prima y transporte de material recepción Sanado que alimentarán la etapa de molienda. Este sistema está diseñado para operar bajo condiciones de continuidad, estabilidad y seguridad, garantizando un suministro continuo hacia las áreas posteriores.

3.5.8. Recepción Y Descarga De Materias Primas

Las materias primas utilizadas en la formulación del cemento (clínker, yeso, puzolanas, caliza, y otros aditivos) llegan a la planta mediante camiones tolva de transporte a granel. La descarga se realiza en la tolva de recepción del Sector 511, la cual está construida en acero estructural de alta resistencia y equipada para soportar caudales variables de material.

3.5.9. Equipos Asociados En La Recepción

- Tolva de descarga con revestimiento anti abrasivo.
- Sistema de compuerta de control hidráulica ➤ Dosificador de placas (Apron Feeder).
 - Banda transportadora 511 (banda principal) ➤ Motores eléctricos y reductores.
- Instrumentación de operación (sensores de nivel, vibración, torque, velocidad).

3.5.10. Sistema De Dosificación: Dosificador De Placas (Apron Feeder)

Bajo la tolva de recepción se encuentra instalado un dosificador de placas, encargado de regular el caudal de material descargado desde la tolva. Este equipo opera con capacidad de carga elevada y está diseñado para manipular materiales abrasivos propios de la industria cementera.

3.6. Características Técnicas De Dosificador De Placas

- Placas de acero laminado montadas sobre cadenas de rodillos.
- Accionamiento mediante motor eléctrico acoplado a reductor de alto torque con sistema planetario.
- Control de velocidad variable mediante a través de sala control ➤ Resistencia a abrasión y a impactos de gran tamaño de material.
- Capacidad para operar 24/7 en ambientes con polvo y vibraciones.

Su función correcta es crítica, ya que evita atascos, alimenta de manera uniforme las bandas y estabiliza los flujos hacia las tolvas principales.

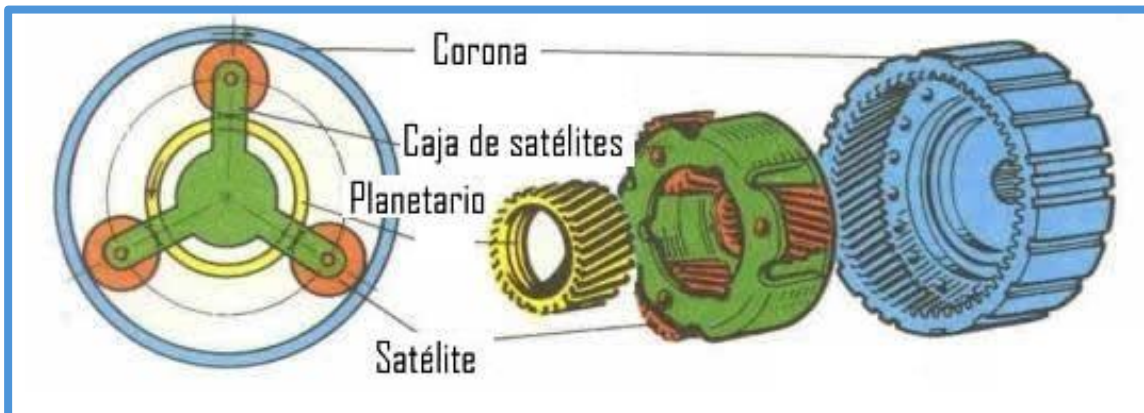


imagen

referente sacada desde internet

3. 6.1. Transmisión de este mecanismo (dosificador de placa) es a través de un engranaje llamado planetario.

Consiste en un piñón central, **denominado planetario**, alrededor del cual engranan tres o cuatro piñones llamados *satélites*. Estos satélites giran libremente sobre sus propios ejes, los cuales están montados en un soporte común denominado caja rodeando todo el conjunto se encuentra una corona dentada interiormente, que engrana directamente con los satélites



Según la disposición del tren de engranajes complementarios, existen varias posibilidades de transformación de movimiento. En este caso se une el piñón planetario a la caja de

satélites lo que impide que los satélites giren sobre sus propios ejes. De esta manera, la caja de satélites arrastra a la corona dentada, transmitiéndole el movimiento a la misma velocidad.

de esta forma se obtiene una transmisión directa de la velocidad entre los ejes de la caja de satélites y la corona.

3.6.2 Ventajas De Este Sistema De Transmisión:

- **Relación de transmisión:** posee una gran capacidad para reducir la velocidad, con esto se genera un aumento de par de torque mayor que en los sistemas de transmisión de correas en V.
- **distribución uniforme y constante de la materia prima:** con esto se evita las variaciones bruscas de velocidad que pueden provocar atoros en el sistema de almacenamiento de materia prima.
- Permite mejorar la sincronización con los diversos componentes de la planta logrando una mejor coordinación entre las aperturas de válvulas dosificadores y bandas de recepción de materia prima
- **Transporte hacia tolvas de almacenamiento**
- Una vez dosificado, el material es descargado sobre la banda transportadora 511, la cual cumple la función de trasladar las materias primas hacia las tolvas de almacenamiento intermedio.

3.6.3. Características Mecánicas Relevantes De La Banda 511:

- Estructura metálica con ángulos reforzados resistente a grandes cargas de peso.
- Rodillos portadores con sellos antipolvo (recubrimiento plástico para el oxido) ➤ Poleas motrices y de conducía con recubrimiento anti abrasivo.
- Motorreductor de potencia acorde al tonelaje transportado.
- Sistema de limpieza: raspadores primarios y secundarios.
- Sistema de tensión por contrapeso (con sensores de desplazamiento)

- Este elemento asegura un flujo continuo de materia prima hacia las tolvas, donde se estabiliza el proceso antes de la molienda. Cualquier desviación en su desempeño afecta directamente la disponibilidad del sistema completo.

3.6.4. Función Operativa De La Banda Transportadora

- El propósito de esta etapa es garantizar que:
- Exista un suministro constante y homogéneo de materias primas.
- Los equipos mecánicos operen dentro de rangos seguros y eficientes.
- Se eviten interrupciones en la línea de molienda por falta de alimentación.
- Se mantenga la trazabilidad del material desde su recepción.

Este paso es fundamental para la continuidad de la producción, ya que representa la entrada principal del proceso y condiciona la estabilidad operativa de las etapas posteriores.

3.6.5. Banda Transportadora:



Foto referencia de proveedor de bandas transportadoras. www.kauman.com

Existen diversas formas en el transporte de materias primas, minerales y otros productos, pero una de las más eficientes es el transporte por medio de correas transportadoras, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento, una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

3.6.6. Criterios En Selección Del Correcto Tipo De Banda Es El Siguiete:

- Material: es necesario saber que en nuestro proceso el material a transportar posee una gran abrasión a los componentes por ende el tipo de goma a seleccionar es de vital importancia en este caso
- Características técnicas de los materiales: identificar las propiedades del material de Clinker, yeso para identificar el correcto revestimiento de nuestra banda.
- Tiene que poseer un recubrimiento para soportar altas temperaturas y por el grado de inclinación 30° grados en este punto no es necesario contar con tacos o topes de fijación.
- La banda en el caso de nuestra planta es una banda con cable de acero en su interior llamada (Steel cord) de marca de fabricación fenner Dunlop a diferencia de las comunes en su interior posee un sistema de alambres acerados que aumentan la resistencia al desgaste soportando mayor tracción y durabilidad

3.6.7. Características Técnicas:

- Resistencia a la tracción de 1000 n/nmm
- Cubierta capaz de soportar temperaturas de 200°C-400°C
- Resistente al fuego según normas establecidas
- Resistente a la abrasión según norma ISO 10247

Se utiliza la cinta transportadora 561-bt1 de gran longitud con una pendiente de 30 grados que desplaza la materia prima obtenida de los camiones a sus respectivos lugares de almacenamiento

En el transcurso del camino se encuentra varios filtros del tipo manga explicados brevemente en el siguiente texto. Filtros tipo de manga es uno de los filtros más utilizados en proceso industriales por su bajo mantenimiento y su gran durabilidad son diseñados para la separación

de partículas de distintos tamaños en forma de aspiración al momento de aumento de presión en la manga se genera una expulsión por un sistema neumático que provoca una agitación de este provocando una limpieza del exceso de material particulado que cae en un sistema de tornillo sin fin que por medio de este él se forma una especie de torta de material prensado.

3.6.8. Principales Características Y Funciones

- Retiene partículas de polvo en el aire mejorando la calidad de emisiones de material particulado para cumplir con las normativas ambientales
- Son de material de tela al generar una succión por vacío las partículas quedan atrapadas la de mayor tamaño formando una torta de polvo para su eliminación.
- Poseen un sistema de limpieza incorporado que funciona por saturación de presión este valor se regula dentro de 6 bar con esto actúa un sistema de válvulas que provoca una agitación del saco permitiendo una limpieza automática
- Son altamente eficiente filtrando un 99.9% de particular finas en el sistema teniendo cada saco de mango distinto micraje para sus diversas funciones



imagen proporcionada por WEG EFFIENCY, fabricante de este tipo de filtros.

3.6.9. Almacenamiento De Materias Primas

3.6.10. Distribución Y Alimentación A Tolvas De Almacenamiento (Sector 521)

Una vez que la materia prima es transportada por la banda transportadora 511, el material es conducido hacia el sistema de distribución ubicado en el Sector 521, donde se clasifican y direccionan los materiales según su tipo: Clínker, Yeso o Puzolana. Esta etapa es fundamental para asegurar el suministro adecuado hacia las tolvas específicas que alimentarán posteriormente la etapa de molienda.

El sistema opera mediante dosificadores y desviadores mecánicos neumáticos automatizados manejador por un operador de sala de control, los cuales permiten redirigir el flujo de material manteniendo la continuidad operativa de la planta

3.7. Desvío Hacia Tolvas De Clínker

Cuando el material recibido corresponde a Clínker, el dosificador de material (DM1) desvía el flujo hacia la banda transportadora destinada exclusivamente al clínker, la cual lo transporta directamente hacia la tolva de clínker del sector 521 de mayor tamaño que de los demás.

3.7.1. Características Del Sistema En Esta Etapa:

- Desviador mecánico accionado por actuador neumático.
- Banda transportadora con estructura reforzada por alta abrasión del clínker.
- Caudal regulado para evitar sobrecarga de la tolva, esta posee un sistema de pesaje eléctrico que indica al operador el peso y consumo de motor eléctrico

Este desvío directo garantiza la pureza del clínker y evita contaminación cruzada con otros materiales.

Para separar la materia prima de tipo se utiliza unos deflectores metálicos accionados por medio de aire comprimido utilizando un cilindro de doble efecto.



Imagen proporcionada por <https://wamlatin.com>

3.7.2. Desvío Hacia 521 DM2 Para Yeso Y Puzolana

Cuando la materia prima no corresponde a clínker, el material es redirigido al dosificador de material 521DM2, encargado de repartir el material hacia las tolvas de yeso o puzolana, según corresponda esta posee una banda de ando sentidos de giros para dosificar al silo o deposito correspondiente

Material Yeso

Si el material es Yeso, el desviador de DM2 redirige el flujo directamente hacia la tolva de yeso, sin necesidad de cintas adicionales.

