



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 666489

Visto el Informe N° 066-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 064-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

“IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DEL NIVEL DE LA CARGA DE LA CHANCADORA PARA MEJORAR SU PRODUCCIÓN DEL PROCESO DEL CHANCADO DE LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO - ICA”

Presentado por:

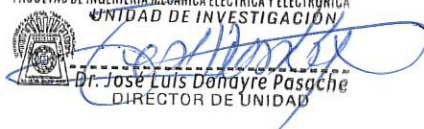
CEBALLOS QUISPE, FERNANDO JOSE

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA ELECTRÓNICA. El resultado obtenido es un porcentaje de TRECE POR CIENTO (13%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 26 de febrero del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Dohayre Pasáche
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



TESIS

Implementación del Control del Nivel de la Carga de la Chancadora para Mejorar su Producción del Proceso del Chancado de la Unidad Minera Cerro Lindo - Ica

Línea de investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado por:
FERNANDO JOSE CEBALLOS QUISPE

Ica, Perú
2024

DEDICATORIA

A Dios

Por el amor que me brinda día a día.

A mis Padres.

Con sus inmensos apoyos a mi persona.

A mi familia.

Que me brindaron su confianza, consejos, oportunidades y recursos para lograr mi meta.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes por sus esfuerzos para que finalmente me pudiera graduar como un próspero profesional.

A mi asesor Ing. Hipólito Martín Rodríguez Casavilca, por su apoyo en la elaboración de la tesis.

A mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado. Esto es posible gracias a Ustedes.

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ABSTRACT

I Introducción.

II Estrategia metodológica.

III Resultados.

IV Discusión.

V Conclusiones.

VI Recomendaciones.

VII. Referencias bibliográficas.

VIII. Anexos.

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I Características Principales del Equipo | 23 |
| Tabla II Datos de campo de nivel de la chancadora | 44 |
| Tabla III Datos de campo de la velocidad respecto al nivel de la chancadora | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1 Chute de carga del alimentador vibratorio | 17 |
| Fig. 2 Alimentador Vibratorio | 18 |
| Fig. 3 Según la ubicación de la placa móvil | 20 |
| Fig. 4 Trituradora de mandíbulas | 20 |
| Fig. 5 Principio de funcionamiento - Chancadora Quijada | 21 |
| Fig. 6 Estructura de una trituradora cónica | 21 |
| Fig. 7 Trituradora cónica Sandvik CH660 | 22 |
| Fig.8 Vista de corte de la Chancadora | 24 |
| Fig. 9 Trituradora de rodillos | 24 |
| Fig. 10 Clasificación de Zaranda vibratoria | 25 |
| Fig. 11 Partes de una zaranda vibratoria | 26 |
| Fig. 12 Panel ASRI chancadora terciaria | 32 |
| Fig. 13 Instalación de transmisor de nivel | 33 |
| Fig. 14 Configuración de transmisor de nivel | 34 |
| Fig. 15. Nivel mínimo de Chancado de Chancadora Terciaria | 35 |
| Fig. 16 Nivel intermedio de Chancado de Chancadora Terciaria | 35 |
| Fig. 17 Nivel máximo de Chancado de Chancadora Terciaria | 36 |
| Fig. 18 Instalación física del transmisor de nivel sobre la chancadora | 36 |
| Fig. 19 Diagrama de bloques de escalado de nivel | 37 |
| Fig. 20 Configuración de parámetros de escalado de nivel | 37 |
| Fig. 21 Instalación de señal hacia el variador (evf) | 38 |
| Fig. 22. Lógica de desescalamiento de salida del PLC hacia el Variador | 38 |
| Fig. 23 Configuración de parámetros de desescalado de variador | 39 |
| Fig. 24 Variador de velocidad EVF-25D | 40 |
| Fig. 25 Respuesta en el tiempo de la variable de proceso | 40 |
| Fig. 26 Importación de datos a Matlab | 41 |
| Fig. 27 Sistema de identificación de en el dominio del tiempo | 41 |
| Fig. 28 Diseño generado por MATLAB | 42 |
| Fig. 30 Sintonización del PID generado por MATLAB con la herramienta PID | 43 |
| Fig. 31 Diseño en el PLC para el lazo de control de Nivel | 43 |
| Fig. 32 Diseño en el SCADA Archestra Intouch 2012 R2 | 44 |
| Fig. 33 Gráfico de presión promedio vs potencia consigna de la chancadora Sandvik | 46 |
| Fig. 34 Gráfico de los parámetros principales de la chancadora Sandvik | 46 |
| Fig. 35 Pantalla de operación de la chancadora Sandvik | 47 |
| Fig.36 Chancadora Sandvik | 47 |

RESUMEN

Este proyecto de tesis investigó un lazo de control de nivel de carga en una chancadora Sandvik con el fin de aumentar la producción durante el proceso de chancado. El método Ziegler-Nichols se utiliza para diseñar un lazo de control, y la herramienta PID Tuner de Matlab se utiliza para obtener los parámetros PID y simular el controlador del proceso. La programación se lleva a cabo en PLC ControlLogix, su herramienta de programación RsLogix 5000 y SCADA Intouch 2012 R2. Se realiza la prueba de verificar la velocidad del alimentador vibratorio con el nivel de la cámara de chancado para obtener datos sobre la correlación de estas variables y servir como entrada para el diseño del lazo de control. Las reglas proporcionadas por Ziegler y Nichols nos brindan una "luz" de la relación real entre los parámetros de sintonización P, I y D y las características operacionales del proceso.

Según las pruebas efectuadas, su diseño produce resultados adecuados y uniformes en todos los sistemas controlados. Se hace la verificación que su respuesta en escalón del lazo del control coincida con el modelo creado por MATLAB. En dicha etapa de este proceso, puede mejorar la producción de mineral además de obtener mayor producción y menos variabilidad al aplicarse el lazo del control del nivel de la chancadora. Esto resultará en un proceso más eficiente, una mejor uniformidad del mineral y tendencia aceptable de la variable principal de la chancadora, lo que resulta en el proceso eficiente, reducción de sobre costo y reproceso de la planta.

Palabras clave: Sandvik Crusher, Level Control Loop, Ore Production, Concentration Plant, Crushing.

ABSTRACT

This thesis project investigated a load level control loop in a Sandvik crusher in order to increase production during the crushing process. The Ziegler-Nichols method is used to design a control loop, and the Matlab PID Tuner tool is used to obtain the PID parameters and simulate the process controller. Programming is carried out in PLC ControlLogix, its programming tool RsLogix 5000 and SCADA Intouch 2012 R2. Testing is performed to verify the speed of the vibratory feeder with the level of the crushing chamber to obtain data on the correlation of these variables and serve as input for the design of the control loop. The rules provided by Ziegler and Nichols give us a "light" of the real relationship between the tuning parameters P, I and D and the operational characteristics of the process.

According to the tests carried out, their design produces adequate and uniform results in all controlled systems. The step response of the control loop is verified to match the model created by MATLAB. At this stage of this process, you can improve mineral production as well as obtain higher production and less variability by applying the crusher level control loop. This will result in a more efficient process, better mineral uniformity and acceptable trend of the main variable of the crusher, which results in an efficient process, reduced cost overruns and reprocessing of the plant.

Keywords: Level control loop, Sandvik Crusher, Mineral production, Crushing, Concentration plant.

I.- INTRODUCCION

La industria minera en el Perú a lo largo del tiempo ha contribuido fundamentalmente como una actividad de gran envergadura para el desarrollo de la economía peruana, aun así, su crecimiento ha variado al mismo tiempo que su vital importancia. Actualmente, la minería en el Perú es la columna vertebral de su economía, logrando así un lugar importante en la producción minera mundial, ubicada entre los primeros países productores de cobre, plata, oro, entre otros.

Actualmente, la eficiencia de una compañía minera está directamente influenciada por los sistemas de control utilizados, así como por su tipo de supervisión y control que se realiza sobre ellos. Esto se debe a la menor intervención humana y la mayor disponibilidad de los equipos, lo que garantiza la producción y cumple con los estándares ambientales de salud y seguridad ocupacional establecidos por el Perú.

En la actualidad, el área de procesos ha experimentado un crecimiento significativo. Por lo tanto, los procesos en las plantas son esenciales. Por lo tanto, no pueden desaprovechar la producción ni los recursos humanos en estos aspectos. En la planta se han detectado factores deficientes, como la baja productividad según indicadores. Este es el punto de partida para la mejora continua y será el instrumento que utilizaremos para la identificación de problemas y la comparación posterior de la implementación de la propuesta de manufactura.

Situada en la provincia de Chincha, departamento de Ica, y a una altitud de 4,200 metros sobre el nivel del mar, la Planta Concentradora de la Unidad Minera Cerro Lindo fue ampliada en el año 2017 para alcanzar una capacidad de 5600 TPD. Posteriormente, aumentó gradualmente hasta procesar 6,000 TDP.

El trabajo de investigación actual, titulado "Implementación del Control del Nivel de la Carga de la Chancadora para Mejorar su Producción del Proceso del Chancado de la Unidad Minera Cerro Lindo - Ica", será la nueva aplicación del sistema de control automático y herramienta útil del proceso del mejoramiento y eficiencia de la Planta Concentradora de la Unidad Minera Cerro Lindo, donde su mayor deficiencia es la falta de integración de equipos.

En el ámbito de estudio, se ha identificado que el problema principal radica en los tiempos prolongados en la trituración de piedra caliza, y los resultados de baja calidad debido a la ineficiencia de la chancadora. Además, los operadores tienen horas muertas, las cuales pueden ser utilizadas para detectar anomalías en el proceso y rectificarlas, y además, ser predictivos de las fallas que se presenten. Esto se encuentra a menudo acompañado de un desorden, que también representa un problema de eficiencia y seguridad en el trabajo.

Para realizarse el chancado se esté agresivo y con una eficiencia, el sistema a diseñar consiste en aplicar el modo "AUTOLOAD" y realizar el lazo de control realimentado del nivel utilizando el método Cohen-Coon en mantener el nivel del 50% constante de la cámara de la chancadora cónica Sandvik. Esto reducirá la carga circulante en un cincuenta por ciento y aumentará la producción en un veinte por ciento.

1.1. Planteamiento del Problema

Los equipos o maquinaria en los procesos mineros con el tiempo van a llegar a presentar fallas sea esta por impactos ambientales, vibración, deterioro de componentes y entre otros aspectos, para esto las empresas mineras acuden a una gestión de mantenimiento que permita poder optimizar la vida útil y reducir costos.

En el sector del chancado y transferencia de la Minera Cerro Lindo, han pasado tiempo desde que dio inicio su operación, sin embargo, después de la caminata de inspección visual se resalta que el departamento de mantenimiento no dio tanta importancia a las maquinarias encontrando una cantidad regular sin mantenimiento y algunos ya inoperativos que necesitan limpieza, reparación y cambio; estos instrumentos se encontraban puenteados o en bypass por falla, con bastante polución, fuera de su posición, colgados y soportados por sus cables y en algunos casos el instrumento no existía donde en los planos indicaban que era su posición, estos fueron atrapados por la faja. Las intervenciones solo eran por mantenimientos correctivos donde todo el personal involucrado tenía el concepto herrado de mantenimiento confundiéndola con reparación trayendo como consecuencia una serie de efectos negativos en la incrementación de costos por mantenimiento, reducción de vida útil, productividad del proceso e indisponibilidad del equipo.

El primer paso del proceso productivo de una empresa minera para obtenerse el concentrado es la etapa de molienda, la cual es necesaria para cumplir con las metas establecidas por la empresa, la cual se mide en toneladas de mineral por día (TDP) procesadas.

En la Unidad Minera Cerro Lindo, los minerales son extraídos en su propia concentradora con los siguientes procesos de chancado, molienda, flotación y filtración produciendo concentrados de plomo, zinc, cobre con contenido de plata. En 2014 se realizó una inversión para aumentar la capacidad de producción a 246.000 toneladas anuales, lo que supuso 7 millones de USD anuales, que se dividió entre un montaje de nueva fábrica y equipo adicional como cribas de frecuencia alta, cámara de trituración, que permitirá una producción sustentable del nuevo nivel cuando el proyecto esté terminado en 2019.

En el mismo año, compró una trituradora CH 660 para el circuito terciario que establezca su capacidad instalada, la cual fue ensamblada en el segundo trimestre de 2019. la trituración El área tiene una criba primaria, 1 trituradora secundaria Sandvik, 3 alimentadores vibratorios, 3 cribas secundarias, 2 trituradora terciaria CH660 Sandvik, 2 tolva gruesa y 2 tolva fina. Representan a los principales grupos en este proceso.

Debido a las ampliaciones y adquisición de nuevos equipos en el sector del chancado en los últimos años, dicho sistema de control de sus principales equipos (alimentador vibratorio, criba, chancadores) no están interconectados, por lo que la chancadora de cono terciaria Sandvik en la sala de alimentación, en la aplicación terciaria se somete a una serie

de choques que provocan fuerzas dañinas. Lo que genera pico de presión hidráulica además de desgaste de las partes de trituradora.

Su producción va a verse afectada debido a su falta de integración del equipo, además no contar con un sistema de control automático, provoca averías inesperadas que afectan el tonelaje diario. Si no se implementa un sistema de gestión de chancado, se producirán tiempos de inactividad no productivos, baja productividad, altos costos operativos, dificultades para poner en marcha los equipos.

Además del aumento de la carga rotacional en este proceso, también afecta el proceso de rectificado posterior. Con el fin de mejorar su producción del proceso del chancado, se planteó un diseño del control del nivel de carga, el cual es mantener el nivel constante del 50% de la cámara del chancado de cono y utilizar el modo “CARGA AUTOMÁTICA” para hacer más chancado y eficiente. Esto reduce la carga del ciclo y mejora su producción.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Antecedentes de la Investigación

Antecedentes Internacionales

En 2019, Agudelo [1] registra una tesis con el tema: “Mejora del proceso de planeación y programación de mantenimiento dentro de la empresa Faismon” que fue aplicada para la compañía HRA con la empresa contratista Faismon quien ofrece mejorar los servicios a sus clientes, los aportes fueron dos implementaciones, la primera fue el software de mantenimiento donde lograron migrar de la base de datos del Excel al nuevo CMMS (Computerized Maintenance Management System) Fractal por lo que mejoró la administración y comunicación entre el departamento de mantenimiento y operaciones, la segunda fue la matriz AMEF (Analysis Mode Effect Failure) en las grúas de mayor complejidad para analizar y mejorar los actuales planes de mantenimiento en base al número prioridad de riesgos para determinar la criticidad de los equipos críticos en las grúas, de esta manera se logró mejorar el proceso de planeación y programación llevando el control mediante un software, asimismo, sirvió para la programación de actividades y optimizar la gestión del mantenimiento mediante indicadores de gestión.

En 2019, Lagos [2] realizó la tesis con el tema “Un modelo de optimización dinámica para la planificación eficiente de tareas de mantenimiento de aviones” debido a la problemática en la decisión diaria de aeronave a intervenir y selección de tareas pendientes de mantenimiento que conllevaron a consecuencias de incremento de costos y cancelación de vuelos programados en varias oportunidades; en este estudio se implementó la planificación y programación diaria de mantenimiento preventivo dentro de una aerolínea con el objetivo de reducir su tiempo en tierra que logró minimizar el costo de tareas por fallas inesperadas y ejecución de tareas pendientes

incorporando horarios nocturnos donde los vuelos no son cancelados ni sufren retrasos.

En 2016, Delgado, C. [3] en la tesis El objetivo principal fue evaluar los efectos económicos del cambio tecnológico de la etapa de molienda del proceso de beneficio de mineral de alta dureza de Minera Escondida Ltda. Los principales factores que incentivan la búsqueda de opciones de procesamiento efectivas va ser el crecimiento constante del índice de dureza de la piedra, lo que aumenta significativamente consumo de energía , las inversiones del capital necesarias para mantener niveles de producción, la reducción de leyes de cobre en los procesos rentables, lo que significó la transferencia de la dureza de la piedra en total mayor volumen para alcanzar el mismo nivel de producción, altos precios del cobre que permitieron a la industria aprovechar el entorno favorable del mercado, y (iv) la incorporación de tecnologías más eficientes en el consumo de energía compatibles con la protección del medio ambiente. estrategia En la tesis se anotó que la alternativa investigada en este trabajo es la sustitución de la cadena de molienda semiautógena y molienda de bolas por una cadena de chancado secundario y tipo HPGR más eficiente energéticamente. Se estableció que la alternativa tecnológica estudiada genera valor agregado en el contexto de la planificación integrada de los recursos mineros existentes y es posible lograr una reducción de los costos de operación en más del 7%, lo que afecta significativamente el consumo de energía y acero, los dos costos más importantes. 23 en el concentrador. La reducción de las emisiones de CO₂ se puede reducir en un 25%, mejora significativamente la huella de carbono de la empresa, reduce los impactos ambientales.

En 2019, Guaitarilla Soto [4] en su Tesis: “Plan de mantenimiento preventivo para la máquina industrial de la empresa Fluoroplásticos S.A.S.”; tuvo como objetivo diseñar y estructurar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos electromecánicos estableciendo procedimientos con la finalidad de hallar, corregir y predecir fallas de los equipos de producción para garantizar la confianza y disponibilidad de los equipos reduciendo los paros inesperados o tiempos muertos en las maquinarias y horas hombres, la estructuración del plan de mantenimiento tuvo en cuenta la elaboración de los procedimientos instructivos integrado en un solo documento en una maquina computarizada donde se observa todas las intervenciones y fotos visuales que controla el nivel de detalle de intervención; concluyendo diremos que el plan de mantenimiento preventivo redujo el paro de equipos y trajo un ahorro significativo de las rentas netas de la empresa. El estudio se vincula con el objetivo de la investigación de tal manera que al desarrollar un plan de mantenimiento de prevención para las maquinarias industriales se puede lograr la

operatividad de todos los equipos y reducir gastos que ocasiona una reparación en la maquinaria.

Antecedentes Nacionales

En 2017, Zela Toledo [5] en su Trabajo de investigación “Planificación y programación del mantenimiento de instrumentación de la planta de chancado primario compañía Antapaccay” inició con el levantamiento de información del proyecto en campo logrando identificar y ubicar los instrumentos en conjunto con planos de ingeniería y manuales de fabricante, culminando logró ordenar la información y elaboró el plan de mantenimiento anual de instrumentos de los equipos principales del área de chancado primario de la Compañía Antapaccay.

Con el trabajo se mostró su importancia con el conocimiento de los instrumentos en campo si no de su gestión del mantenimiento del mismo, se elaboró check list para determinar el estado y con ello sus programaciones semanales y paradas de planta acorde a sus condiciones y recursos que cuentan en la planta de chancado primario mejorando así la operación de sus equipos con una mayor disponibilidad a un menor costo.

En 2018, Ruiz Rodríguez [6] Elaboró la tesis “Planificación del mantenimiento preventivo para los neumáticos de la flota de tractocamiones para optimizar su disponibilidad de la empresa Grupo Transpesa SAC” con el objetivo de implementar el plan de mantenimiento preventivo para disminuir el costo del mantenimiento de neumáticos implementando hojas de inspección para el control de cada componente, de esta manera analizó la frecuencia de mantenimiento del equipo para realizar una selección adecuada de cada repuesto incrementando la disponibilidad de la flota de 89 a 92%; se demuestra que se pueden mejorar los resultados implementando el plan de mantenimiento preventivo.

En 2011, Páez Espinal [7] en su Tesis “Desarrollo de un sistema de información para la planificación y control del mantenimiento preventivo aplicado a una planta agroindustrial” hizo un análisis a las fallas imprevistas que originaban paradas de producción para prevenir las averías, inició verificando las fallas del historial de mantenimiento con el objetivo de llevar un control de tiempo en reparación y contar con una alta disponibilidad desarrollando en una herramienta informativa visual Basic almacenando la información de trabajos de mantenimiento en un software Microsoft SQL que es cargado en la nube, de esta manera ayuda al área de producción a estar informado de las tareas de mantenimiento y así tener una alta confiabilidad de la planta de proceso.

En 2019, Rojas Fernández [8] realizó el trabajo de “Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo del sistema de filtrado de la empresa Talsa (Fundo

Upao) para incrementar su productividad y reducir costos de operación” dando inicio con la recolección de información mediante tarjetas de inspección e inventario de equipos que logren incrementar la productividad, el estudio se realizó con los equipos críticos del área de filtrado midiendo a través de indicador la disponibilidad de equipos, de esta manera se logra reducir el costo de operación a 68,969.60 soles logrando ahorrar 51,030.40 soles lo cual es una cantidad significativa en costos de operación, se demuestra que implementando el plan de mantenimiento preventivo se dejaría de invertir 120,000.00 soles por mantenimientos correctivos, cambio de repuestos y entre otros, el estudio está relacionada con los objetivos de la investigación que se está desarrollando, pues el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora su operación y, asimismo, aumenta sus ganancias en el área de filtración de la empresa Talsa (Fundo UPAO).

En 2021, Airaldi Uscovilca [9] Realizó la tesis “Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de disponibilidad en flota de grupos electrógenos del área de mantenimiento eléctrico mina en la Unidad Minera las Bambas” con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos para suministrar energía eléctrica al resto de la unidad minera, por lo que a su alta incidencias de fallas fue primordial el levantamiento de datos de equipos y diseñarse el plan en base a manuales para en ella incluir la frecuencia y tareas de mantenimiento, luego de 17 meses se obtuvo un resultado alcanzando índices mensuales de 95% de disponibilidad. El estudio guarda relación con la investigación que se lleva a cabo debido a que se debe realizar un plan de mantenimiento de prevención que busque mejorar significativamente las situaciones adversas que se suscitan en la compañía por fallas en los equipos.

Antecedente Local

En 2017, Torres Huamaní [10] en su trabajo titulado “Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en reductores del sistema conveyer de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.” aplicó principalmente a los equipos críticos desde la faja 1 hasta la faja transportadora N°4 del área de conveyer mediante el método de John Moubray logrando recopilar información de las funciones de cada activo para luego hacer el análisis de los conceptos basados en riesgos. Se determinó el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad del equipo más críticos siendo hecha esta priorización en función de la frecuencia de ocurrencia, detectabilidad y severidad del impacto de modo de falla, los resultados revelaron 11 equipos críticos de 22 modos de fallas que pueden ser completados con 133 horas por año y lograr ahorrar un monto de US \$ 367,320 anuales. El estudio guarda relación con los objetivos de la investigación que se está ejecutando debido

a que la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad en reductores del sistema conveyer de la empresa Shougang Hierro Perú asegura la operación y detectabilidad de fallas.

En 2019, Herrera Salas [11] en su trabajo realizado para la empresa minera Shougang Hierro Perú realizó la tesis denominada “Elaboración de un plan de mantenimiento correctivo programado de motores eléctricos síncronos de 1250HP para la empresa Minera – Metalúrgica Shougang Hierro Perú S.A. 2018” tiene como objetivo reducir los problemas de funcionamiento que han descendido la resistencia de aislamiento del motor provocando interrupción del proceso de producción debido al ambiente húmedo, corrosivo y con partículas de mineral suspendidas que se concentra en sus bobinados de campo y armadura. Se logra elaborar el plan del mantenimiento correctivo programado en dejar atrás el mantenimiento básico que no ha funcionado y de esta manera demostrar que su reparación sea óptima para evitar paralizaciones que afecten el programa de producción, en el 2º trimestre del año va incrementar su rendimiento del mantenimiento por una buena gestión del mantenimiento y no realizándose trabajo de rebobinado en el devanado de la armadura y campo, tampoco va tener pieza con fatiga de material, que se traduce en reducción del costo de mantenimiento. La investigación está relacionada con el objetivo de la investigación, pues es necesario desarrollar un plan de mantenimiento correctivo para el motor síncrono y proteger estos tan importantes motores para la labor de la empresa.

1.2.2. Bases teóricas

- **Descripción de la Unidad Minera Cerro Lindo**

El yacimiento de Cerro Lindo está situado al sur de la Ciudad de Lima, en el Departamento de Ica, en la región meridional del Perú. Se descubre el depósito mediante el afloramiento de baritina, abandonándose debido a la presencia de sulfuros oxidados. Durante el periodo comprendido entre 1982 y 1987, la Compañía Minera Milpo inicia las labores geológicas que incluyen muestreos superficiales y galerías de exploración, delimitando el Ore Body 1 y Ore Body 2. En el año 1999, se llevaron a cabo 4525 metros de galería subterránea y 35112 metros de perforación diamantina, descubriéndose en su totalidad el Ore Body 5. En el año 2002, se llevó a cabo el estudio de factibilidad con recursos medidos de 34 metros cúbicos con 5.2% de Zn, 0.8% de Cu, 36.1 g/tn de Ag y 0.6% de Pb. Además, se hallaron 10 metros cúbicos de mineral inferido con leyes muy similares.

El yacimiento de Cerro Lindo se caracteriza genéticamente por ser un depósito de sulfuros masivos volcanogénicos, ubicados en las rocas del Grupo Casma de la edad Cretácica. Dichas rocas se acumularon en una cuenca durante el proceso de

subducción. La secuencia volcánica se compone principalmente de lavas y piroclastos félsicos, la cual es dirigida por el Batolito de la Costa, lo que resulta en un metamorfismo de contacto.

El yacimiento se encuentra orientado geoméricamente hacia el norte, buzando hacia el sur con un ángulo de 65, con una longitud aproximada de 800 metros, un espesor de 200 metros y una profundidad de 450 metros. Los cuerpos identificados son OB1, OB2 y OB5, los cuales están controlados estructuralmente por fallas y posteriormente instruidos por diques andesíticos porfíricos.

El proyecto Cerro Lindo se sitúa a una distancia de 175 kilómetros. El acceso se encuentra en el sureste de Lima, en el sur del Perú, en el Departamento de Ica, la Provincia de Chincha, el Distrito de Chavín y el Paraje de Huapunga, a una altitud de 1820 metros sobre el nivel del mar. El acceso se realiza por la carretera Panamericana Sur hasta la quebrada Jahuary y posteriormente por una carretera afirmada hacia la mina.