Esto reduce la manipulación y evita segregación del material.

b) Material Puzolana o arena

Si el material es Puzolana, el desviador 521DM2 direcciona el flujo hacia la banda transportadora BT1.

La banda 521 BT1 transporta la puzolana hacia las tolvas TL1 y TL2, ubicadas en el mismo sector de almacenamiento.

Una característica clave de la banda transportador BT1 es que posee dos sentidos de giro, lo que permite seleccionar la tolva de destino según los requerimientos operativos:

Sentido de giro	Tolva destino
Giro A →	Tolva TL1
Giro B →	Tolva TL2

la materia prima particulada se dirige a las bandas transportadoras que direccionan el material a cada uno de los silos correspondientes o a su lugar de almacenamiento.

- Silos donde se dirige la respectiva materia prima.

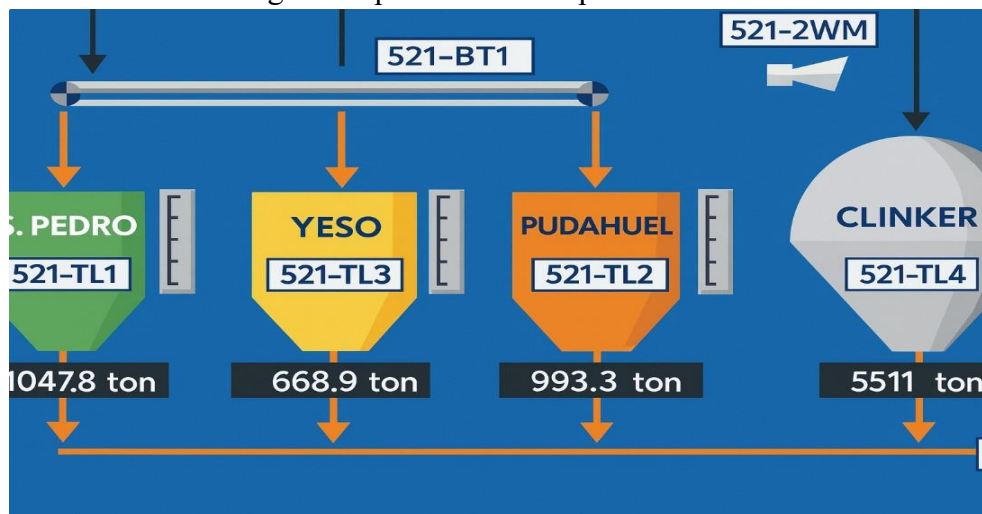


Imagen sala de control, silos planta Polpaico coronel

El de mayor tamaño es la principal materia prima conocida como clinker (por su color gris característico) con un contenido aproximado de 20.000 toneladas.

La alimentación del domo de clinker se realiza a través de una cinta transportadora distinta a los tres restantes denominada 561-b13 (se utiliza esta cinta debido a que el domo se encuentra en mayor altura que las tres restantes).

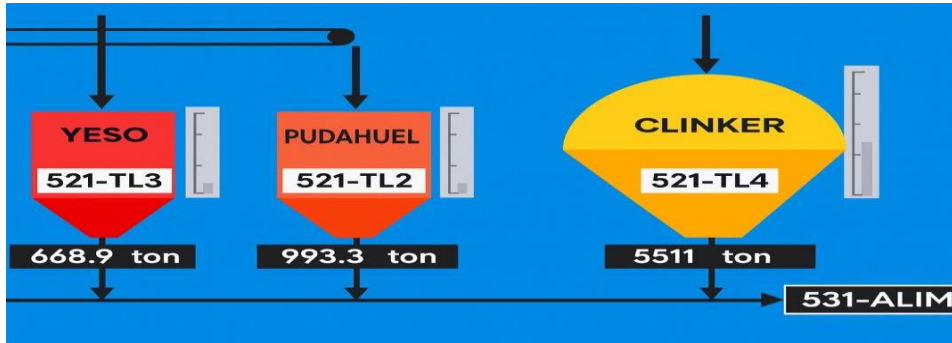


Imagen sala de control, pantalla primaria planta Polpaico coronel

3.7.3, Características mecánicas relevantes de banda BT1:

- Diseño reversible para redireccionamiento flexible.
- Motores con inversión de giro y sistemas de enclavamiento para seguridad por sobrecarga o alguna anomalía en el proceso
- Rodillos y estructura reforzada debido a la naturaleza abrasiva de la puzolana.

Este diseño proporciona redundancia operativa en la práctica es duplicar componentes mecánicos para asegurar la calidad y el proceso continuo, aumentando la autonomía del sistema y permitiendo alternancia entre tolvas durante tareas de mantenimiento o balanceo de inventarios.

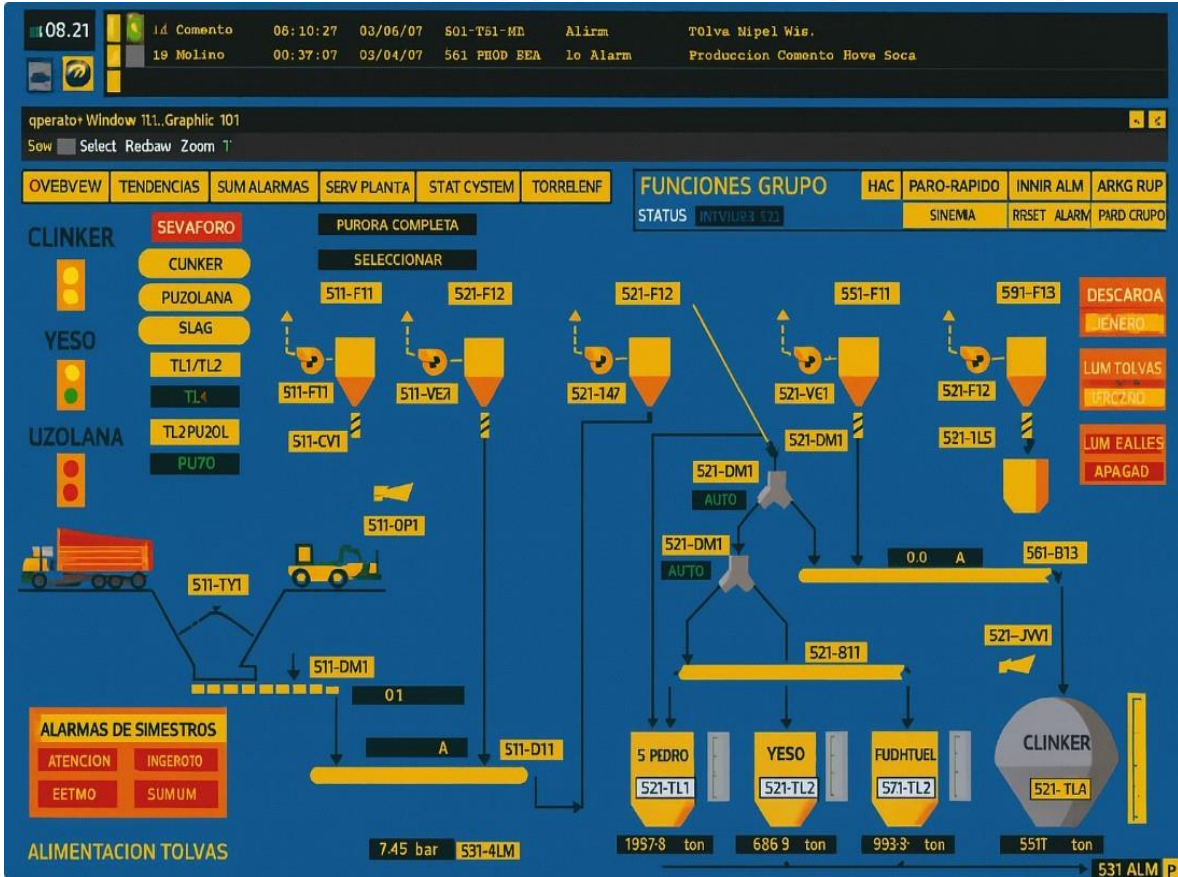
3.7.4. Continuidad del sistema y esquema operacional

Toda esta etapa mantiene la lógica de **proceso continuo**, donde cada desvío, dosificación y transporte se realizan sin detener la producción, lo que permite:

- Un flujo estable hacia molienda.
- Un suministro homogéneo sin interrupciones.
- Una reducción de tiempos muertos operativos.

- Mayor control sobre inventarios intermedios.

El funcionamiento conjunto de estos equipos y desviadores se representa en el **Esquema 1**,



3.7.5. Proceso De Alimentación Del Molino

Una vez que las materias primas han sido almacenadas En el sector de tolvas 521, se inicia el proceso de alimentación controlada hacia el molino de cemento, etapa fundamental para la preparación de la mezcla final. Este proceso opera bajo un sistema continuo y sincronizado, asegurando que los materiales ingresen al molino en los porcentajes establecidos para cumplir con las especificaciones del tipo de cemento a producir.

5.3. Dosificación Mediante Bandas Pesadoras

Cada tolva de almacenamiento descarga su material sobre una banda pesadora instalada en su parte inferior. Estas bandas cumplen dos funciones esenciales:

- Transporte de material

- Dosificación de materia prima calculado según la razón peso/velocidad, expresada en toneladas por hora (TPH).

3.7.6. Características Técnicas De Las Bandas Pesadoras

- Bandas de velocidad variable, lo que permite ajustar el flujo de alimentación dependiendo de la velocidad de giro del molino es la alimentación de la materia prima requerida.
- Equipadas con celdas de carga que detectan el peso instantáneo del material.
- Monitoreadas mediante un módulo transmisor, el cual interpreta la señal de las celdas y ajusta la velocidad del motor según el set point configurado por sala de control permitiendo variaciones requeridas para el cumplir con la calidad de la materia prima
- Accionadas por motores eléctricos y su velocidad se regula por medio de variadores de frecuencia según diseño de planta.

El control de estas bandas permite garantizar que cada material (clínker, yeso, puzolana) sea dosificado conforme a la fórmula de fabricación definida por el operador de sala control y los parámetros de calidad correspondiente

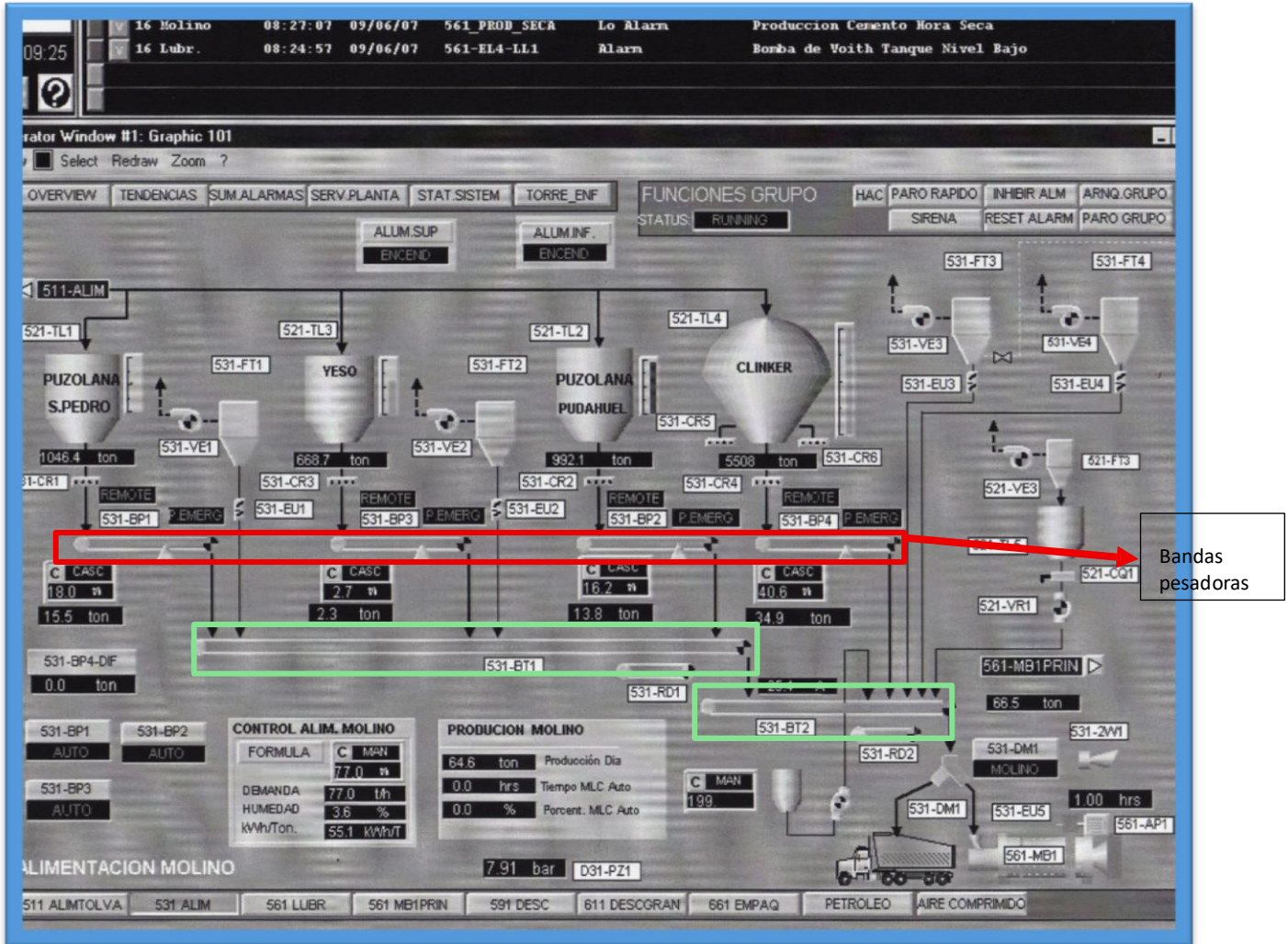
3.7.7. Transporte conjunto de materiales dosificados

Una vez dosificado el material desde cada banda pesadora:

- Yeso y Puzolana son descargados hacia la banda transportadora 531 BT1, la cual deriva estos materiales hacia la banda secundaria 531 BT2.
- Clínker, previamente dosificado, también es incorporado a esta línea de transporte.

La función de este sistema es unificar el flujo de materiales, formando una mezcla en bruto que posteriormente será introducida al molino.

En este esquema se especifica como se logra obtener las mezclas precisas de las materias primas a través de bandas pesadoras ubicadas en cada lugar de almacenamientos (marcadas de color rojo) enumeradas **531 BP1** que pertenece al silo de Puzolana S. Pedro.



532BP3 silo Yeso, **531BP2** Puzolana Pudahuel, **531BP4** silo Clinker, cada una de ellas se encuentra debajo de cada silo.

Siguiendo con el proceso de bandas podemos ver en la misma imagen las bandas principales enumeradas como **531 BT1** y **531 BT2** (marcadas de color verde) ➤ Estas reciben materiales desde diferentes puntos de descarga.

- Diseñadas para manejo de materiales abrasivos.
- Operan de forma continua asegurando una alimentación uniforme.

De esta forma, todos los materiales ya dosificados convergen en un solo flujo unificado que se dirige directamente hacia la alimentación principal del molino de cemento.

3.7.8. Condición Operacional Para Iniciar La Alimentación Al Molino

Es importante destacar que la etapa de alimentación al molino no puede comenzar hasta que el molino esté en funcionamiento. Esto se debe a que:

- El molino y su alimentación forman una línea operativa continua, donde la detención de uno afecta inmediatamente al otro.
- Iniciar la alimentación sin que el molino esté operando provocaría atascamientos y sobrecargas en las bandas y ductos.

Por tanto, el orden correcto de arranque es:

1. Arranque del molino.
2. Estabilización del sistema de molienda.
3. Activación controlada de las bandas pesadoras y bandas transportadoras.BP2
4. Inicio progresivo de la alimentación de materias primas hacia el molino.

3.7.9. Resultado Del Proceso

Una vez que la mezcla dosificada ingresa al molino:

- Se realiza la molienda,
- La mezcla homogénea de los componentes, y
- El secado del material, si el proceso lo requiere.

Como resultado, el material se transforma en cemento finamente pulverizado, el cual será posteriormente transportado hacia sistemas de almacenamiento, ensacado o despacho a granel.

En el caso de presentar variantes el material recién molido entra en un proceso de secado explicado en el siguiente punto.

2.7.9. Proceso De Secado

Una vez que la mezcla de materias primas ha sido correctamente dosificada y transportada por las bandas 531 BT1/BT2, el flujo unificado de material es introducido al molino de

cemento mediante una esclusa de alimentación. Este dispositivo garantiza una transferencia continua del material, evitando a la vez falsos flujos y pérdidas de presión entre la atmósfera exterior y el interior del molino.

3.7.10. Ingreso A Través De La Exclusa De Material La

exclusa cumple dos funciones principales:

1. Permitir el paso controlado del material hacia el molino, y
2. Mantener la estanqueidad del sistema, evitando que los gases calientes regresen hacia la línea de alimentación.

Su diseño normalmente corresponde a una válvula rotatoria, construidos en acero anti abrasivo debido al desgaste propio del clínker y la puzolana.

3.8. Cámara De Secado Del Molino

Una vez ingresado, el material cae directamente en la cámara de secado del molino. En esta zona:

- El material entra en contacto directo con gases calientes.
- Se reduce la humedad superficial e interna.
- Se acondiciona el material para el proceso de molienda y clasificación posterior.

3.8.1. Generación De Los Gases De Secado

Los gases son generados por un quemador industrial el cual puede operar utilizando:

- Gas natural,
- Petróleo (Fuel Oil) o una combinación de ambos, dependiendo de la disponibilidad y costos operativos.
- Este quemador es capaz de producir temperaturas de hasta 570 °C. Sin embargo la temperatura promedio de operación en la cámara de secado se controla en torno a 300 °C, esto es para:
 - Evitar cristalización o daño térmico del yeso,
 - No afectar la vida útil del revestimiento interno del molino,

- Mantener condiciones estables de molienda.

3.8.2. El Control Térmico Se Realiza Mediante:

- Ajuste del caudal del quemador por sala de control
- Control del aire primario y secundario,
- Monitoreo con termocuplas y sensores de temperatura distribuidos en el sistema.

3.8.3. Molino De Cemento

- El molino de bolas **FLSmidth MB1** empleado en la planta corresponde a un sistema de molienda combinado, compuesto por:
 - Una cámara de secado,
 - Dos cámaras de molienda,
 - Un tabique intermedio,
 - Un sistema de ventilación forzada,
 - Un sistema de inyección de agua,
 - Un separador externo (SEPAX).

Este molino opera bajo el principio de molienda por impacto y fricción de bolas, acompañado de un flujo controlado de gases calientes para deshidratación y acondicionamiento del material.

3.8.4. Cámara de Secado del Molino

El material que ingresa al molino presenta aproximadamente una humedad entre 4-7% por lo que la primera etapa consiste en remover gran parte de esa humedad. El material cae inicialmente en la cámara de secado, donde es levantado y desplazado mediante paletas de levantamiento (lifters) que aumentan la superficie de contacto entre el material y los gases calientes.

3.8.5. Control térmico y generación de gases calientes

El sistema térmico opera según los siguientes principios:

- La temperatura del tabique del molino regula la demanda de combustible del quemador
- El quemador utiliza gas natural y/o petróleo, generando gases de alta temperatura.
- Estos gases se mezclan con aire frío proveniente del Ventilador de Molino (561 VE1) para obtener la temperatura requerida (aproximado 300 °C de operación, con capacidad máxima cercana a 600 °C).
- La mezcla resultante ingresa a la cámara de secado asegurando:
 - evaporación de la humedad,
 - acondicionamiento térmico, y
 - estabilidad del proceso de molienda.

3.8.6. Ventilación del Molino (Ventilador VE)

El ventilador del molino cumple funciones críticas para el funcionamiento del sistema:

- Control de ingreso de aire de secado Regula el volumen de aire necesario para garantizar una evaporación adecuada de la humedad superficial e interna del material garantizando la calidad del producto
- El ventilador encargado de la alimentación de aire se identifica como 531-ve5 (marcado en color rojo) el cual se maneja desde la pantalla de sala de control.



3.8.7. Transporte Neumático Interno

Genera el flujo de aire que desplaza material fino hacia la salida del molino.

3.8.8. Extracción De Vapores Y Gases Residuales El aire producido arrastra:

- vapores de deshidratación,
- gases de combustión,
- partículas finas en suspensión,
- vapores generados por el sistema de enfriamiento por agua.
- Todo este flujo es dirigido hacia el filtro de mangas, donde se separa el polvo y se purifica el gas antes de liberarlo al ambiente.

➤ 5.7. Sistema De Inyección De Agua (Enfriamiento Interno)

- Para mantener la temperatura interna del molino dentro de rangos controlados y evitar:
- deshidratación excesiva del yeso,
- sobrecalentamiento del cemento,
- aglomeración del material
- pérdida de eficiencia del separador,

se utiliza un sistema de inyección de agua de alta presión mediante una bomba centrífuga, el agua atomizada se evapora instantáneamente, contribuyendo al enfriamiento y estabilización del proceso.

3.8.9. Cámaras de Molienda

Tras ser secado y acondicionado, el material se desplaza hacia las cámaras de molienda el cual se divide en dos partes:

3.8.10. Primera Cámara

- Contiene bolas de mayor diámetro,
- Produce la trituración inicial del clínker, puzolana y yeso.

- Cuenta con placas levantadoras y diseño interno para impacto fuerte.

3.9. Segunda Cámara

- Contiene bolas de menor diámetro,
- Realiza la molienda fina y la homogenización final.
- Su objetivo es obtener la finura requerida según el tipo de cemento.