- **Descripción de la Planta Concentradora**

En su instalación concentradora, la Unidad Minera Cerro Lindo genera 6,000 Toneladas Secas por Día (TSPD) de mineral diariamente, con una ley de cabeza de 2,87% de Zn/día, 1,17 % de Pb/día, 0,15% de Cu/día y 1,9 Ag/onza en promedio. Además, cuenta con un programa mensual de avances lineales de aproximadamente 2000 metros en exploraciones, desarrollos y preparaciones, con trabajos en cruceros, galeras, subniveles y chimeneas inclinadas. Además, incluye trabajos en cruceros, galeras, subniveles y chimeneas inclinadas.

- **Chancado**

La fase de trituración constituye la fase inicial en todo proceso de extracción de mineral de alto valor en una planta de concentración. La granulometría del mineral proveniente de la mina es diversa, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos de más de 1 m de diámetro. El propósito de la sección de chancado es disminuir el tamaño de los fragmentos de mayor tamaño hasta alcanzar un tamaño uniforme máximo de 1/2 pulgada (1,27 cm).

Proceso de Chancado

El proceso de chancado utiliza una combinación de dos o hasta tres equipos en línea que reducen el tamaño de los fragmentos en etapas, conocidas como etapa primaria, etapa secundaria y etapa terciaria, para lograrse su tamaño deseado de 1 1/2 o 3/8 pulgada.

Las etapas requeridas para este objetivo se determinan en función de la disposición de los equipos, la granulometría del mineral extraído en la mina y el tamaño del mineral triturado requerido para el proceso de chancado.

La principal trituradora disminuye el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro durante la fase inicial.

En la fase secundaria, el material se reduce a 3 pulgadas.

Durante la fase terciaria, el material mineralizado alcanza finalmente una pulgada.

Elementos constitutivos de la Sección de Chancado:

- a) Chutes Viene a ser cajones de lado inclinado que se unen al fondo de la tolva con el alimentador adecuado. Los chutes ayudan a liberar la carga de mineral, ya que de lo contrario el alimentador sufriría un exceso de peso.

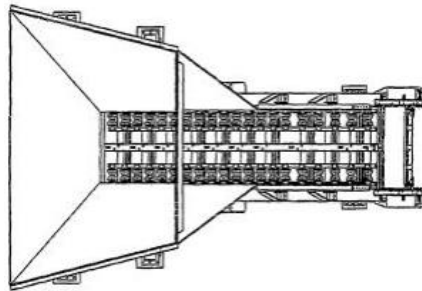


Fig. 1 Chute de carga del alimentador vibratorio

- b) Alimentador Vibratorio: Consiste en un canal o chute de alimentación (un tubo cerrado o una bandeja abierta) que se mueve hacia adelante y hacia atrás por la inducción oscilante de un motor electromagnético. La entrada de corriente en el motor electromagnético del alimentador puede ajustar la velocidad de flujo de los sólidos. Esta entrada regula el tirón y la longitud de la carrera del electroimán.

El Alimentador, las formas rectangulares, trapezoidales o semicirculares experimentan vibraciones lineales cuando se inclinan ligeramente. Estas vibraciones hacen que el producto se mueva suavemente y sin dañar la canaleta.

En comparación con otros tipos de canaletas alimentadoras, la canaleta vibratoria electromagnética tiene una ventaja porque su velocidad de transporte puede ajustarse al cambiar el voltaje eléctrico proporcionado a través de un reóstato, un conjunto electrónico transistorizado (potenciómetro) o una señal 4-20 [mA].

Además, no se produce un reflujo de parada. En otras palabras, el material cesará de ser transportado tan pronto como se corte la electricidad. Los alimentadores permiten que las chancadoras reciban una carga específica y controlada según sus habilidades, al mismo tiempo que evitan la descarga abrupta de las tolvas de gruesos. Demasiada carga atora a las chancadoras,

grizzlies y cedazos, mientras que poca carga daña los mecanismos porque los movimientos más fuertes se realizan en vacío.

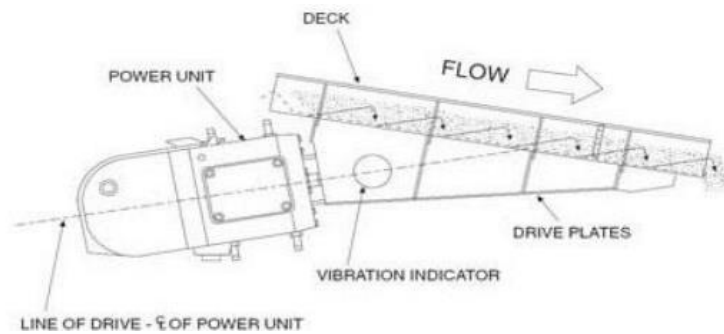


Fig. 2 Alimentador Vibratorio

c) Chancadoras

Las chancadoras son maquinaria eléctrica de gran tamaño. Los componentes de estos equipos que utilizan movimientos vibratorios para triturar la roca están hechos de una aleación especial de acero al manganeso de alta resistencia. Las chancadoras son alimentadas por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada según el diámetro requerido. Las correas transportadoras manejan todo el mineral en la planta, desde la alimentación de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.

Procedimiento de Chancado

La primera chancada es generalmente la principal en el proceso de chancar las piedras en más pequeñas. En esencia, se refiere a la transferencia de fuerza de aplastamiento, que aumenta con la ventaja mecánica, y se distribuye a lo largo del cuerpo del objeto. Esto generalmente implica colocar el objeto entre dos superficies sólidas; una de ellas actúa como una plataforma y proporciona un lugar para colocarlo; la segunda superficie generalmente se encuentra por encima del objeto y la plataforma y baja lentamente para ejercer la fuerza sobre el objeto. Como el objeto es destruido por la fuerza, la superficie superior continúa descendiendo hasta que se ha alcanzado un grado de reducción de tamaño ideal.

Maquinaria

Varios tipos de máquinas de trituración se utilizan en el sector industrial. Se clasifican según la etapa de tratamiento y el tamaño del material tratado.

- Trituradora Primaria. Fragmenta grandes trozos hasta un producto de 8" a 6". Se tiene 2 tipos de máquinas.
 - Trituradora de Mandíbula.
 - Trituradora Giratoria de campana.

- Trituradora Secundaria. Fragmenta el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3'' a 2'' entre estas máquinas tenemos.

- Trituradora Giratoria de campana.

- Trituradora Cónica.

- Trituradora Terciaria. Fragmenta el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8", entre estas máquinas tenemos.

- Trituradora Cónica.

- Trituradora de Rodillo.

Maquinaria para la Trituración Primaria

- Triturador de Mandíbulas

Consta principalmente de 2 placas de hierro colocadas de manera que una permanezca fija mientras que la otra se mueve como un vaivén para acercarse y alejar la placa fija, lo que permite fragmentar el material que ingresa al espacio entre las 2 placas.

En función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula móvil, las trituradoras de mandíbulas se dividen en tres tipos: Blake, Dodge y Universal. En la práctica, el triturador de tipo Blake es el más utilizado. Fue patentado por E. W. Blake en 1858 y ha sufrido varias modificaciones desde entonces.

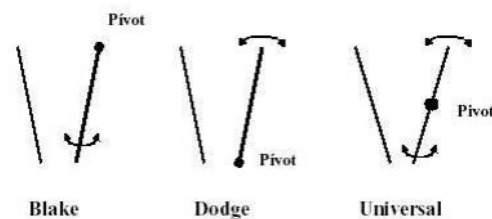


Fig. 3 Según la ubicación de la placa móvil

- Tipos de Trituradoras de Mandíbulas

La dimensión de la abertura de alimentación y ancho de la boca de alimentación, medida en pulgada o milímetro, se utilizan para determinar el tamaño de estas trituradoras. Estas máquinas van desde 32 125 x 150 mm hasta 1600 x 2100 mm de tamaño. Pueden triturar partículas de hasta 1,2 metros de tamaño a 700-800 TPH. La velocidad de la máquina disminuye con el tamaño y generalmente oscila entre 100 y 400 rpm. El radio de reducción promedio es de 7,1 y puede oscilar entre 4:1 y 9:1, y las máquinas grandes pueden consumir hasta 400 HP.

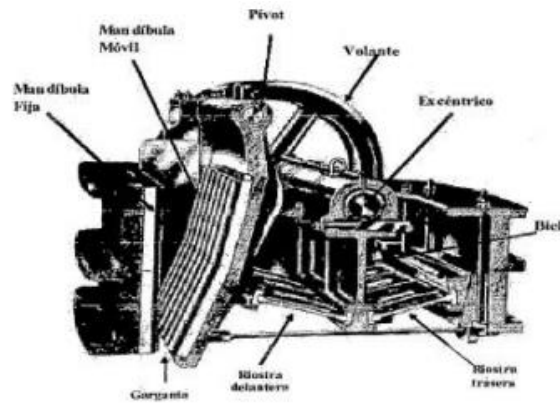


Fig. 4 Trituradora de mandíbulas

- Capacidad de Producción

Las propiedades de las materias a triturar (tales como intensidad, dureza, composición de granulosis alimentada, etc.), las funciones de la trituradora y las condiciones de operación (casos de alimentación y dimensiones de la materia resultante, etc.) determinan la capacidad productiva de la trituradora.

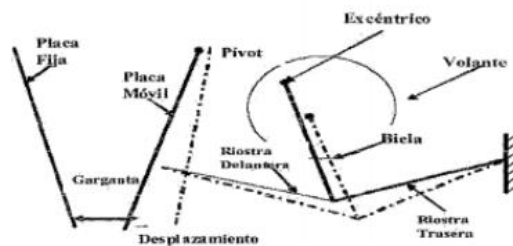


Fig. 5 Principio de funcionamiento - Chancadora Quijada

d) Trituradoras Giratorias de campana

La trituradora giratoria está compuesta por un eje vertical (árbol) con un elemento de molienda cónico llamado cabeza, que está cubierto por una capa de material de alta dureza. El efecto de movimiento excéntrico que le da el motor hace que la cabeza se mueva en forma de elipse. El movimiento máximo de la cabeza ocurre durante la descarga, lo que evita que el material se hinche. Se prefiere en plantas que tratan altos flujos de material porque chanca tiene más capacidad que una trituradora de mandíbulas del mismo tamaño (boca) durante el ciclo completo.

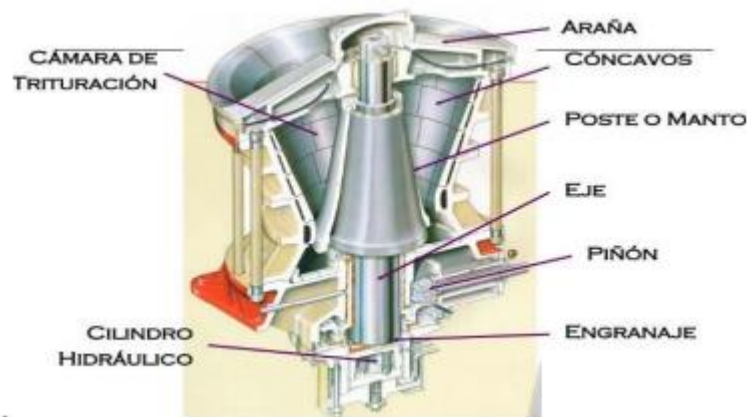


Fig. 6 Estructura de una trituradora cónica
Maquinaria para la Trituración Secundaria

- Trituradoras giratorias de campana

Para producir un producto adecuado, se utilizan trituradoras giratorias de menor tamaño, similares a las utilizadas para la trituración primaria. Además, son menos fuertes que las primarias.

- Trituradoras cónicas

Una trituradora giratoria modificada es una trituradora de cono. La diferencia más notable es el diseño de la cámara de trituración aplanada para lograr una alta capacidad y una alta razón de reducción del material.

El objetivo es reducir el material al mantenerlo más tiempo en la cámara. El eje vertical de esta trituradora es más corto y no está suspendido como en una trituradora giratoria; en cambio, se soporta bajo la cabeza giratoria o cono en un soporte universal.

Además, el cono exterior en la parte superior ya no está abierto porque ya no es necesaria una gran abertura de alimentación. Las trituradoras cónicas tienen una mayor capacidad porque su ángulo entre las superficies de trituración es idéntico. La unidad minera utiliza la unidad Sandvik CH660, un tipo de trituradora cónica adecuado para aplicaciones secundarias de gran capacidad, terciarias de alta reducción o de trituración de roca. También puede combinarse con cambios en la producción seleccionando cámaras de trituración y ajustando el movimiento excéntrico. Esta trituradora es adecuada para usos terciarios y secundarios de alta capacidad.



Fig. 7 Trituradora cónica Sandvik CH660

La unidad Sandvik CH660 es muy versátil y fiable y está diseñada para que pueda recibir servicio fácilmente, lo que permite que el tiempo de actividad del equipo sea lo más largo posible.

El sistema de control de regulación de ajuste automática (ASRiTM) garantiza que la máquina funcione constantemente a niveles óptimos mediante el control del funcionamiento en tiempo real.

Característica de la Chancadora Sandvik:

- Amplia abertura de alimentación.
- La separación de lubricación para los cojinetes de araña.
- Existen todas las cámaras de trituración que requieren una cubierta superior.
- La cubierta superior está resguardada contra el desgaste mediante revestimientos robustos de acero aleado especial.
- La trituradora se encuentra resguardada del polvo por un anillo de sellado autolubricado.
- Operación silente y prolongada durabilidad gracias a los engranajes cónicos con dientes hipoidales endurecidos y cortados en espiral.
- El depósito de aceite para los sistemas de lubricación e Hydroset es un dispositivo autónomo que integra filtros, equipos de calefacción y refrigeración, bombas, monitores de temperatura y caudal y enclavamientos eléctricos.
- Una sobrecarga de manera autónoma. Los datos fundamentales del equipo se presentan en la tabla subsecuente.