El paso entre ambas cámaras es controlado por el tabique intermedio, que permite el avance del material ya triturado, evitando el retorno de partículas gruesas.

3.9.1. Profundización De Sistema De Molienda

IMAGEN DE MOLINO DE BOLAS

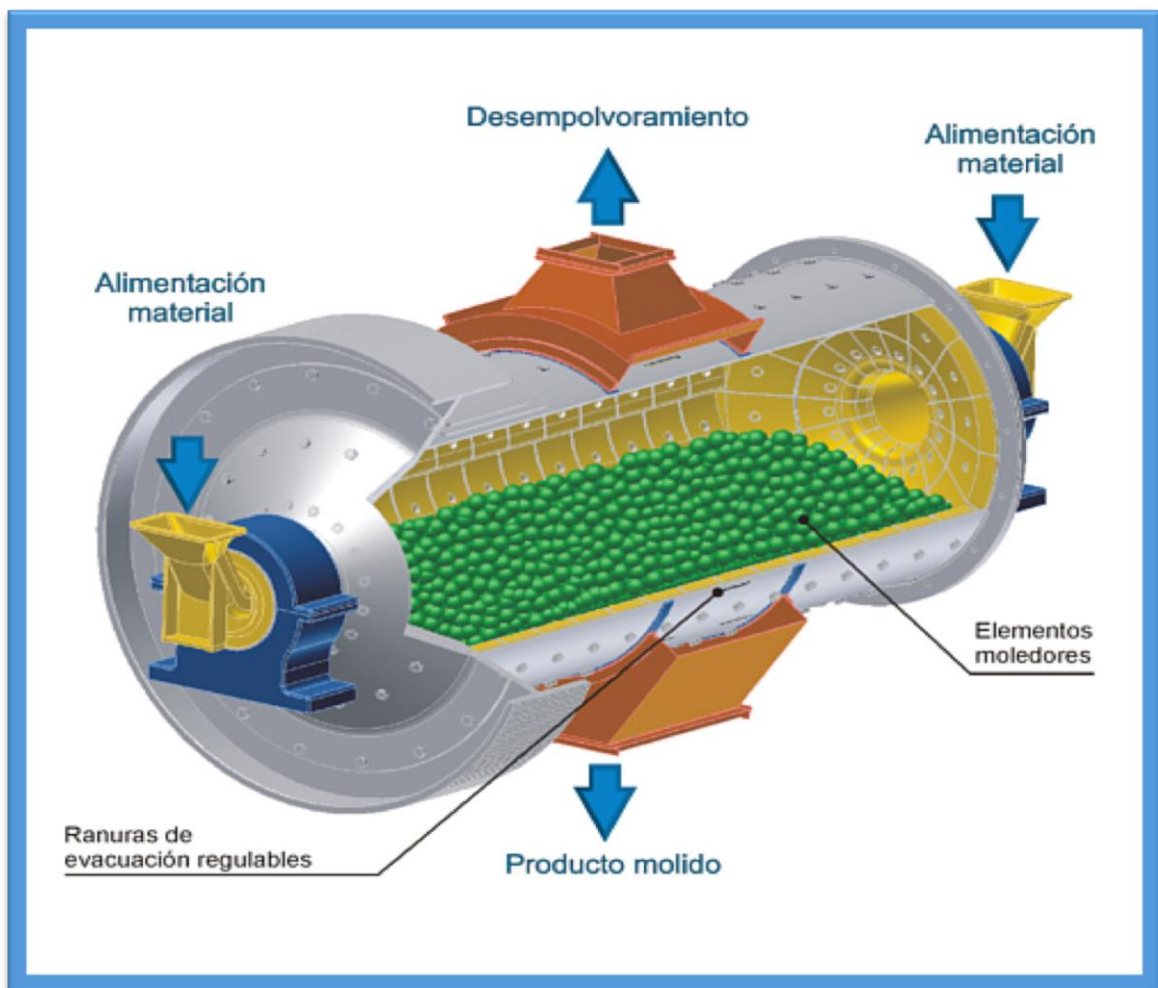


Imagen sala de control, pantalla primaria planta Polpaico coronel

Es la imagen del molino de bolas en un lado es la alimentación de materia prima y el otro lado posee un sistema de inyección de agua a través de chorro a una presión de 10bar que mantiene una temperatura de manipulación del cemento.

3.9.2. Descripción Funcionamiento molino de bolas cemento polpaico

Es la parte fundamental en el proceso de molienda del material clinker para lograr la producción de tonelada requeridas por el proceso productivo, este molino cuenta con un proceso de molienda por medio de bolas de acero dentro de este molino de un diámetro interior de 3.2 mts con placas refractarias de material fundido que poseen dos características principales que es absorber el golpe de las bolas de acero al momento de girar y poseen una capacidad de conductividad térmica de alto valor, para asegurar la temperatura interna del molino facilitando obtener el gramaje final de nuestro material este proceso se logra con una fuerza centrífuga de giro al alcanzar la velocidad objetivo en rpm 18-20 rpm por minuto las bolas alcanzan un altura predeterminada por el peso de las bolas de acero que se encuentran en el interior con esto se logra un proceso de molienda uniforme variando el tamaño y el peso de las bolas.

3.9.3. Especificación Técnica de la Composición y Parámetros Operacionales de la Carga de Bolas en Molino de cemento.

Este sistema de molienda posee una gran adaptabilidad a los materiales que se ingresan al molino variando la temperatura dentro este y la velocidad de giro final dependiente las características del material que se requiere generar en esta planta. se trabaja en mayor fabricación el cemento pt400 o cemento especial que se fabrica para uso particular daremos a conocer las principales características técnicas de las bolas del molino.

Tabla 5 : De Diametro Y Especificaciones De Bolas De Acero Utilizadas En Molienda.

Diametro y peso

Diametro pulgadas	1.0	1.5	2.0	2,5	3.0	3,5	4.0
Peso mínimo gramos	67	226	537	1048	1812	2873	4110
Peso máximo gramos	82	271	644	1258	2174	3448	4280

Composición Química

COMPOSICION QUIMICA (PESO %)

Diámetro en Pulgadas	C		Mn		Si		Cr		Mo		S	P
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Max
1	0.72	0.82	0.70	1.10	0.17	0.37	0.28	0.60	0.00	0.04	0.040	0.035
1.5	0.72	0.82	0.70	1.10	0.17	0.37	0.28	0.60	0.00	0.04	0.040	0.035
2	0,72	0,82	0,70	1,10	0,17	0,37	0,28	0,60	0,00	0,04	0,040	0,035
2,5	0,72	0,82	0,70	1,10	0,17	0,37	0,28	0,60	0,00	0,03	0,040	0,035
3	0,72	0,82	0,70	1,10	0,17	0,37	0,28	0,60	0,00	0,03	0,040	0,035
3,5	0,72	0,82	0,70	1,10	0,17	0,37	0,28	0,60	0,00	0,13	0,040	0,035
4.0	0,72	0,82	0,70	1,10	0,17	0,37	0,28	0,60	0,00	0,13	0,040	0,035

Dureza

4.0 DUREZA ROCKWELL

DIAMETRO DE LA BOLA EN PULGADAS		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
DUREZA SUPERFICIAL	Minimo	60	60	60	60	60	60	60
	maximio	65	65	65	65	65	65	65
DUREZA VOLUMETRICA	Minimo	60	60	60	60	60	60	60
	Maximo	65	65	65	65	65	65	65

3.9.4. Principales Partes Que Componen El Molino:

- **Carcasa Interior:** Se componen por una pieza cilíndrica de 3.2 mts. de diámetro interior por 13 mts de largo con una capacidad de toneladas 18-20 toneladas por hora en su interior posee placas metálicas con recubrimiento para absorber golpes por las bolas en su interior.
- **Revestimiento Del Molino:** Corresponde a las placas fijas o laminas, apernadas. Su forma sirve de apoyo y arrastre de la masa en movimiento además de impedir el deterioro de la estructura del molino. Los materiales deben por lo tanto resistentes al desgaste por abrasión y al impacto, generalmente se construyen de fundiciones blancas de alto cromo y molibdeno y de alto contenido de carbono.
- Últimamente se están fabricando de una mezcla de polímeros (caucho) y en acero, con el objetivo de disminuir los tiempos de reemplazos de molienda.

Para la transmisión de movimiento del molino se utiliza un motor eléctrico de consumo promedio de 3000 kw a 2900 RPM conectado a un turboacoplamiento y un sistema flender de transmisión (caja reductora)

El accionamiento mecánico del molino posee un reductor y por su gran tamaño este presenta un sistema hidráulico permitiendo el arranque en fase por movimiento centrífugo de aceite (turbo acoplamiento marca voith) con una capacidad de aceite en estanque de 200 litros con eso se mejora la vida útil de los componentes móviles reduciendo la vibración de los componentes.

3.9.5. Datos Del Turboacoplamiento.

El tipo de acoplamiento en el molino de la planta es un acoplamiento de llenado constante, la principal diferencia de este acoplamiento, con respecto a la fijación mecánica, es el principio de fottinger que permite transmitir la potencia entre, dos ejes sin tener una conexión mecánica directa, conocidas como anclaje de pernos o acoplamiento flexible de gomas. Este sistema posee un impulsor que tiene una bomba de inyección de aceite mineral, para lograr el movimiento bajo una presión establecida por el operador de la máquina, permitiendo un arranque suave hasta lograr que la energía cinética del líquido permite la conexión entre ambos ejes, protegiendo ambos equipos de torques elevados y de vibración de equipos. (En operación la presión de aceite se regula electrónicamente para mantener una velocidad o un aumento de velocidad de giro del molino)

Función del turbo acoplamiento con maquina detenida

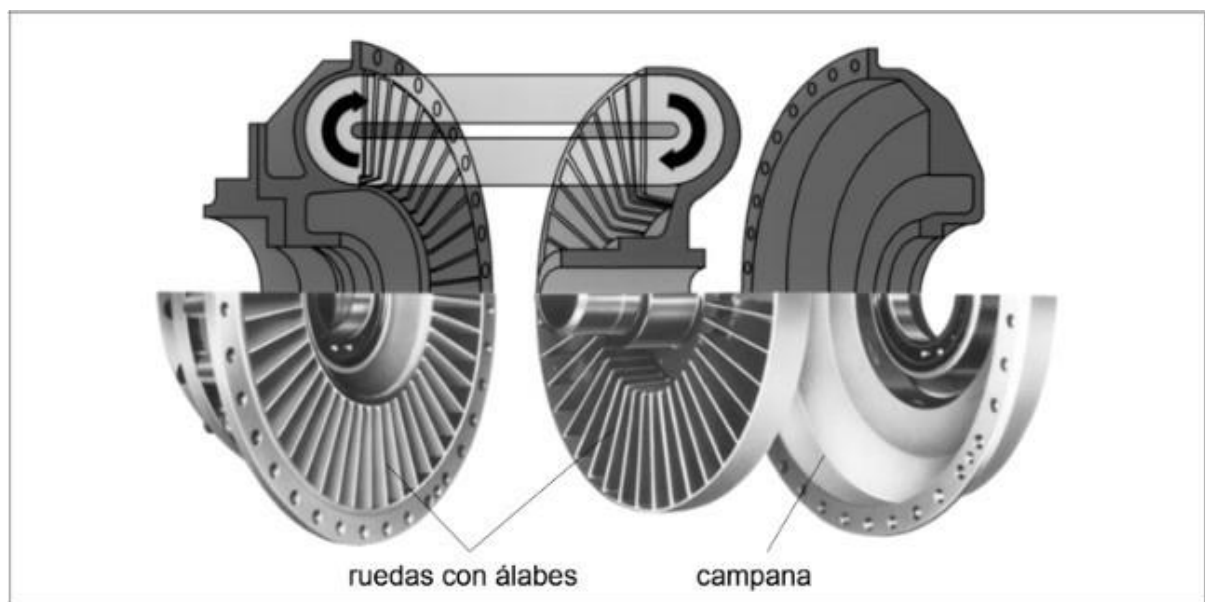


Fig. 5

Función del acoplamiento con la maquina detenida el equipo posee todo el líquido estático en un estanque de reserva de 2000 litros.

3.9.5. En Cuanto A Las Funciones Del Acoplador, Hay Que Considerar Tres Condiciones.

5.9.2 Imagen De Turboacoplamiento Detenido.

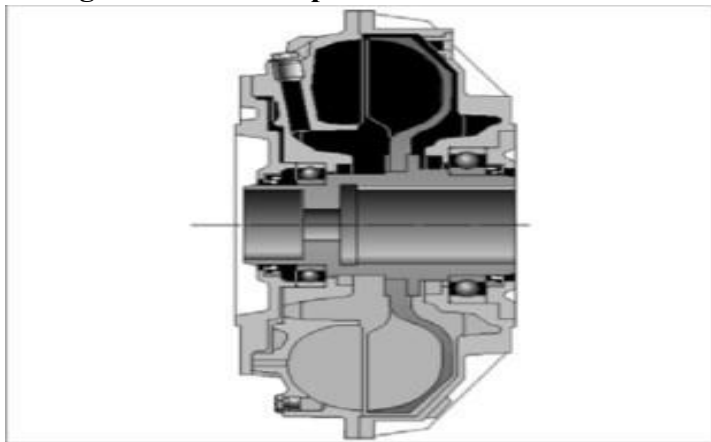


Fig. 6

- Al momento de arrancar la parte que posee el impulsor de rodete bomba acelera el líquido según la velocidad de giro del motor de arranque este posee un sistema de arranque tipo estrella que se caracteriza por la velocidad lenta de rompimiento de inercia al generar un aumento de velocidad el líquido se dispersa en ambas cámaras de alabes de la turbina hasta que logra romper inercia y generar un aumento de velocidad de manera gradual sin requerir componentes mecánicos rígidos.

3.9.6. Imagen De Turboacoplamiento En Arranque

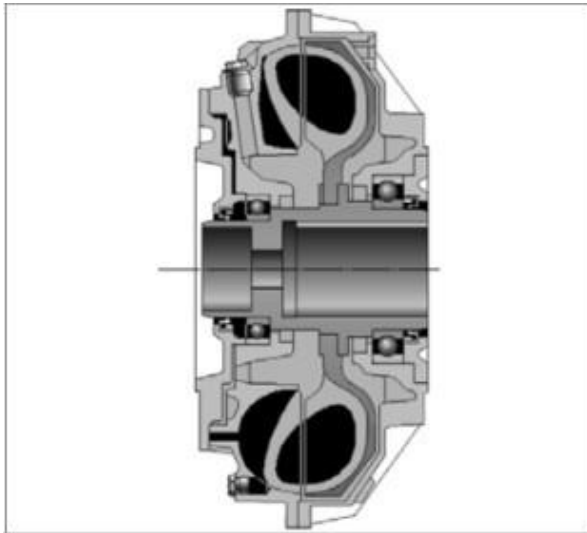
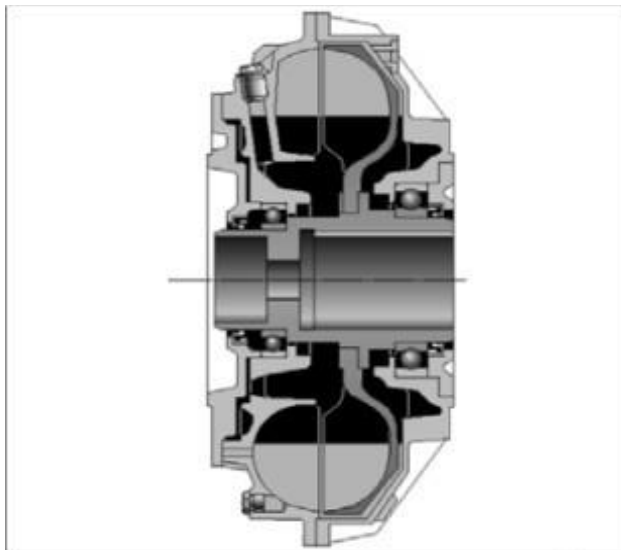


Fig. 7

- En el momento de alcanzar la velocidad de giro nominal solo se transmite el par de giro o potencia requerida por el motor logrando casi un equilibrio en ambas partes con eso el líquido logra ser estacionario.

3.9.7. Imagen De Turboacoplamiento Servicio Nominal



En los soportes del molino se utiliza una lubricación por maquinas externas inyectadas a presión generando una luz de aceite

En la puesta en marcha el molino se levanta un par de milímetros permitiendo el ingreso del aceite a alta presión (aceite Hidráulico) almacenados en unos estanques de alrededor de 500 litros conocidos como unidades de lubricación

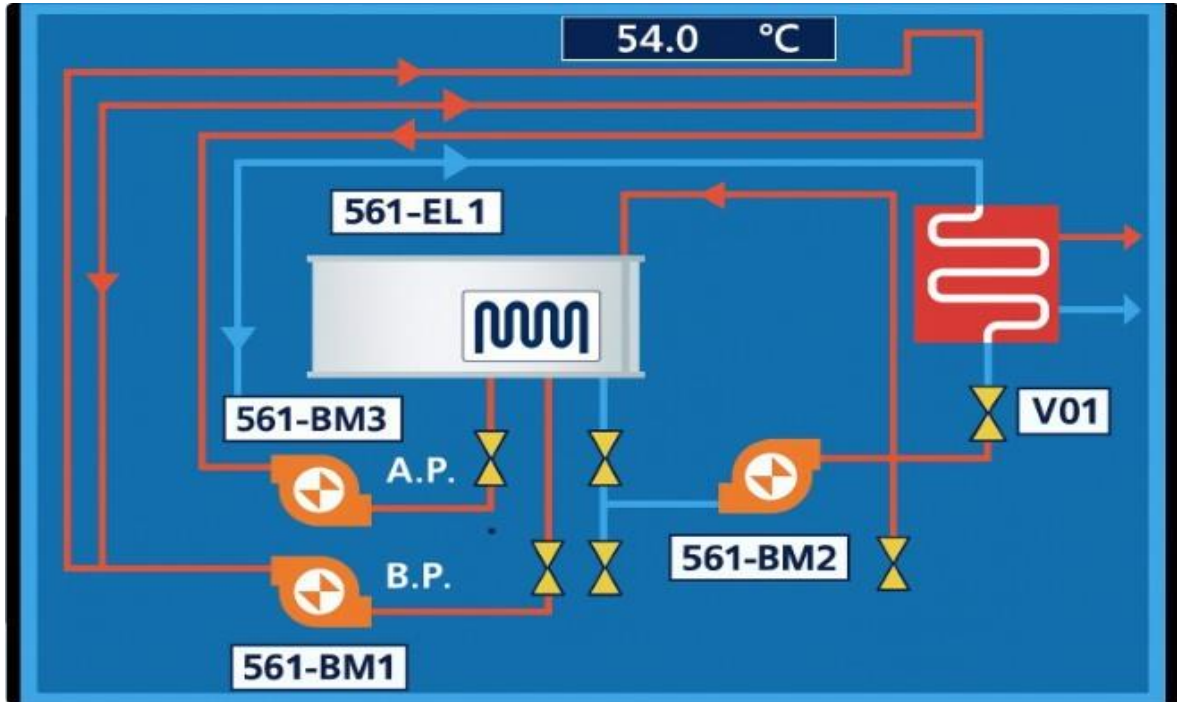


Imagen sala de control, pantalla primaria planta Polpaico coronel

Cada unidad de lubricación posee un sistema de bombas (vo1) y un intercambiador de calor debido cuando entra el descanso del molino su temperatura aumenta perdiendo sus características.

Después de conocer los componentes principales en el proceso de moliendo el material obtenido se almacena en los silos correspondiente designado para cada material.



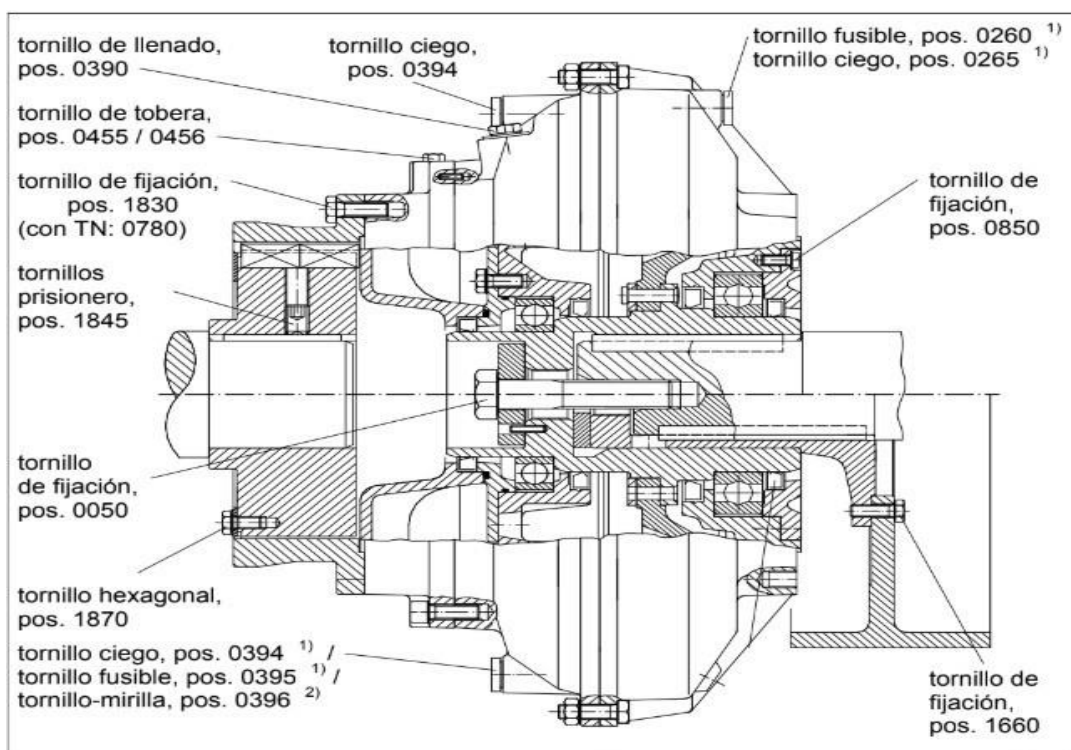
En el caso de requerir el cemento de fabricación especial se lleva el material a un depósito distinto que se encuentra en la sala de llenado donde un operador de forma semi automática se llenan los sacos de cements con la máquina de llenado de cemento HAVER & BOECKER el cual cuenta con un equipo rotativo de hasta 12 boquillas de llenado, además de una capacidad de producción de hasta 4800 sacos/ hora, en este caso conocido como cemento especial o portland.