Tabla 1: Características Principales del Equipo

| Datos técnicos | |
|--|---------------------------------|
| Capacidad nominal | 211 - 662 mtpH (233 - 730 stph) |
| Max. tamaño de alimentación | 275 mm (10.8 in.) |
| Fuerza de motor | 315 kW (422 hp) |
| Rango de ajuste de lado cerrado (CSS) | 13 - 51 mm (0.5 - 2.0 pulg.) |
| Rango de tiro excéntrico | 18 - 50 mm (0.7 - 1.9 pulg.) |
| Mantos (forros interiores) | A, B, HC, EF, HC |
| Concaves (revestimientos exteriores) | EC, CX, C, MC, M, MF, I |
| Peso | 24,200 kg (53,352 lb) |
| Tanque de lubricación | Estándar |
| Unidad de filtración de lubricación fuera de línea | Opcional |

Cada modelo tiene una cámara de trituración estándar. Al seleccionar la cámara de trituración y el movimiento excéntrico adecuados, las trituradoras pueden adaptarse fácilmente a los cambios en la producción.

El funcionamiento del equipo consta de 7 conjuntos básicos:

- Carcasa superior y araña: su objetivo principal es el sostenimiento del eje principal.
Eje central: Efectúe el proceso de trituración de mineral mediante la presión aplicada entre las planchas de revestimiento.
- Cuerpo inferior: Este dispositivo soporta los conjuntos de excéntrica, eje piñón e hidroset.
- Excentricidad: Elemento que provoca el desplazamiento excéntrico del eje principal.
Ejército-Piñón: Proceda a transmitir el torque al excéntrico proveniente del motor.
HYDROset: Establezca la altura del poste con el cual se llevará a cabo el proceso de chancado.
- Regulación de la lubricación: Proveedor de lubricantes para el conjunto completo del conjunto Proveedor de lubricantes para el conjunto completo

La ilustración presenta el equipo en corte, en el cual la numeración corresponde a la observada en la sección previa.

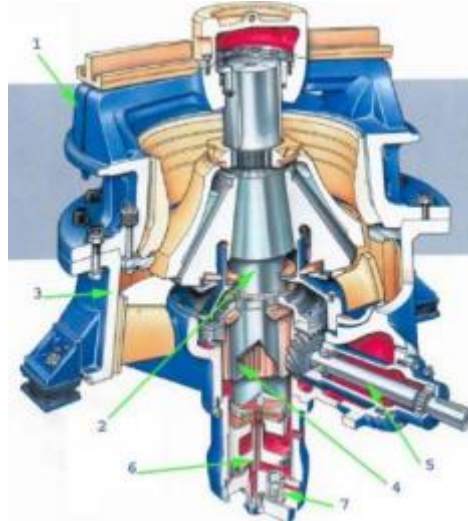


Fig.8 Vista de corte de la Chancadora
Maquinaria para la Trituración Terciaria

- Trituradoras cónicas

Se utilizan trituradoras cónicas del mismo tamaño que las utilizadas en la trituración secundaria para obtener mineral más fino.

- Trituradora de rodillos

Algunas plantas todavía utilizan estas trituradoras, pero las cónicas las han reemplazado. En el modo de funcionamiento, hay dos rodillos horizontales que se mueven en direcciones opuestas. En caso de ingreso de partículas duras, el eje de una de ellas está sujeto a un sistema de resortes que permite ampliar la apertura de descarga. Para evitar el desgaste localizado, los forros cilíndricos de acero al manganeso cubren la superficie de ambos rodillos. La superficie puede ser lisa para la trituración fina, corrugada para la trituración gruesa o dentada para la trituración gruesa.

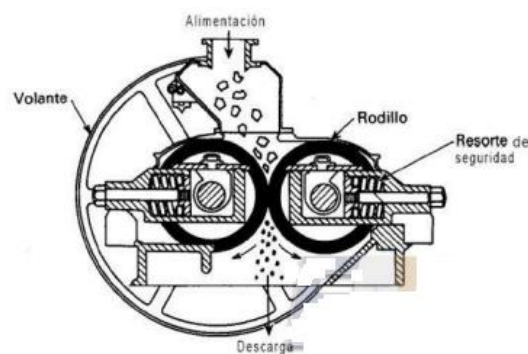


Fig. 9 Trituradora de rodillos

e) Zarandas Vibratorias

El mineral extraído de la mina contiene una gran cantidad de finos que son más pequeños que los que descargan las chancadoras. Si se introdujera esta carga fina en las trituradoras, se generaría un trabajo innecesario para las máquinas, lo que

podría causar deformaciones en las chaquetas de las trituradoras y reducir el espacio disponible para triturar los trozos grandes, que son los que realmente necesitan ser chancados. Estos finos también pueden atorar las chancadoras. Las zarandas vibratorias se utilizan para resolver estos problemas.

El zarandeo es una operación unitaria que permite dividir un volumen de mineral en dos o más flujos según su tamaño al crear un lecho de partículas de mineral que se mueve verticalmente sobre una superficie perforada.

La luz de los cedazos, ya sean rieles o mallas, siempre debe estar relacionada con el tamaño de la descarga de la chancadora. El material que pasa a través de las aberturas se denomina bajo tamaño, mientras que el material retenido en la malla se denomina sobre tamaño. El tamaño que pasa por la primera superficie y queda retenido en la segunda se llama tamaño intermedio cuando hay dos superficies separadoras.

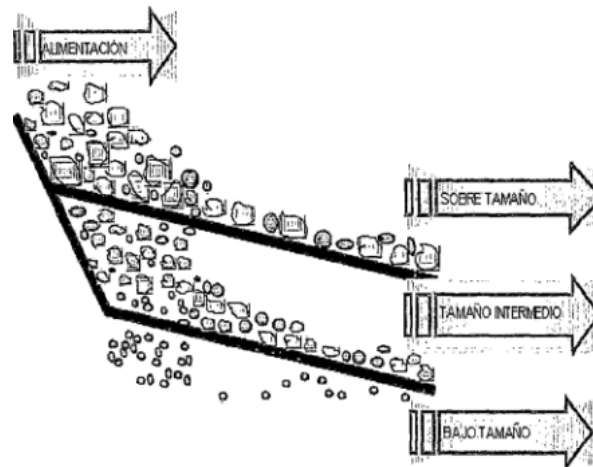


Fig. 10 Clasificación de Zaranda vibratoria

f) Fajas transportadoras

Las bandas y rodillos transportadores son componentes auxiliares de las instalaciones cuya misión es recibir y transportar un producto de manera más o menos continua a otro lugar. Son dispositivos que funcionan por sí mismos, intercalados en las líneas de proceso y generalmente no requieren que ningún operario los maneje de forma continua. Hay muchas formas diferentes de transportar materiales, materias primas, minerales y otros productos, pero el uso de bandas y rodillos transportadores es uno de los métodos más eficientes porque estos elementos son muy fáciles de usar y suelen presentar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento una vez instalados en condiciones normales. Las partes de una faja transportadora se muestran en la figura.

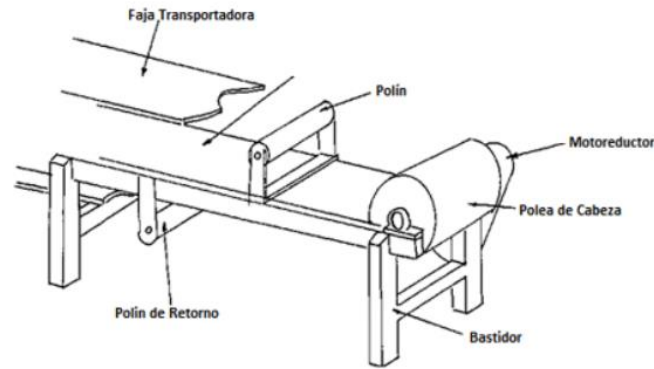


Fig. 11 Partes de una zaranda vibratoria

- Los polines ruedan con la correa con el propósito de minimizar el desplazamiento de la cinta transportadora contra la cual el motor impulsor deberá tirar.
- La polea de cabeza, aunque no siempre, es la polea a la que se encuentra conectada la unidad motriz. El transportador se dirigirá hacia la polea rotatoria. Se sitúa en la extremidad de la descarga del transportador.
- Los polines de retorno son los elementos que sostienen la faja en su lado de retorno del ciclo de transporte.
- El protector de la cola. En este transportador de tipo simple, se ajusta la polea de cola para mantener la alineación y la tensión de la correa.
- La unidad de transmisión de energía, vinculada a la polea de la cabeza, se compone de un motor, un motor reductor y correas de transmisión o cadenas de transmisión.
- La sujeta. Esta es una superficie flexible que se erige en capas alternas de caucho y lona. La lona puede ser de diversos materiales y se incluye en el diseño con el fin de prevenir que la correa se flexione y se fracture.

1.2.3 Marco conceptual

MATLAB MATLAB (MATrix LABoratory)

Se trata de un software enfocado en el cálculo mediante matrices, con una amplia gama de algoritmos que abordan problemas de ingeniería y matemáticas aplicadas. MATLAB incorpora la programación, el cálculo y la visualización en un entorno de uso sencillo que presenta los problemas y soluciones en notas matemáticas. Además, ofrece un entorno interactivo sencillo mediante una ventana, donde podemos introducir órdenes en modo texto y visualizar los resultados. Los gráficos se exhiben en ventanas independientes. MATLAB es un sistema interactivo que se caracteriza por su arreglo que no requiere dimensionamiento previo. Esto facilita la resolución de una amplia gama de problemas de índole computacional, especialmente aquellos que implican vectores y matrices, en un tiempo considerablemente inferior al

requerido para la escritura de un programa en un lenguaje escalar no interactivo como C o Fortran.

Automatización

En la actualidad, los procedimientos de control para la extracción de minerales han experimentado una automatización gradual debido al uso de instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han liberado al operador de su función física directa en la planta, permitiéndole una supervisión más eficaz del proceso desde las salas de control. Esto proporciona al operador habilidades para responder en tiempo real a diversos eventos del proceso, reducir la variabilidad y mejorar el control del proceso, lo cual incrementa la productividad de las plantas de beneficio de minerales. Los sistemas de control discretos, los sistemas de control distribuidos, los sistemas de control digital directo, los sistemas de control avanzados y los sistemas de control expertos constituyen algunos de los instrumentos industriales de medición y control que se emplean habitualmente. La instauración de un sistema de control para una, varias o todas las secciones de una planta facilita la correcta operación de los equipos y la supervisión de los parámetros. Por consiguiente, este sistema está concebido para brindar asistencia al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, entre otras variables que se presenten durante el proceso de producción..

Sistemas de control automáticos

Los sistemas de control automático resultan fundamentales para la administración de los procesos productivos en las instalaciones industriales. La automatización de procesos y la utilización eficaz de los equipos y sistemas asociados incrementan la productividad. En la actualidad, la tecnología facilita la ejecución de diversas estrategias de control que anteriormente resultaban complejas de implementar, particularmente en procesos industriales de alta complejidad. En la actualidad, la puesta en marcha del control automático de procesos industriales se torna cada vez más multifacética, y abarca aspectos técnicos, científicos y económicos. La visita a cualquier industria de procesos insinúa la noción de que la fábrica ya pertenece al futuro, en la medida en que el movimiento y la transformación de materias se llevan a cabo de manera automática.

Diagramas de bloques

Un sistema de control puede estar constituido por múltiples componentes, por lo que un diagrama de bloques representa una representación gráfica de las funciones o modelo matemático (en la variable tiempo $[t]$ o Laplace $s=j\omega$) que cada componente del sistema lleva a cabo, evidenciando las relaciones existentes entre los distintos componentes. Esta representación gráfica posee la ventaja de ilustrar el flujo de las

señales del sistema real, específicamente la entrada y salida. Los bloques funcionales, que comprenden las funciones de transferencia de componentes, se emplean para ilustrar las variables del sistema en un diagrama de bloques.

Controladores Lógicos Programables

Un autómata, también denominado autómata industrial programable API, es una máquina industrial programable que se fundamenta en un sistema que incorpora un microprocesador con hardware estándar independiente del proceso que se pretende controlar. Un programa de usuario específico, elaborado en un lenguaje de programación específico y que contiene la secuencia de operaciones a ejecutar, se emplea para adaptar dicho proceso. La arquitectura interna del autómata se compone fundamentalmente de cuatro componentes fundamentales: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM) y las interfaces de entrada y salida conectadas al bus interno. Este bus interno establece una conexión entre la CPU y la memoria de programa.

Métodos clásicos de control Ziegler-Nichols (Z-N) en lazo abierto

El método de Ziegler-Nichols posibilita el ajuste práctico de un controlador PID sin requerir conocimientos previos de las ecuaciones de la planta o del sistema controlado. Estas normas de adaptación, concebidas por Ziegler y Nichols, fueron publicadas en 1942 y constituyen uno de los métodos de sintonización más populares y empleados. Este procedimiento busca estimar valores para una respuesta al escalamiento en un sistema realimentado con un sobrepulso máximo del 25 %, un valor robusto que presenta excelentes características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas existentes.