3.9.7. Describir En Detalle La Unidad De Potencia De Molinos De Bolas

Al momento de conocer las partes del turbo acoplamiento para lograr mantener el equipo con sus detenciones al mínimo se genera un plan de mantenimiento preventivo en este punto es necesario reconocer los diámetros de nuestro equipo para generar un plan de mantenimiento preventivo de apriete de torque de equipo trimestral revisando el estado de pernos y golillas de fijación.

3.9.9. Componentes De Turboacoplamiento.



Tornillos Prisioneros Y Tornillos De Fijación

Tabla 5 : De Par De Apriete Para Tornillos Prisioneros Y Tornillos De Fijación.

Rosca	Par de apriete en Nm									
	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
Tornillo prisionero	4	8	15	25	70	130				
Tornillos de fijación		23	46	80	195	380	660	1350	2350	3750

Tornillos Fusibles, Tornillos De Llenado, Tornillos Ciegos, Tornillos-Mirillas Del Nivel Del Líquido Y Tornillos De Tobera.

Tabla 6 : Par de Apriete de Tornillos del Turboacoplamiento según tipo y tamaño del acoplador.

Tamaño del acoplador	Par de apriete en Nm (grandezza del rosca)				
	Tornillo fusible, pos. 0395 / 0260	Tornillo de llenado, pos. 0390	Tornillo ciego, pos. 0394 / 0265	Tornillo-mirilla, pos. 0396	Tornillo de tobera, pos. 0455, pos. 0456
154	8 (M8)	13 (M10)	8 (M8)	– –	– –
206	13 (M10)	20 (M12x1,5)	13 (M10)	– –	– –
274	13 (M10)	30 (M14x1,5)	13 (M10)	– –	– –
366 hasta 650	50 (M18x1,5)	80 (M24x1,5)	50 (M18x1,5)	50 (M18x1,5)	48 (M16x1,5)
750 hasta 1150	144 (M24x1,5)	235 (M36x1,5)	144 (M24x1,5)	144 (M24x1,5)	48 (M16x1,5)

Tornillos De Fijación

Tabla 7 : Par De Apriete De Tornillos De fijación Del Turboacoplamiento Según Tamaño Del Acoplador

Pares de apriete en Nm (dimensión de la rosca)										
Tamaño del acoplador	Tornillo de fijación ¹⁾,		Tornillo de fijación ¹⁾,		Tornillo de fijación ¹⁾,		Tornillo cilíndrico		Tornillo hexagonal ¹⁾	
	pos. 1830 / 0780		pos. 0850		pos. 1660		Nor-Mex G, pos. 1816 ³⁾		EPK, pos. 1870	
154	9	(M6)	–	–	–	–	–	–	–	–
206	23	(M8)	–	–	–	–	–	–	–	–
274	68	(M12)	–	–	–	–	–	–	–	–
366	68	(M12)	23	(M8)	80	(M12)	49 ¹⁾	(M10)	23	(M8)
422	68	(M12)	23	(M8)	80	(M12)	49 ¹⁾	(M10)	46	(M10)
487	68	(M12)	23	(M8)	80	(M12)	49 ¹⁾	(M10)	46	(M10)
562	68	(M12)	46	(M10)	195	(M16)	125 ²⁾	(M12)	46	(M10)
650	135	(M16)	46	(M10)	380	(M20)	200 ²⁾	(M14)	46	(M10)
750	135	(M16)	68	(M12)	380	(M20)	–	–	46	(M10)
866	250	(M20)	68	(M12)	380	(M20)	–	–	80	(M12)
1000	250	(M20)	68	(M12)	--	--	–	–	80	(M12)
1150	580	(M27)	68	(M12)	--	--	–	–	80	(M12)

Con estos datos se logra aumentar la eficiencia de funcionamiento del turbo acoplamiento disminuyendo las paradas de emergencia y creando un plan de mantenimiento trimestral de apriete de esta misma pieza (turboacoplamiento).

Tiempo estimado de trabajo, ocho horas para el técnico mecánico capacitado para este trabajo.

3.9.10. Identificar Las Principales Variables Operacionales De La Molienda (Dosificación

De Materias Primas, Control De Temperatura, Ventilación Y Separación De Partículas) Y

Evaluar Su Impacto En El Consumo Energético Y La Calidad Del Cemento

Para lograr disminuir el consumo energético es necesario tener un control exhaustivo de las variables operacionales en cada proceso, lograr determinar las principales diferencias entre el cemento de aplicación de mayor carga pt400 y el cemento especial que se utiliza en las fabricaciones de uso particulares

Los puntos para considerar son los siguientes:

3.9.10. Dosificación de materia prima:

- **Mala dosificación de materia prima:** o una excesiva cantidad de clinker en el molino esto conlleva a un reproceso en el molino para lograr el gramaje adecuado de nuestro material una reprocesamiento de este genera una temperatura mayor en el sistema que conlleva una mayor cantidad de agua de enfriamiento en el sistema
- **calidad óptima del cemento terminado:** para lograr esto se requiere controlar las válvulas de dosificación de manera óptima y determinando la cantidad de aditivos que posee el clinker en esta planta se inyecta un porcentaje de yeso, escoria o cenizas, una mala aplicación modifica el tiempo de fragüe del producto y una durabilidad estructural más baja
- **Consumo energético:** es necesario entender que el control de temperatura del clinker es de 70°C si se encuentra dentro del molino demasiado material puede provocar un recalentamiento en el proceso de retorno de material particulado de mayor tamaño generando un desperdicio de agua en el proceso
- **calidad del cemento:** si el molino no logra mantener una temperatura baja se genera problemas en el yeso que es aditivo más utilizado en el proceso con esto se genera

una deshidratación del yeso lo que altera el tiempo de fraguado del cemento (en palabras cuando el cemento se aplica agua y se mezcla este es el tiempo de fraguado) etapa donde el cemento se convierte en etapa líquida a sólida.

4.1.1. Ventilación:

- **Consumo Energético:** Un sistema de ventilación eficiente ayuda a evacuar el material fino y a controlar la temperatura interna del molino, previniendo la acumulación de material y mejorando la eficiencia energética. Los ventiladores eficientes con control de velocidad variable (VSD) pueden generar ahorros energéticos significativos.
- **Calidad del Cemento:** Una ventilación adecuada asegura una distribución de tamaño de partícula más uniforme al facilitar la descarga del material molido y su transporte al separador, lo que contribuye a la consistencia de la calidad del cemento final.

4.1.2. Separación De Partículas:

- **Consumo Energético:** al realizar la etapa del proceso de molienda no todo el material tiene el tamaño uniforme que se requiere por ende entra en la parte final del molino un separador de partículas, si este equipo presenta problema en la cantidad de vacío o temperatura de cemento se genera una acumulación de material con un gramaje superior al requerido generando un consumo mayor de energía, agua etc. disminuyendo la cantidad de producción en toneladas horas de nuestro molino.
- **Calidad del Cemento:** El separador determina el correcto tamaño y finas de partículas de clinker molido separando las partes finas que poseen el tamaño requerido y las de mayor tamaño que recirculan de vuelta al inicio del molino para ser remolido en otro proceso que consume energía para lograr el tamaño requerido por el laboratorio de calidad de la planta y su distribución granulométrica. Estos parámetros son determinantes para el rendimiento del cemento y calidad del producto final, incluyendo su velocidad de desarrollo de resistencia y trabajabilidad.

4.1.3. Proponer Mejoras En La Operación Y Mantenimiento De Los Equipos Críticos, Orientadas A La Estandarización De Consignas, La Implementación De Estrategias De Mantenimiento Predictivo Y La Optimización De Los Sistemas De Control.

- Para mejorar el sistema de mantenimiento es necesario estandarizar los planes y conocer a fondo ciertos puntos a la hora de ejecutar un mantenimiento preventivo y ampliar el conocimiento general del personal técnico que influye en el correcto desarrollo de producción de nuestra planta.
- Un punto importante para considerar es reducir al mínimo la posibilidad de error humano durante la toma de decisiones operacionales. Para ello, es fundamental que cada operador conozca claramente los valores mínimos y máximos que definen la operación correcta de cada equipo. Con esta información estandarizada y disponible, las decisiones se vuelven más rápidas, precisas y efectivas, asegurando el cumplimiento continuo de los estándares de calidad del producto.
- **Plan de arranque y parada de máquina:** es necesario conocer en un procedimiento escrito por el personal capacitado los pasos a realizar en la actividad de arranque de planta y en el caso que se requiera la detención.
- **Diagrama de flujos:** siempre hay que considerar que el diagrama que posee el personal de sala control (encargados de operar equipos de forma remota) siempre posea un programa actualizado si en el caso que el equipo se cambie por problemas, teniendo actualizado si algún equipo se encuentra detenido por mantenimiento con esto permite tomar decisiones operativas rápidas conociendo en totalidad los equipos disponibles para la producción.
- **Definir estándares de producción:** conocer los rasgos operativos, disponibilidad de manuales y conocimiento técnico actualizado para obtener rangos de operativos óptimos logrando la cantidad máxima de toneladas horas producidas de cemento.
- **Capacitación del personal:** lograr un conocimiento global del personal para que todo el personal conozca los límites operativos de cada equipo y se logre seguir los estándares de calidad el producto.

- Nuestro segundo punto de enfoque es el mejoramiento de plan de mantenimiento preventivo de los equipos nombraremos los puntos a trabajar:

Es de vital importancia realizar un cambio del personal que se proponga pasar de un mantenimiento correctivo que siempre estará presente en una planta productiva, logrando acerca la planta a un porcentaje de falla menor logrando un correcto mantenimiento preventivo.

- **Análisis de vibraciones de equipo:** capacitar al personal con un curso de vibraciones de equipo, conociendo la importancia de la alineación de poleas y correas de transmisión con este punto se puede monitorear en forma rápida si algún componente mecánico presenta problemas por un aumento de temperatura y un exceso de vibraciones identificando desbalanceo y desalineaciones.
- **importancia del aceite en equipos y lubricación:** lograr crear un plan de mantenimiento preventivo que incluye el cambio de aceites de algunos equipos y un plan de lubricación de grasa para evitar desgaste de rodamientos, retirar elementos externos en la grasa que pueden ser agua en el sistema, degradación de aceite por horas de uso etc. con estos puntos se puede lograr aumentar la vida útil de cada equipo de la planta.
- **Maquina termográfica:** se integra en una rutina de mantenimiento semanal una verificación con maquina termográfica para detectar aumento de temperatura en algunos equipos logrando detectar falla en forma temprana para evitar daños de equipo
- **Análisis de falla ultrasónica:** en equipos críticos se realiza una prueba de ultrasonido para identificar sonidos en equipos de rodadura críticos en nuestra planta (molino, ventilador principal, cadena de alimentación, banda transportadora) indicando baja de rendimiento y posibles fallas potenciales.