El propósito de este procedimiento es obtener una respuesta de amortiguación de un cuarto de amplitud. La modalidad de ajuste de amortiguación de cuarto de amplitud rechaza las perturbaciones con gran rapidez. Sin embargo, el lazo es altamente oscilatorio, lo cual frecuentemente provoca interacciones con los lazos sintonizados de manera similar. La optimización del tipo de amortiguación de amplitud de un cuarto puede resultar en la inestabilidad del lazo si se incrementa la ganancia del proceso o el tiempo muerto.

1.3 Formulación del problema

1.3.1. Problema general:

PG1: ¿El diseño del control del nivel de carga del equipo mejora su producción dentro del proceso de trituración en la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica?

1.3.2. Problemas Específicos

PE1: ¿Cómo va ser su producción del proceso del chancado, ante el diseño del control del nivel de carga del equipo, de la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica?

PE2: ¿El diseño del control del nivel va determinar el nivel real en la primera etapa?

PE3: ¿El diseño del control del nivel de carga del equipo, en la tercera etapa, va mejorar su producción del proceso del chancado en la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica?

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación

Las operaciones de producción deben asegurar que los equipos e instalaciones estén en buen estado de funcionamiento y que operen de manera continua, evitando así interrupciones forzadas o paradas inesperadas en los procesos de producción. El propósito de esta investigación es crear un plan de mantenimiento que maximice la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas y les permita estar en buen estado de funcionamiento la mayor parte del tiempo y cumplir de manera más efectiva el propósito para el cual fueron diseñadas.

A nivel Práctico. El estudio justifica que con la capacitación al personal se podrá intervenir eficientemente en orden jerárquico la criticidad de la maquinaria logrando resultados confiables en reducción de las fallas y de las paradas imprevistas de operación de planta.

Nivel Teórico. El presente estudio justifica teóricamente basadas al área de mantenimiento ofreciendo conocimientos sustentados con enfoques de formulación, planteamiento y demostración, esto, con la finalidad de aclarar el tema con lo que a mantenimiento se refiere.

A nivel Económico. El proyecto sustenta que es viable porque no demanda de gran inversión, además de obtener resultados favorables en la disponibilidad, producción y en la reducción de fallas, la herramienta asegura la administración del mantenimiento en la compañía.

A nivel Metodológico. Se fundamenta en una investigación cuantitativa tipo aplicada, sus resultados podrán servir de base a otras investigaciones que traten del tema de fallas e implementación del plan de mantenimiento preventivo.

1.4.2 Importancia

Debido a su relevancia, el estudio actual proporcionará información valiosa y una capacidad de síntesis sobre el tema en cuestión, ya que se busca explicar al menos las condiciones bajo las cuales se espera obtener conocimientos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar el control del nivel de carga del equipo para que se mejore su producción del proceso del chancado de la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica.

1.5.2 Objetivos específicos

OE₁: Describe su producción del proceso del chancado, antes del diseño del control del nivel de carga del equipo, de la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica.

OE₂: Diseñar el transmisor del nivel y determinar si su nivel corresponde con el nivel real.

OE₃: Determinar si su diseño del control de carga del equipo, va mejorar su producción del proceso del chancado de la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica

1.6 Hipótesis y variables de la investigación

1.6.1 Hipótesis

Hipótesis general:

Implementar el control de nivel de carga del equipo va mejorar su producción del proceso del chancado de la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica.

Hipótesis específicas:

HE₁: El implementar el transmisor del nivel va determinar que su nivel medido corresponde al nivel real.

HE₂: Determina la velocidad del alimentador vibratorio con relación al nivel.

HE₃: El implementar el control del nivel de carga del equipo, va mejorar su producción del proceso del chancado en la Unidad Minera Cerro Lindo.

1.6.2 Variables

Identificación de las variables

Variable Independiente

Control nivel de carga.

Variable Dependiente

Producción de mineral en finos.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

2.1 Tipo, Nivel y Diseño de Investigación:

2.1.1 Tipo de Investigación

Para el trabajo, su objetivo principal radica en la resolución de problemas prácticos en la planta. De esta manera, genera una contribución significativa para la empresa.

2.1.2 Nivel de Investigación

La estructura de la investigación es experimental, ya que se manipula una de las variables independientes. Además, se ejerce control absoluto sobre dicha variable y se ejerce influencia directa para observar sus efectos sobre la variable dependiente.

2.1.3 Diseño de Investigación

El método empleado es el transversal, ya que recopila información en un solo instante y en un tiempo único. El objetivo de este procedimiento es caracterizar variables y examinar su incidencia e interrelación en un instante específico.

2.2. Población y muestra

El proyecto es experimental no es necesario precisar la muestra y población)

2.3 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El trabajo de Investigación se realizará en la Planta Concentradora – Unidad Minera Cerro Lindo, Ica.

2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de información

La recopilación de datos se realizó a través de la organización, personas, bibliografía y manuales de equipos consultados. La metodología empleada para la recopilación de datos es la observación experimental, ya que produce datos bajo condiciones relativamente controladas, especialmente dado que puede manipular la o las variables en cuestión. La hoja o ficha de registro de datos e históricos se emplea como instrumento en una base de datos.

2.5 Análisis y procesamiento de datos

Se lleva a cabo la recopilación de datos utilizando el software Excel para la recolección de datos, así como la herramienta System Identification Toolbox y PID-Tuner de Matlab en el procesamiento de los datos.

III. RESULTADOS

3.1 Resultados descriptivos

Para alcanzar los objetivos establecidos al comienzo de la tesis, se procedió a vaciar la información adquirida a través de la información de campo, el sistema ASRI y el programa de cálculo MATLAB, para su análisis e interpretación. Adicionalmente, se elaboran representaciones gráficas para optimizar la comprensión de los resultados. Los resultados se presentan en secuencia, comenzando con el primer objetivo, seguida por el segundo, el tercero, y así sucesivamente.

3.1.1 Describir la producción en el proceso de chancado, antes del diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la Unidad Minera Cerro Lindo

En el área de trituración de la unidad minera Cerro Lindo, se producen en promedio 6200 toneladas por día, tal como se registra en una balanza dinámica al ingreso del circuito de trituración. Se observa en la pantalla del Panel ASRI la presión ejercida por el trompo del hidrosset para triturar el mineral, en una tendencia ascendente.



Fig. 12 Panel ASRI chancadora terciaria

Se constata la variación no homogénea de la variable principal de la chancadora, la "Presión" del Hydroset, que propulsa el trompo para mantener el Set-Point (apertura de la chancadora).

3.1.2 Diseñar un transmisor de nivel y determinar si el nivel es medido corresponde con el nivel real, en la primera etapa.

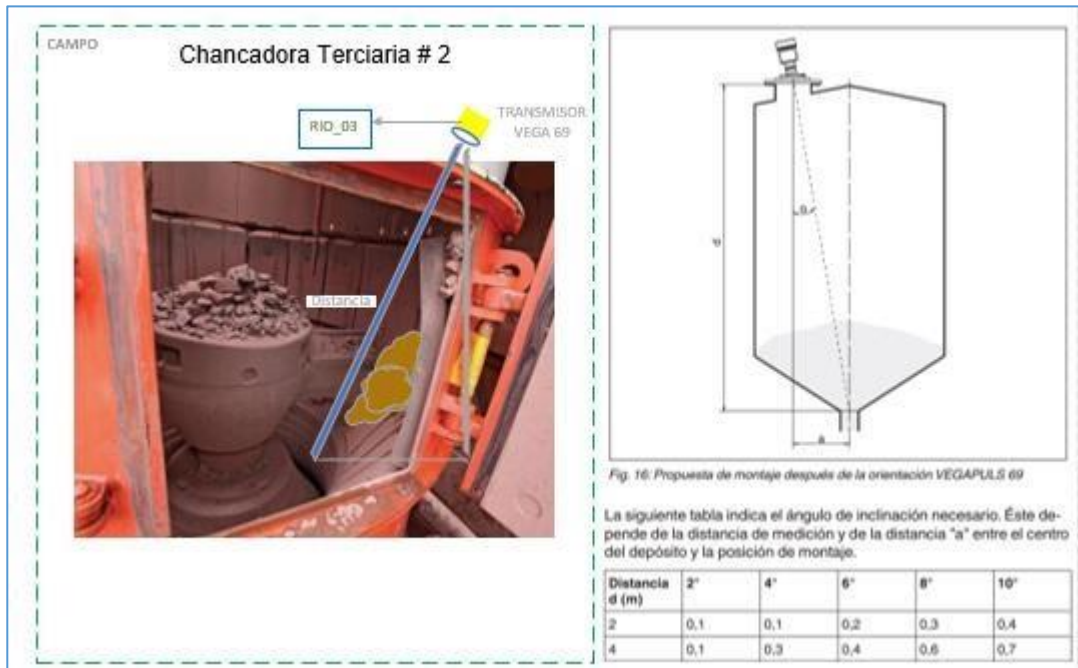


Fig. 13 Instalación de transmisor de nivel

Se ha procedido a la instalación del transmisor de nivel de la chancadora #2 y se ha efectuado la conexión hasta el RIO_03 del PLC ControlLogix. La configuración de los parámetros del transmisor se lleva a cabo.

D=Distancia medida del transmisor

Ts = 1s

Tipo = granulado

Nivel_{Mín} = 0.50m

Nivel_{Máx} = 1.20m

Altura deposito = 1.20m

Nombre Equipo

Tipo de medio



Aplicación



Formas de deposito



Altura



Nivel máximo



Nivel mínimo



Tiempo de Integración



Fig. 14 Configuración de transmisor de nivel

Fuente: Elaboración propia

Se corroboran sus datos de campo mediante el equipo transmisor, donde la información se envía al PLC.



Fig. 15. Nivel mínimo de Chancado de Chancadora Terciaria

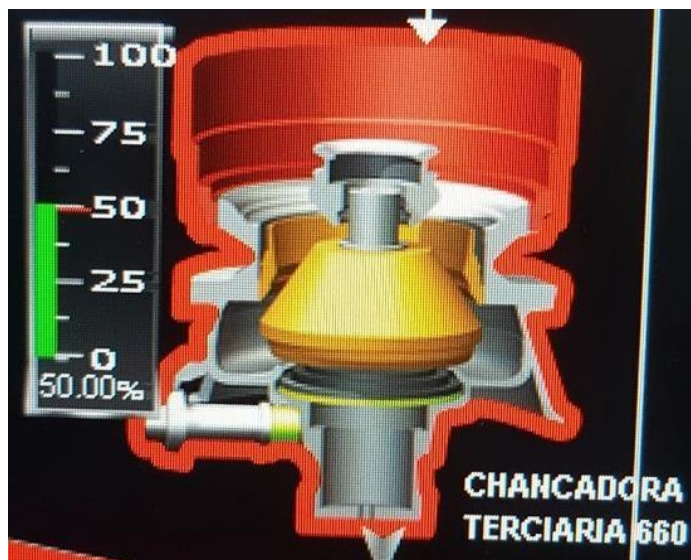


Fig. 16 Nivel intermedio de Chancado de Chancadora Terciaria

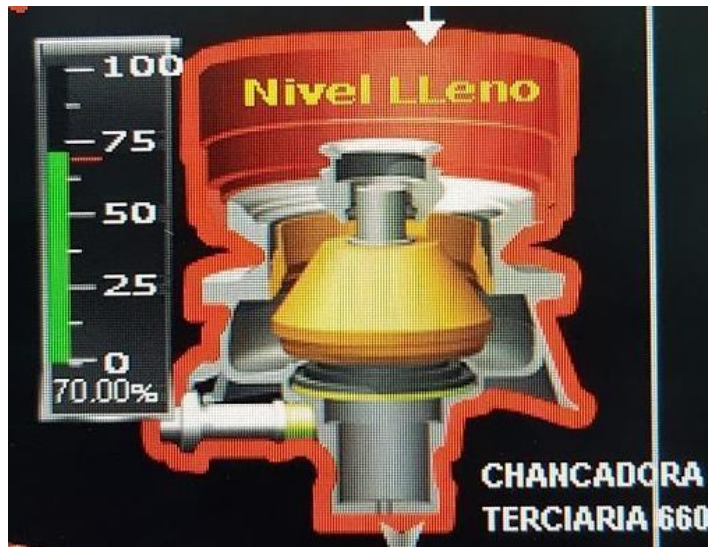


Fig. 17 Nivel máximo de Chancado de Chancadora Terciaria



Fig. 18 Instalación física del transmisor de nivel sobre la chancadora

Se realiza el Escalado Lógico en el PLC de la Señal de corriente 4-20mA a Porcentaje.

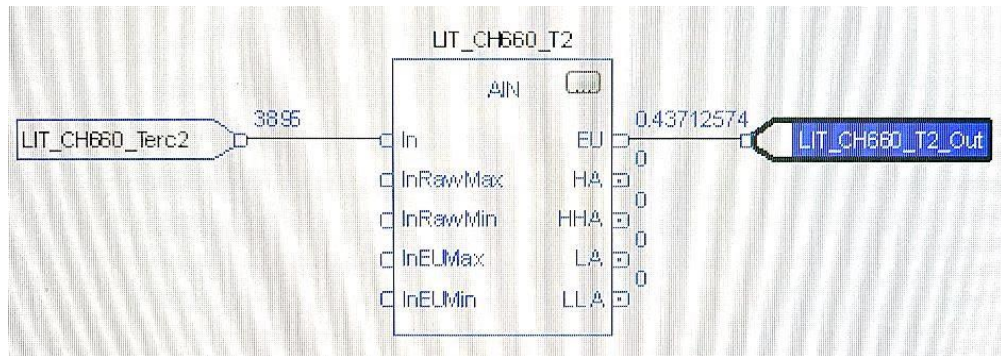


Fig. 19 Diagrama de bloques de escalado de nivel

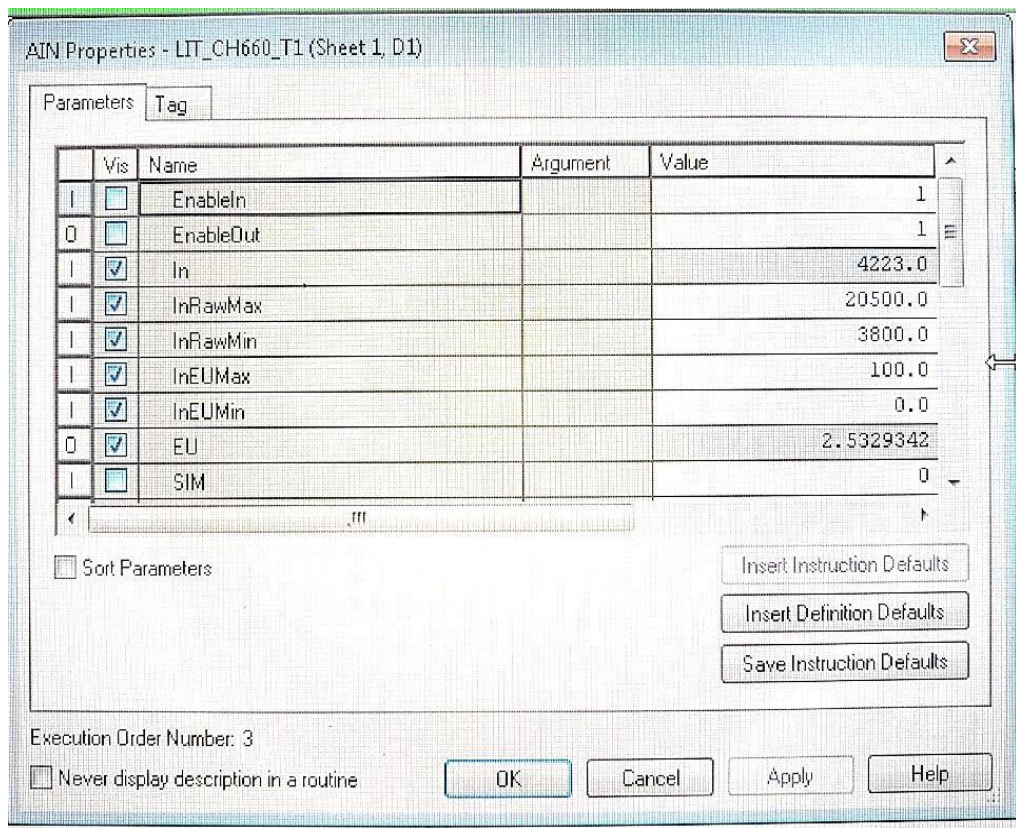


Fig. 20 Configuración de parámetros de escalado de nivel

Se efectúa su configuración de sus parámetros del bloque de escalamiento.

- EnableIn: Habilita la lectura de la entrada.
- EnableOut: Habilita la lectura de la entrada.
- In: Lectura de la entrada (INT de 13Bits).
- InRawMáx: Valor de entrada máxima de escalamiento.
- InRawMín: Valor de entrada mínima de escalamiento.
- InEUMáx: Valor de salida máxima de escalamiento.
- InEUMín: Valor de salida mínima de escalamiento.
- EU: Lectura de la salida (Real).

3.1.3 Determinar la velocidad de los alimentadores vibratorios respecto al nivel, en la segunda etapa.

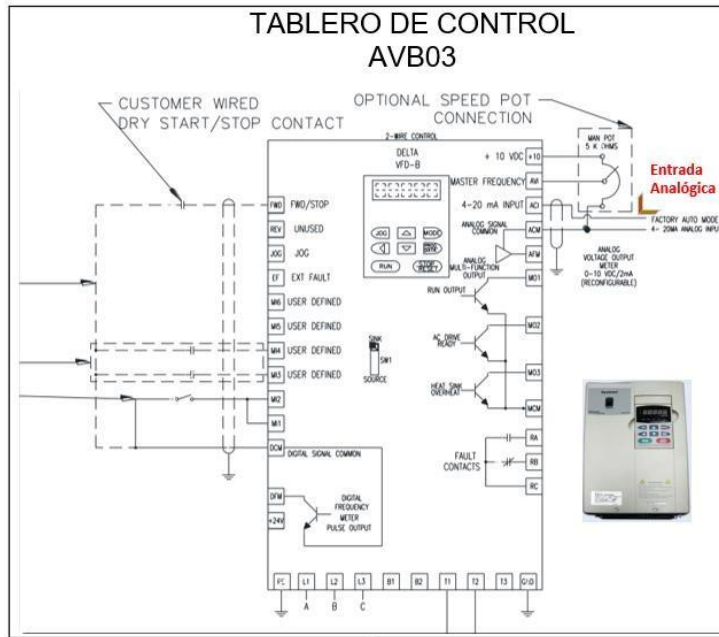


Fig. 21 Instalación de señal hacia el variador (evf),

Fuente: Elaboración propia

Se lleva a cabo la conexión del alimentador vibratorio hasta el RIO_05 del Controlador Lógico Programable.

Se lleva a cabo la configuración del EVF, se exhiben los parámetros correspondientes.

Se verifican los datos de campo mediante el set de velocidad en el variador (EVF) y el equipo transmisor. Dicha corroboración se lleva a cabo utilizando un calibrador de procesos.

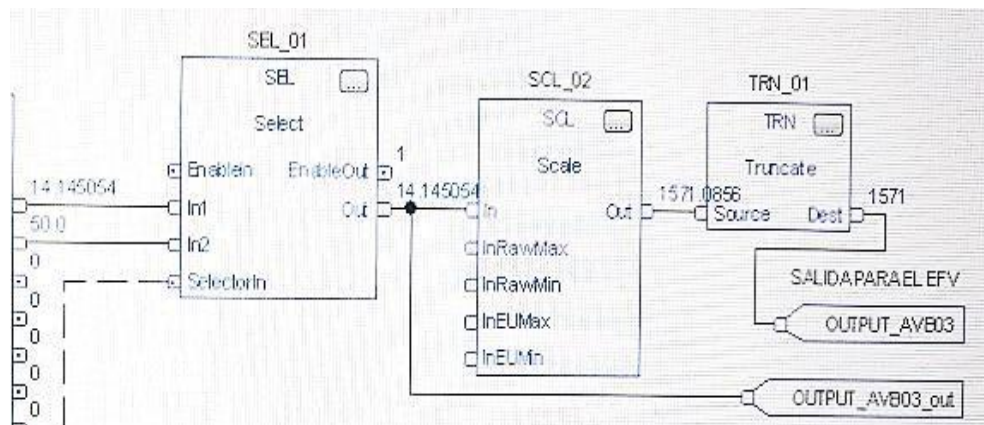


Fig. 22. Lógica de desescalamiento de salida del PLC hacia el Variador

Fuente: Elaboración propia

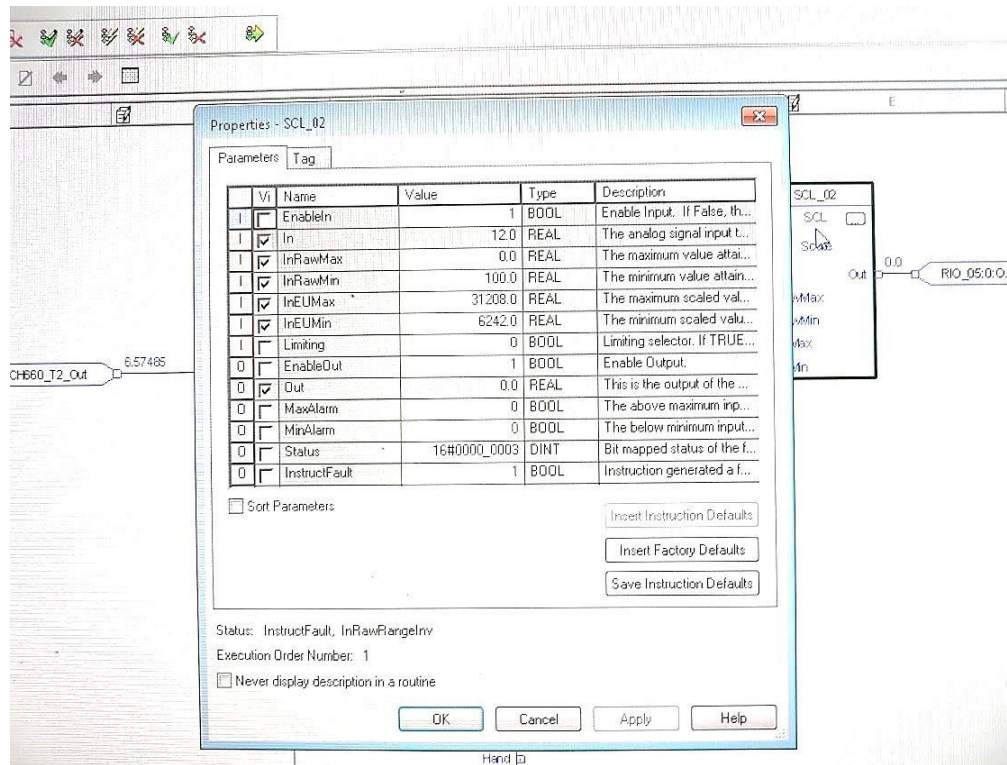


Fig. 23 Configuración de parámetros de desescalado de variador

Fuente: Elaboración propia

Se hace su configuración del parámetro del bloque de desescalamiento.

- EnableIn: Habilita la lectura de la entrada.
- EnableOut: Habilita la lectura de la entrada.
- In: Lectura de la entrada (Real).
- InRawMáx: Valor de entrada máxima desescalamiento.
- InRawMín: Valor de entrada mínima desescalamiento.
- InEUMáx: Valor de salida máxima desescalamiento.
- InEUMín: Valor de salida mínima desescalamiento.
- EU: Lectura de la salida (Real)



Fig. 24 Variador de velocidad EVF-25D

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Determinar si el diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera Cerro Lindo.

Importar los datos obtenidos en campo en una tabla Excel.

Realizarse la respuesta de escalón hasta un 50% del nivel para el diseño.

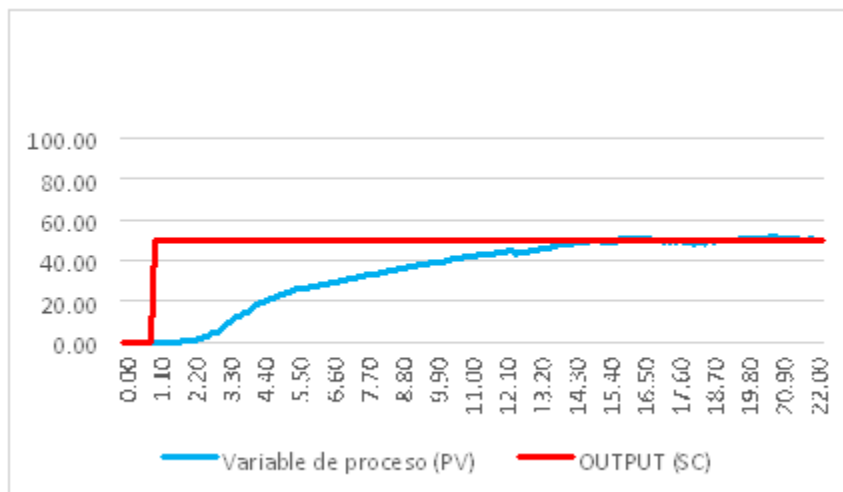


Fig. 25 Respuesta en el tiempo de la variable de proceso. Excel

Fuente: Elaboración propia

Importar los datos desde el Excel a MATLAB por cada columna. (PV: Variable de proceso, OUTPUT: Salida del Variador de velocidad)