4.1.4. Optimización De Sistemas De Control:

- Tener una persona en planta encargada de configurar sistema eléctrico de control para mantener dentro de los parámetros válvulas controladoras y un correcto peso en los materiales que se agregan al proceso para mejorar la calidad final de este.
- crear un plan de calibración de equipos mensuales para controlar el flujo del aire, sistema de inyección de agua, control de alimentación de materias primas para lograr el óptimo funcionamiento de cada equipo con una velocidad constante
- tener un control de proceso: se logra con un contrato por personal externo para que de manera trimestral realice pruebas en las áreas complejas de la planta para lograr controlar de manera eficiente las variables para el correcto consumo energético minimizando el reproceso por mal proceso de molienda
- datos de laboratorio en tiempo real: al conocer los resultados de laboratorio de nuestro producto en tiempo real se disminuye el tiempo en la corrección de equipos para lograr la calidad del producto final, el operador de sala de control toma decisiones para ajuste del separador de partículas, velocidad del molino y cantidad de componentes adicionales permitiendo un ajuste automático de las máquinas que influyen en el proceso.
- datos históricos de buenas corridas: en el caso de utilizar un software actualizado permite al operador saber que parámetros son óptimos para cada proceso siendo la pantalla de control más amigable para tomar decisiones en este caso si el dato se encuentra fuera del rango se puede destacar en color rojo para reconocer de forma rápida que se presenta un problema en nuestros equipos con esto permite las mejoras en el proceso continuo y parámetros operaciones.

4.1.5. Contribuir A La Eficiencia Y Sostenibilidad De La Planta De Mediante Recomendaciones Técnicas Orientadas A La Reducción Del Consumo Energético, El Aumento De La Confiabilidad De Los Equipos Y La Estabilidad De La Calidad Del Producto Final.

Este objetivo se orienta a desarrollar un conjunto de mejoras operacionales aplicables a las distintas etapas del proceso productivo de Cemento Polpaico incluyendo la parte crítica del proceso que es la molienda de cemento, los sistemas de transporte neumático y mecánico, el despacho final y envasado en saco con el propósito de fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la planta en el tiempo

En primer lugar, la reducción del consumo energético se aborda desde una perspectiva integral, considerando tanto el desempeño de los equipos principales (molinos de bolas, ventiladores de alta eficiencia, colectores de polvo y bandas transportadoras) como la estabilidad de las variables de proceso que influyen directamente en el gasto energético específico por tonelada producida. Entre estas variables se incluyen la finura objetivo del cemento, la carga circulante, la eficiencia del separador de partículas, las temperaturas de operación y los desbalances propios de procesos continuos. Optimizar estos parámetros permite disminuir la demanda eléctrica y térmica, contribuyendo a menores costos de producción y reducciones significativas en la huella de carbono en el contaminante final.

En segundo lugar, el aumento de la confiabilidad de los equipos se fundamenta en la implementación de estrategias de mantenimiento orientadas a la condición (preventivo, proactivo), que permitan anticipar fallas críticas en componentes como rodamientos, engranajes, motores, reductores, ventiladores y sistemas hidráulicos. Una planta con mayor confiabilidad reduce detenciones no programadas, mejora la disponibilidad operativa y prolonga la vida útil de los equipos industriales, garantizando una continuidad operacional acorde con los estándares de producción de Polpaico. Por ende, se busca reforzar la estandarización de rutinas de inspección, lubricación, alineación y control de vibraciones, integradas bajo un enfoque TPM u OEE para cuantificar mejoras reales y tener un control en tiempo real de la producción final del turno.

Por último, asegurar la consistencia en la calidad del producto final implica fortalecer el control de las propiedades fisicoquímicas del cemento, considerando la granulometría, la composición mineralógica, la proporción de adiciones (como puzolanas o yeso), el índice de Blaine, el tiempo

de fraguado y las resistencias mecánicas a diferentes temperaturas. La estabilidad en estas características depende en gran medida del control del proceso de molienda, la homogeneización del Clinker y la precisión de los sistemas dosificadores. Una mayor uniformidad en la calidad permite cumplir la normativa chilena vigente (NCh 148) y responder a las exigencias del mercado de materiales de construcción, asegurando productos confiables y competitivos.

En conjunto, este objetivo plantea una contribución directa a la sostenibilidad operativa y ambiental de la planta, mediante acciones que reducen el consumo energético, incrementan la confiabilidad de los activos y aseguran la calidad del cemento producido, alineándose con los principios de mejora continua, eficiencia industrial y responsabilidad ambiental que caracterizan a Polpaico.

Como resumen de lo expuesto se puede decir, que como primera experiencia en el área de la mecánica industrial proceso productivo, pude abordar este trabajo con una base de información adquirida sólida que me permitió comprender de mejor manera el funcionamiento general de la planta Cementos Polpaico Coronel. A partir de ese conocimiento, describí las maquinarias y componentes principales, dando a conocer la función que cada equipo cumplía dentro del proceso y cómo contribuía a mantener la continuidad operacional.

Luego con la información recopilada pude profundizar en temas relevantes para mi formación profesional de mecánico industrial, en la unidad de transmisión de potencia del molino de bolas, poniendo especial énfasis en el turboacoplamiento Voith. Al analizarlo en detalle tratando de conocer sus principales componentes, entendí su relevancia para asegurar un arranque controlado, proteger los equipos y aportar estabilidad al proceso de molienda.

También trabajé en conjunto con el personal de planta más antiguo que me otorgó las principales variables operacionales de la molienda, como la dosificación de la materia prima, sistema de ventilación, las temperaturas críticas del proceso, sistema de separación de partículas y proceso de envaso en silo. Con esto se logra evaluar el impacto de cada componente en el proceso de fabricación en línea impactando en la calidad final del cemento.

Con esta información, propuse mejoras para ayudar a controlar el mantenimiento de los equipos críticos, enfocándome en la estandarización de información entre puestos de trabajos pares, además a que aprendan de la aplicación de mantenimiento predictivo y la optimización de los sistemas de control.

Estas técnicas se centraron en disminuir diferencias del proceso y mejorar la confiabilidad del equipo.

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. Enfoque Metodológico

Esta investigación se realizó desde un enfoque cualitativo descriptivo, planeado para poder analizar y entender el funcionamiento del proceso de molienda en Cementos Polpaico.

Esto ayuda a tener un análisis del estado operativo y de mantenimiento del sistema de molienda, establece variables importantes, posibles mejoras y oportunidades de optimización sin tener que usar modelos de estadísticas muy avanzados o complicados.

Este estudio se centra en la descripción técnica del proceso, tomando en cuenta el comportamiento en producción de los equipos principales, las condiciones operacionales y los puntos de gestión de mantenimiento que tienen que ver en la eficiencia energética, estabilidad operacional y la calidad del producto final.

3.2 Tipo y Diseño de Estudio

Este estudio forma parte de la investigación aplicada ya que su objetivo es dar opciones de mejora con prácticas y trabajo dentro de un entorno industrial.

Por otra parte, este estudio da una experiencial real y en todas las áreas ya que el análisis se ha realizado a partir del propio proceso de molienda, con variables de estudio real y por un periodo determinado.

3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis de investigación se relaciona con la molienda de cemento de nuestra empresa Cemento Polpaico, específicamente el sistema que incluye el molino de bolas FL Smidth, el separador dinámico SEPAX, los ventiladores principales, las cintas de pesajes y los sistemas de transportes de materia prima asociadas a la línea de molienda.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información:

Se revisaron manuales de equipos técnicos, planos, procedimientos operativos, planes de mantenimiento tales como:

- Documentos de análisis.
- revisión de los datos operativos recopilados de los sistemas de control de planta (DCS/PLC) para caudales, temperatura y consumo de energía.
- Historial de mantenimiento de reparaciones de dispositivos importantes con mantenimiento de fallas y paradas no programadas.
- Se observa el trabajo de molienda, con especial atención en modo de operación y condiciones de operación.

● 3.5 Variables y aspectos analizados

Los aspectos analizados en este estudio son: análisis de variables y aspectos relacionados, esto porque el método utilizado fue cualitativo descriptivo, en este aspecto no se propone una hipótesis. Pero se dan muestran una serie de puntos importantes sobre el proceso de análisis

Condición operativa del molino de bolas:

- Alimentación y dosificación de materias primas.
- Control de temperatura del proceso.
- Eficiencia del separador dinámico.
- Gestión de equipos críticos en tiempo real.
- Consumo de energía del proceso.
- Estabilidad operativa y continuidad del sistema.
- Calidad del producto final.

3.6. Procedimiento de análisis

La metodología se desarrolla en

1. Caracterización del proceso de molienda, identificando equipos, variables y condiciones de operación.
2. Evaluación técnica del rendimiento operativo y de mantenimiento, basándose en registros históricos y observaciones del área.
3. Identificación de puntos críticos y diferencias de trabajo operativo, que impactan la eficiencia y la estabilidad del proceso.

4. Desarrollo de propuestas de mejora, orientadas a optimizar la operación, el control del proceso y la gestión de mantenimiento.
5. Evaluación cualitativa del impacto esperado sobre las mejoras propuestas en la eficiencia, estabilidad y calidad del producto.

6. Alcance y limitaciones del estudio:

El estudio se basa únicamente en la etapa de molienda de cemento, no se estudian procesos como la fabricación de clínker, ni el envasado o despacho. El análisis se basa en la información que cada operador brinda en la planilla de toma de datos y en condiciones de trabajo reales de funcionamiento de la planta durante el periodo que duro nuestro estudio.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, este estudio esta enfocado solo en la etapa de molienda y los componentes mecánicos críticos en el proceso , no mencionando procesos de fabricación anteriores como por ejemplo (fabricación de clínker, empaque, despacho).con estos datos obtenidos por la información entregada por los operadores del proceso se toman en consideración para implementar un plan de mejoras de tomas de datos, mejoramiento en los datos del proceso productivo, temperaturas de buenas corridas etc.

Este trabajo se basa en la manera de como operan los equipos críticos en la fabricación de cemento según Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2014), lo explica de la manera de cómo se realizan las actividad en el proceso productivo determinando las interacciones del equipo de operaciones con los equipos de producción del sistema de molienda, de tal manera que determina hasta qué punto el operador puede intervenir un equipo sin que este pierda eficiencia en el proceso completo.

En el desarrollo del trabajo, la estrategia nombra los puntos en el proceso de fabricación de molienda, sus herramientas que posee el personal técnico y las principales medidas o planillas de produccion que estos poseen para poder aumentar la eficiencia operativa de las maquinas.