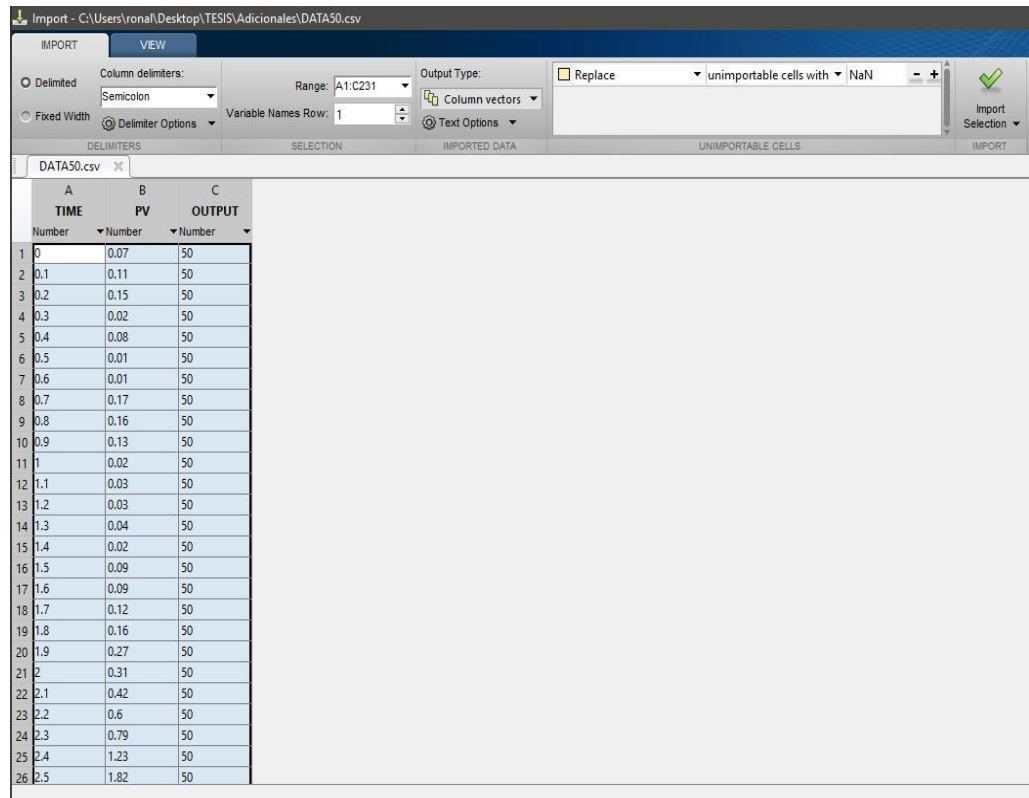


Fig. 26 Importación de datos a Matlab

Fuente: Elaboración propia

Obtener su función de transferencia que describe su proceso mediante la herramienta System identification de MATLAB.

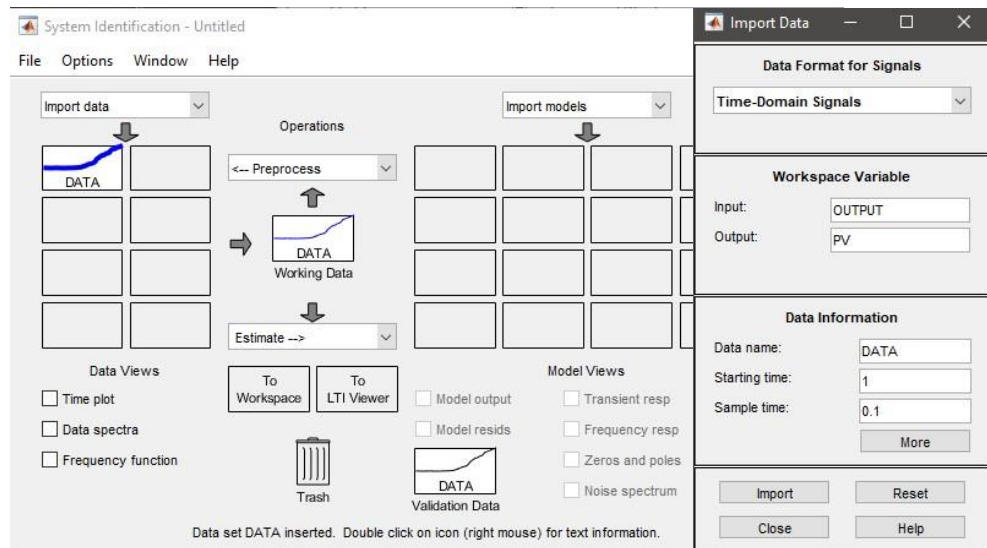


Fig. 27 Sistema de identificación de en el dominio del tiempo

Fuente: Elaboración propia

```

>> PID2

PID2 =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 1.1189
      Tp1 = 7.5565
      Td = 0.05

Name: PID2
Parameterization:
  'PID'
  Number of free coefficients: 2
  Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "DATA".
Fit to estimation data: 85.22%
FPE: 6.679, MSE: 6.508

```

Fig. 28 Diseño generado por MATLAB

Fuente: Elaboración propia

```

G =

From input "u1" to output "y1":
      1.119
exp(-0.05*s) * -----
              7.556 s + 1

Name: PID2
Continuous-time transfer function.

```

Fig. 29 Función de transferencia del diseño generado por MATLAB

Fuente: Elaboración propia

- Usar la herramienta PID-Tuner de MATLAB para sintonizar el parámetro automáticamente.

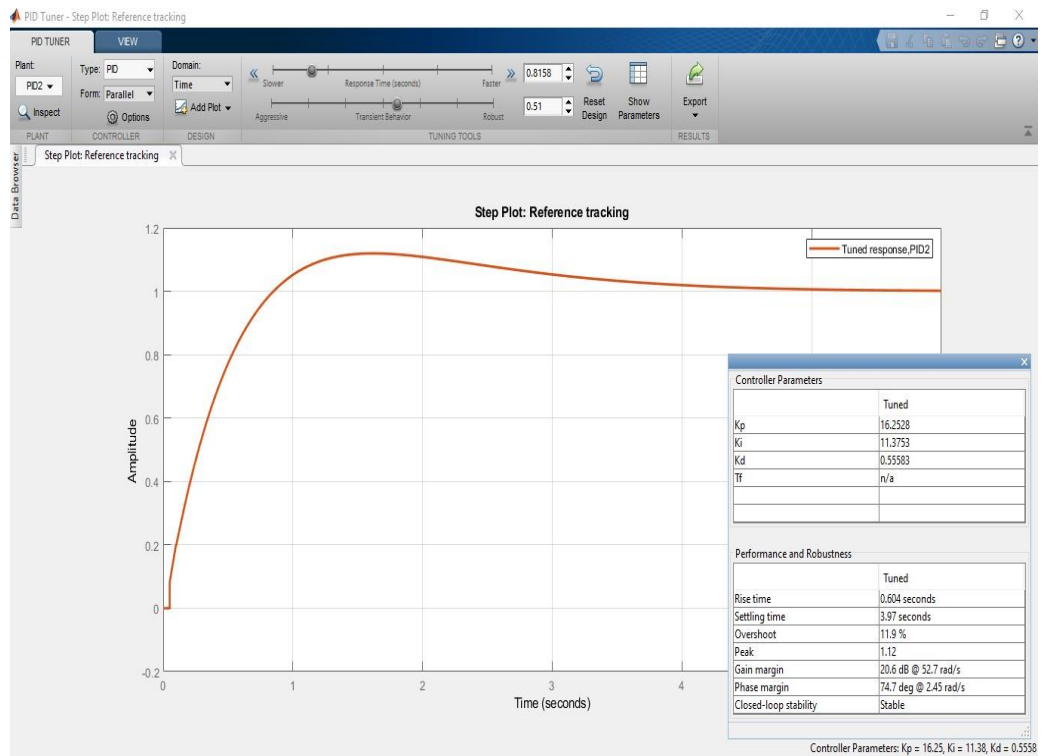


Fig. 30 Sintonización del PID generado por MATLAB con la herramienta PID Tuner.

Fuente: Elaboración propia

- Lógica de programación mediante el software RsLogix 5000 para el PLC ControlLogix

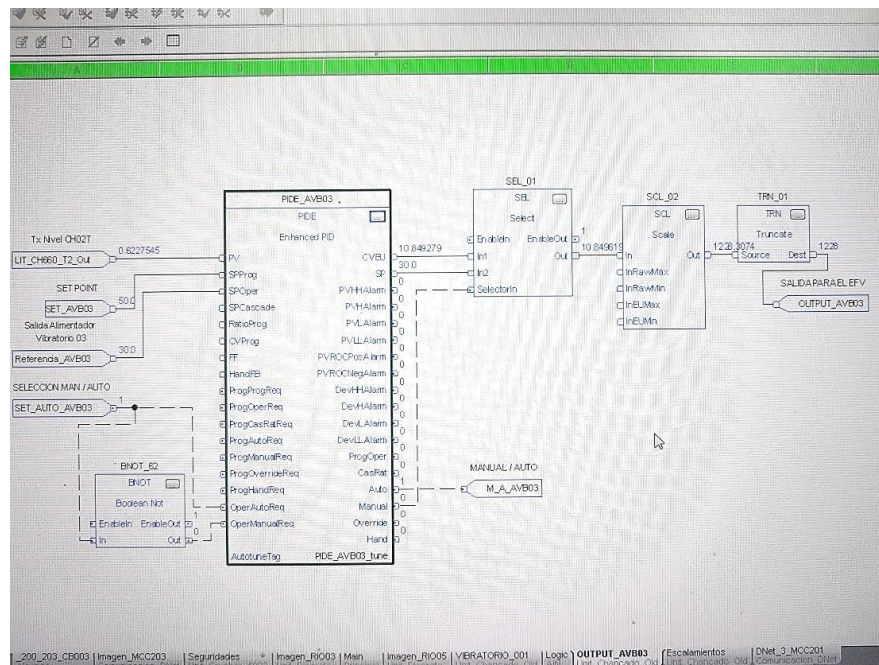


Fig. 31 Diseño en el PLC para el lazo de control de Nivel.

Fuente: Elaboración propia

- Diseño mediante SCADA Orchestra Intouch 2012 R2 para el control, supervisión y monitoreo de variables y estados del sistema de control.

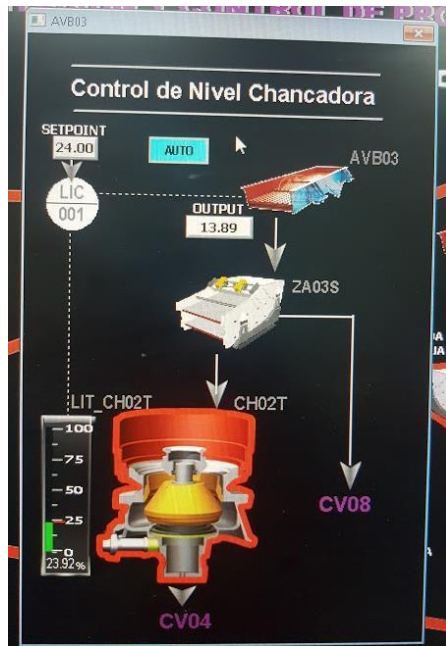


Fig. 32 Diseño en el SCADA Archestra Intouch 2012 R2

Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Describir la producción en el proceso de chancado, después del diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la Unidad Minera Cerro Lindo.

Efectuar una alimentación continua hacia la maquinaria de trituración.

Se pretende mantener un nivel en la cámara de trituración de la planta de trituración.

Efectuar un lazo de control de nivel en la maquinaria de trituración.

La evaluación de la tendencia de la variable principal de la chancadora es esencial.

El sistema de control automático proporcionará la operación del proceso confiable en comparación con el control manual, al garantizar condición de operación estable y rectificar cualquier perturbación o desviación que pudieran surgir en ellas en relación con valores de referencia.

3.2 Resultados inferenciales

Contrasta el nivel medido con el nivel real.

Tabla II

Datos de campo de nivel de la chancadora

| Ítem | Nivel Medido | Nivel Real |
|------|--------------|------------|
| 1 | 0% | 0.38% |
| 2 | 10% | 10.31% |
| 3 | 20% | 20.20% |

| Ítem | Nivel Medido | Nivel Real |
|------|--------------|------------|
| 4 | 30% | 29.97% |
| 5 | 40% | 40.10% |
| 6 | 50% | 50.0% |
| 7 | 60% | 60.13% |
| 8 | 70% | 70.00% |
| 9 | 80% | 80.15% |
| 10 | 90% | 90.14% |
| 11 | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza el monitoreo y se verifica la velocidad con el nivel medido.

Tabla III

Datos de campo de la velocidad respecto al nivel de la chancadora

| Ítem | Velocidad | Nivel Medido |
|------|-----------|--------------|
| 1 | 0% | 0% |
| 2 | 10% | 10.5% |
| 3 | 20% | 20.6% |
| 4 | 30% | 30.4% |
| 5 | 40% | 40.8% |
| 6 | 50% | 50.6% |
| 7 | 60% | 60.2% |
| 8 | 70% | 70.9% |
| 9 | 80% | 80.5% |
| 10 | 90% | 90.7% |
| 11 | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración Propia

Se verifican sus datos de campo mediante el set de velocidad en el variador (EVF) y el equipo transmisor, utilizando un calibrador de procesos Fluke 715.

Se lleva a cabo una escalabilidad hasta el 50% del nivel correspondiente al diseño. Esquema de la potencia media en comparación con la potencia consignada de la chancadora Sandvik.



Fig. 33 Gráfico de presión promedio vs potencia consigna de la chancadora Sandvik

Fuente: Elaboración propia

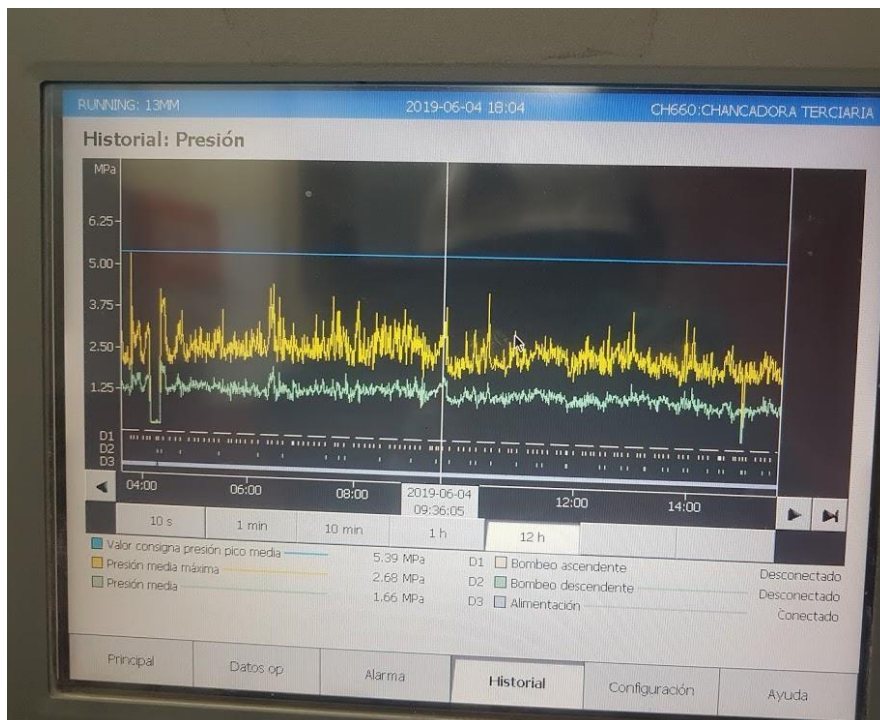


Fig. 34 Gráfico de los parámetros principales de la chancadora Sandvik

Fuente: Elaboración propia

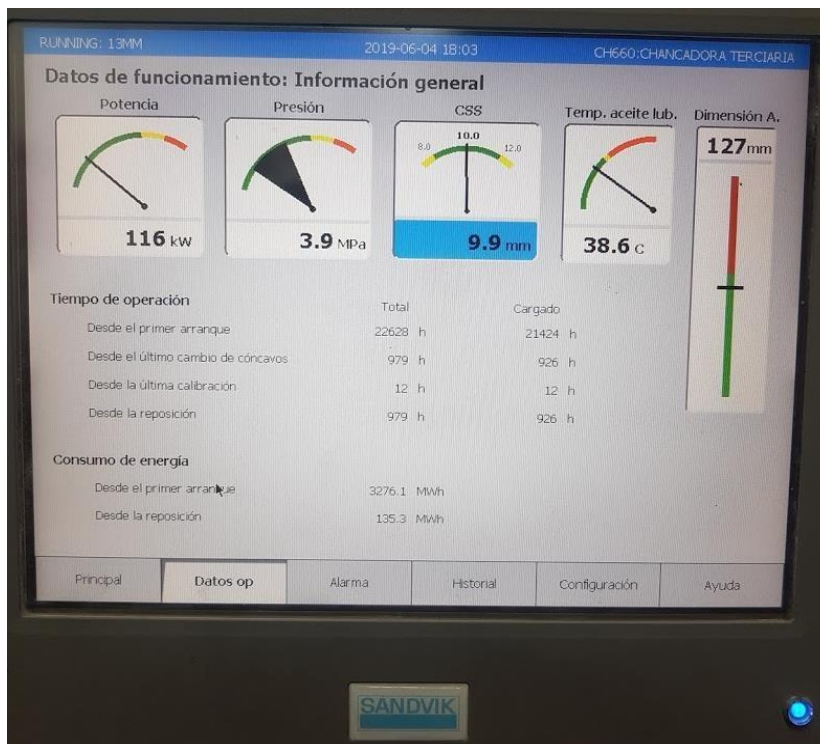


Fig. 35 Pantalla de operación de la chancadora Sandvik

Fuente: Elaboración propia

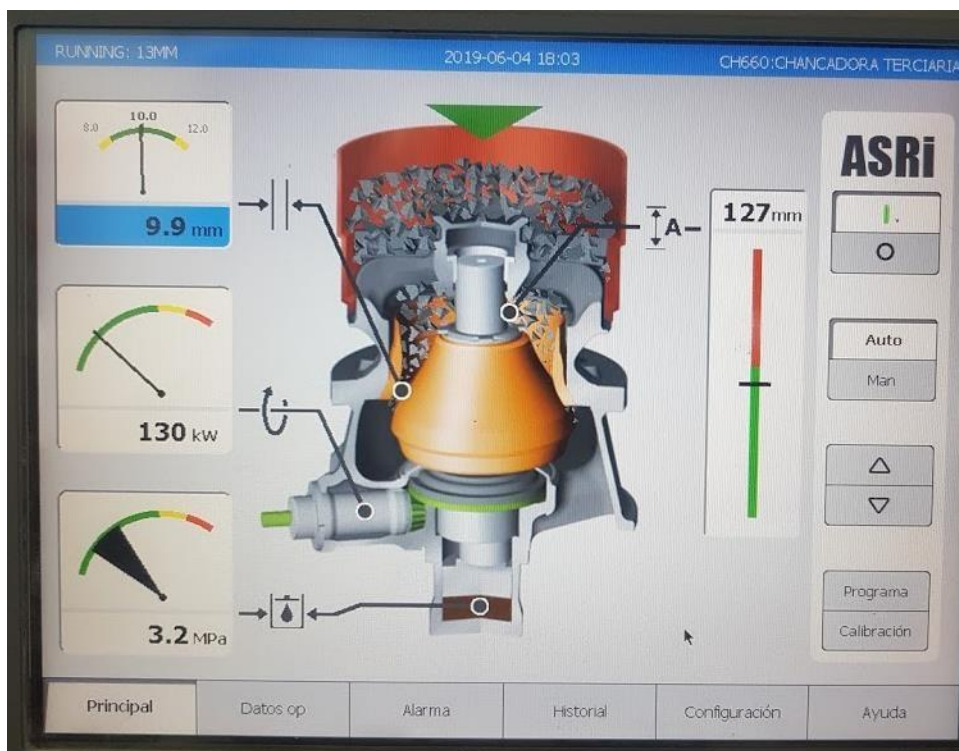


Fig.36 Chancadora Sandvik Fuente: Elaboración propia

3.3 Otro tipo de resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.

El promedio de producción diaria es de 6200 TPD. Con el fin de mantener y optimizar el proceso de trituración, se lleva a cabo la documentación de los tiempos de trabajo de la chancadora, lo que resulta en la producción objetivo del día.

ThorasCH660= 18 horas de efectivo trabajo

ThorasCH660=3 horas (Horas programadas de mantenimiento)

ThorasCH660=2 horas (Suspendida por la intervención quirúrgica)

ThorasCH660=1 Horas (Horas no programadas de mantenimiento)

Nivel Chancadora: 50% de la capacidad de la chancadora.

Esta información garantiza su producción del día del departamento de operaciones.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Al detallar su producción durante el proceso del chancado, han de supervisar la tendencia de sus variables fundamentales de la chancadora, tales como la Presión, la Temperatura y la Abertura del Chancado. Se observan anomalías y daños en sus componentes, así como el cuello de botella del proceso que impide cumplir con su objetivo diario de mineral triturado.
- Se lleva a cabo instalación del transmisor de nivel con la finalidad de supervisar de manera continua su nivel en la cámara de la chancadora y utilizarlo como variable principal del lazo a controlar, logrando un resultado satisfactorio en su medición y aplicación de su procedimiento.
- Se lleva a cabo su evaluación de velocidad del alimentador vibratorio con el nivel de la cámara de trituración con el fin de obtenerse datos de correlación de la variable, los cuales servirán como base del diseño del lazo de control.
- Se lleva a cabo el diseño del lazo de control de nivel de la chancadora mediante el uso de herramientas computacionales como Excel y MATLAB, con el fin de obtenerse sus parámetros PID y simular el controlador del proceso.
- Las normas proporcionadas por Ziegler y Nichols, proporcionan la perspectiva sobre una correlación efectiva entre parámetros de sintonización P, I y D y características operacionales del proceso.
- Conforme de sus evaluaciones efectuadas, se determinó que el diseño exhibe resultados con un rendimiento apropiado y uniforme a través de los diversos sistemas controlados. Se corrobora la respuesta a la escalabilidad del lazo de control y la concordancia con el modelo generado utilizando el software MATLAB correspondiente.
- Al implementar el lazo de control de nivel en la chancadora, será posible incrementar la producción de mineral en esta fase del proceso. Se logrará un incremento del 30% en la producción, una uniformidad del mineral del 40% y tendencia aceptable para sus variables principales de la chancadora, que resultará en el proceso eficiente.

4.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

- El propósito de cada planta concentradora es alcanzar una producción superior y constante a lo largo del tiempo. Para la planificación de una gran cantidad de actividades de producción, el área de chancado constituye el proceso significativo de cada unidad minera.

- El mantenimiento del control y la realización de un seguimiento constante del proceso contribuyen a la toma de decisiones más acertadas en un proceso. La implementación de sistemas avanzados de control facilita una visión clara de la tecnología y sus aplicaciones.
- La automatización de procesos industriales es un área extensa y la industria minera se destaca como un foco de innovación para la implementación de mejoras en sistemas y procesos. Se destacan por ser pioneros en innovaciones y métodos para otras industrias.

V. CONCLUSIONES

- a) Los equipos de chancado y molienda su consumo de energía es bastante elevado en sus operaciones, esta situación se acrecienta al procesar mayor cantidad de mineral y entre mayor sea el grado de dureza. Por tal motivo, los adelantos tecnológicos tienden a lograr una mayor eficiencia energética, así como a disminuir la generación de polvo y el menor consumo de agua en los procesos.
- b) El aumento de la producción del concentrado de cobre en las empresas mineras se debe al mejoramiento de procesos en la planta de producción, y está dirigida a procesos anteriores de producción que son: Cancha de minerales, balanza y circuito de chancado; con la finalidad de aumentar la eficiencia y minimizar los costes de los procesos propios a dichas áreas, aumentando la capacidad por procesamiento de mineral.
- c) La prueba y puesta en marcha de las nuevas hidrocuciones, el cual tiene la función de la separación del mineral, y esto gracias a la velocidad de rotación que produce.
- d) La capacidad de la Planta de Beneficio hasta la capacidad máxima de procesamiento de 1800 TM/D, y su función de los requerimientos del mercado y establecimiento un punto de equilibrio para la empresa.

VI. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda lo más pronto posible Implementar la propuesta planteada, sustentando que estaría aumentando la disponibilidad de los equipos de un 94.65% a un 98.71% en los plazos planteados asociado a muchas mejoras que irían en concordancia a esta mejora.
- b) Cambiar mensualmente las técnicas de control visual que contiene los paneles de Control Visual de cada área implementada, con el objetivo de mantener constantemente informado al personal sobre instrucciones que deben seguir y sobre como sus esfuerzos afectan a los resultados.
- c) Mejorar la comunicación entre las áreas involucradas, de manera que si surge cualquier eventualidad se puedan tomar acciones para minimizar el impacto y así poder dar cumplimiento a lo planificado en las paradas.
- d) Uniformizar el tamaño de partículas para evitar atascos y mejorar la eficiencia del proceso de trituración.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Agudelo Olarte, C. (2019). Mejora del proceso de planeación y programación de mantenimiento dentro de la empresa Faismon SAS.
- [2] Salgado, C. A. L. (2019). Un modelo de optimización dinámica para la planificación eficiente de tareas de mantenimiento de aviones (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile))
- [3] Delgado Robles, Carlos Roberto, et al. Evaluación de un cambio tecnológico para el procesamiento de minerales de alta pureza. 2013.
- [4] Guaitarilla Soto, J. D. (2019). Plan de mantenimiento preventivo para la maquina industrial de la empresa Fluoroplasticos SAS.
- [5] Zela Toledo, A. F. (2017). Planificación y programación del mantenimiento de instrumentación de la planta de chancado primario compañía Antapaccay.
- [6] Ruiz Rodríguez, P. I. (2018). Planificación del mantenimiento preventivo para los neumáticos de la flota de tractocamiones para optimizar su disponibilidad de la empresa grupo transpesa sac.
- [7] Páez Espinal, V. L. (2011). Desarrollo de un sistema de información para la planificación y control del mantenimiento preventivo aplicado a una planta agroindustrial.
- [8] Rojas Fernández, J. L. (2019). Diseño e Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo del sistema de filtrado de la EmpresaTalsa (Fundo UPAO) para incrementar su productividad y reducir costos de operación.
- [9] Uscovilca, A., & Enrique, J. (2021). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de disponibilidad en flota de grupos electrógenos del área de mantenimiento eléctrico mina en la Unidad Minera Las Bambas.
- [10] Torres Huamaní, M. Á. (2017). Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en reductores del sistema conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú SAA.
- [11] Herrera Salas, J. D. (2019). Elaboración de un plan de mantenimiento correctivo programado de motores eléctricos síncronos de 1250 HP para la empresa minera–Metalúrgica Shougang Hierro Perú SA, 2018.