Por otro punto a considerar según Tamayo (2011), la investigación está dirigida a comprender problemas prácticos y operativos (resolver problemas de manera que sean utilizables en el diario de cada persona y transferibles entre ambos equipos). Para los propósitos de nuestra

planta esto es el primordial , debido que se trata de equilibrar conocimientos entre operadores, mejorar planes de mantenimiento y establecer limites operativos para que sean tangibles en los números de eficiencia de la planta.

CAPITULO IV: ANALISIS DE COSTOS

La toma de datos obtenidos se implementó en algunas corridas que lograron una cantidad de producción en toneladas mayor al promedio midiendo en condiciones de operaciones estándar, los muestreos de eficiencia y validación en terreno de la secuencia operacional del molino de bolas FLSmidth MB1. Entre los principales costos destacan:

- **Horas de capacitación hombre de personal técnico**

Tabla 8: De Ejecución Propia Con Datos De Costo Por Empresa Externa De Capacitación (Ecr Capacitación)

Cargo	Horas requeridas	Tarifa referencial	Costo
Técnico Mecánico de turno	24 h	\$15.000/h	\$360.000
Operador Sala de Control (ingeniero de proceso)	12 h	\$22.000/h	\$264000
Especialista de Procesos (apoyo en análisis granulométrico y tendencias)	6 h	\$22.000/h	\$132.000
Subtotal HH técnicos: \$756000 pesos			

Diagnostico técnico para mantenimiento preventivo:

Para determinar las condiciones reales del equipo y su impacto en la variabilidad operacional, se requirió aplicar técnicas de mantenimiento predictivo y análisis de condición:

- **4.1. Análisis de vibraciones** ➤ Equipos inspeccionados:
- Ventilador principal 561-VE1
- Motor principal del molino

- Reductor
- Turboacoplamiento Voith
- Servicio externo:
- 6 puntos de medición
- Equipo FFT de 4 canales (sensores con cuatro puntos de análisis en puntos a analizar)
- Informe espectral de vibración para detección temprana de anomalías en equipo
- **Costo: \$160.000 por visita técnica mensual**

4.2. Costos energéticos asociados a pruebas operacionales

La ejecución de pruebas del molino bajo distintas condiciones de ventilación carga de recirculación e inyección de agua requirió operación en régimen:

- Potencia nominal motor molino: **3.000 kW**
- Duración total de pruebas: **4 horas**
- Energía consumida: **12.000 kWh**
- Tarifa industrial promedio: **\$110/kWh**
- **Costo energético de pruebas: \$1.320.000**
- **4.3. Insumos de laboratorio y muestreo**
- Bolsas herméticas, recipientes, etiquetas, material de manipulación: **\$42.000**
- Ensayos de Blaine, tamizados, humedad, calidad de producto terminado: **\$85.000**

Subtotal insumos analíticos: \$127.000

Subtotal costos operacionales: \$2.083.000

4.3. Inspección termográfica

Aplicada en:

- Rodamientos de ventilador
- Turboacoplamiento (carcasa y cámara de aceite)
- Descanso de molino
- Gabinetes eléctricos temperatura de componentes

Costo: \$95.000

4.4. Ultrasonido de rodamientos y detección de fugas

- Elevador de cangilones
- Aerodeslizadores del separador de partículas
- Válvulas neumáticas

Costo: \$78.000

4.5. Verificación del estado del Turboacoplamiento Voith

Incluye:

- Revisión de torque real vs nominal de componentes de ajuste mecánico
- Control de nivel y viscosidad del fluido de aceite
- Evaluación de temperatura en régimen
- Chequeo de pernos de fijación

Costo: \$120.000

Subtotal diagnóstico técnico: \$453.000

Aunque el estudio es de carácter técnico, el análisis considera los costos estimados de implementar las mejoras:

-

4.6. Estandarización Operacional

- Desarrollo de instructivos operativos (arranque/parada) de equipo crítico molino y arranque de proceso de molienda
- Definición de rangos operacionales críticos (curvas de vacío, ventilación, recirculación, temperatura)
- Diagramas actualizados sala de control

Costo estimado: \$180.000

4.7. Optimización de lazos de control (PID) para ajuste de valores operativos deseados

Intervenciones requeridas en:

- Cantidad de vacío por cada proceso de ventilación
- Lazo de inyección de agua, determinando la cantidad de agua por minutos
- Velocidad del separador (trabajar en conjunto con la velocidad esperada de producción del molino)
- Alimentación de clinker/yeso/puzolana, control de material por medio de bandas pesadoras

Servicio especialista externo:

Costo estimado: \$520.000

4.6.3 Capacitación técnica del personal

Capacitación en:

- Variables críticas de molienda conociendo equipos críticos y valores a considerar para lograr resultados óptimos de fabricación

- Control operacional del SEPAX (separador de aire para material molido)
- Interpretación de datos de laboratorio (permitiendo una rápida acción para corregir problemas)
- Procedimientos estandarizados (para todos los equipos de fabricación)

Duración: 8 h × 4 operadores × \$20.000/h

Costo: \$640.000

4.7. Mantenimiento preventivo complementario

Considera:

- lubricación a puntos críticos de falla
- Sellos, pernos y empaquetaduras en procesos de vacío
- Ajustes mecánicos menores (tensión de correas)
- Alineación óptica del ventilador **Costo: \$280.000**

Subtotal implementación mejoras: \$1.620.000

4.7.1. Costos Administrativos asociados a la Investigación

Incluye:

- Revisión documental (manuales asociados al proceso)
- Análisis técnico redacción del informe (entregado al personal técnico)
- Sistematización de datos

Horas del investigador principal: **70 h × \$12.000/h = \$840.000**

Edición y formateo del informe final: **\$120.000**

Subtotal administrativo: \$960.000

4.8. Tabla 9: RESUMEN GENERAL DE COSTOS

Categoría	Costo Total
Operacionales	\$2.203.000
Diagnóstico técnico	\$453.000
Implementación de mejoras	\$1.620.000
Gestión administrativa	\$960.000
TOTAL	\$5.236.000

4.9. Tabla 10 : Evaluación del Impacto Económico

La inversión estimada de **\$5.2 millones** se confronta con los beneficios anuales potenciales obtenidos por:

Ahorros proyectados:
➤ Reducción del 3–5% del consumo energético del molino \$4–6 millones/año
➤ Reducción del 20–30% de paradas no programadas \$5–8 millones/año
➤ Mejora de rendimiento del separador y reducción recirculación \$1–2 millones/año
➤ Menor desgaste de componentes internos \$800.000–1.2 millones/año

Beneficio anual total estimado: \$10–16 millones

Periodo de recuperación (Payback): Tiempo estimado para recuperar inversión inicial antes de generar ingresos positivos para la planta productiva

$$\text{Payback} = \frac{5.1 \text{ millones}}{10\text{--}16 \text{ millones/año}}$$

Payback estimado: entre 4 y 7 meses

Capítulo V: Resultados Y Conclusiones

Durante mi participación en el proceso productivo de la planta de fabricación de cemento Polpaico, trabajé directamente en la fabricación continua de Cemento como mecánico de línea de proceso productivo. Este producto presenta diferencias relevantes en su composición fisicoquímica al momento de ingresar en el proceso de molienda, lo que exige ajustar permanentemente las variables operacionales para mantener la calidad y estabilidad del proceso, especialmente en un sistema de producción continua como el de molienda de cemento.

La operación diaria requiere controlar parámetros críticos como gramaje, temperatura de descarga, materiales adicionados, alimentación de Clinker y yeso, además de la proporción de materiales puzolánicos. Estas variables cuando no están correctamente estandarizadas dentro de los parámetros requeridos al momento de la fabricación, generan desviaciones que afectan la eficiencia del molino, generando material mal particulado, la variabilidad del producto final y en consecuencia el desempeño del cemento en obra, al momento de realizar el fraguado final, este no es óptimo. Es de vital importancia comprender y optimizar estos factores para mejorar la estabilidad operacional.

La distribución del cemento producido se realiza a nivel nacional mediante flotas de transporte externo, asegurando la continuidad del suministro a clientes directos y distribuidores. Sin embargo, la calidad del producto entregado depende directamente del control realizado en planta por personal de calidad, razón por la cual la estandarización de parámetros operacionales y la reducción de variabilidad son aspectos centrales para

garantizar el producto final manteniendo a nuestra fabrica como el cemento número uno del mercado.

En las etapas de molienda se trabaja con las normas de fabricación vigentes en Chile NCH 148.Of68, que se encarga de controlar y regular los valores de fabricación determinando una calidad equitativa en todas las plantas de fabricación asegurando la calidad final del producto, sino que también se encarga de generar mejoras en las operaciones entregando límites y criterios para poder evaluar las variables de la mejor manera logrando una excelencia operativa

Esta experiencia me permitió entender la importancia de estabilizar el proceso continuo, conociendo los puntos críticos de los equipos y la importancia de un correcto mantenimiento en la planta entendiendo que una posible desviación pequeña que sea genera una desviación mayor en el tiempo afectando en el rendimiento del proceso energético y la calidad final del proceso productivo. Por ende, es de vital importancia analizar las variables determinando puntos de fallas y límites para evitar que se fabrique productos defectuosos que no cumplan con los requisitos de nuestro cliente final.

Bibliografía:

Sociedad Internacional de Automatización. (2022). Sistemas de automatización y control industrial. ISA.

Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos. ISO.

Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A. y Doyle, F. J. (2023). Dinámica y control de procesos (4.^a ed.). Wiley.

Wills, B. A. y Finch, J. A. (2016). Tecnología de procesamiento de minerales de Wills: Introducción a los aspectos prácticos del tratamiento y la recuperación de minerales (8.^a ed.). Butterworth-Heinemann.

Åström, K. J. y Hägglund, T. (2006). Control PID avanzado. ISA[U1.1]. Montgomery, D. C. (2019). Introducción al control estadístico de la calidad (8.^a ed.). Wiley. Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A. y Doyle, F. J. (2023). Dinámica y control de procesos (4.^a ed.). Wiley.

Organización Internacional de Normalización (2014).ISO 55000: Gestión de activos: visión general, principios y terminología. ISO. Moubray, J. (1997). Mantenimiento centrado en la fiabilidad (2.^a ed.). Butterworth-Heinemann. Nakajima, S. (1988). Introducción a TPM: Mantenimiento productivo total. Productivity Press.

Mobley, R. K. (2002). Introducción al mantenimiento predictivo (2.^a ed.). Butterworth-Heinemann[U1.1]. Slack, N., Brandon-Jones, A., Burgess, N. y Johnston, R. (2022). Gestión de operaciones (10.^a ed.). Pearson. Wireman, T. (2014). Gestión del mantenimiento y cumplimiento normativo. Industrial Press.

Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos. ISO. Neville, A. M., y Brooks, J. J. (2010). Tecnología del

hormigón (2.^a ed.). Pearson. Taylor, H. F. W. (1997). Química del cemento (2.^a ed.). Thomas Telford.