

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UN CONTROL DE NIVEL DE CARGA DE LA
CHANCADORA SANDVIK PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN
EL PROCESO DE CHANCADO EN LA UNIDAD MINERA EL
PORVENIR”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

BACHILLER:

RONALD ELEAZAR LORA VERAMENDI

CALLAO, 2019

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a mi madre, por ser la inspiración y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis hermanos (as) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a nuestros profesores, colegas y amigos, quienes nos motivaron para llevar a cabo esta investigación.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional del Callao, a toda la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica por ser la casa donde pude lograr mi objetivo

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al M.Sc. Ing. Russell Córdova Ruiz, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE	6
TABLAS DE CONTENIDO	9
TABLA DE FIGURAS	10
RESUMEN	12
ABSTRAT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Descripción de la realidad problemática	15
1.2 Formulación del problema	16
1.2.1 Problema general	16
1.2.2 Problemas específicos	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Limitantes de la investigación.....	18
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes del estudio	19
2.2 Bases Teóricas.....	24
2.2.1 Descripción de la Unidad Minera	24
2.2.2 Descripción de la Planta Concentradora	27
2.2.3 Chancado.....	27
2.2.4 Molienda.....	43
2.2.5 Flotación.....	44
2.2.6 Filtrado	45
2.3 Conceptual	46
2.3.1 MATLAB.....	46
2.3.2 Automatización.....	49
2.3.3 Sistemas de control automáticos	49
2.3.4 Métodos clásicos de control	53
2.3.5 Diseño e implementación de un lazo de control	60

2.3.6	Normativas internacionales: Instrumentación, Sistemas y Automatización	64
2.3.7	Instrumentación Industrial	64
2.3.8	Sistema ASRi	66
2.4	Definición de términos básicos	68
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	75
3.1	Hipótesis general e hipótesis específicas	75
3.1.1	Hipótesis general	75
3.1.2	Hipótesis específicas	75
3.2	Definición de las variables	75
3.2.1	Operacionalización de variables	76
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	77
4.1	Tipo y diseño de investigación.....	77
4.1.1	Tipo de la Investigación.....	77
4.1.2	Diseño de la Investigación	77
4.2	Método de investigación.....	77
4.3	Población y muestra	77
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	77
4.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de información	77
4.6	Análisis y procesamiento de datos	78
V.	RESULTADOS.....	79
5.1	Resultados descriptivos.....	79
5.2	Resultados inferenciales	92
5.3	Otro tipo de resultados estadísticos de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.....	95
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	96
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	97
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	97
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS.....		101
Anexo 1.	Matriz de Consistencia.....	102

Anexo 2. Base de datos.....	104
Anexo 3. Otros anexos	110

TABLAS DE CONTENIDO

<i>Tabla 1: Características Principales del Equipo</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2: Valores de sintonía en lazo abierto</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3. Tipos de Instrumentos.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4. Datos de campo de nivel de la chancadora</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5. Datos de campo de la velocidad respecto al nivel de la chancadora .</i>	<i>93</i>

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Línea de tiempo - Compañía Minera Milpo S.A.A</i>	25
<i>Figura 2. Ubicación de unidades mineras y proyectos cupríferos</i>	26
<i>Figura 3. Chute de carga del alimentador vibratorio</i>	28
<i>Figura 4. Alimentador Vibratorio</i>	29
<i>Figura 5. Según la ubicación de la placa móvil</i>	31
<i>Figura 6. Trituradora de mandíbulas</i>	32
<i>Figura 7. Principio de funcionamiento - Chancadora Quijada</i>	32
<i>Figura 8. Estructura de una trituradora cónica</i>	33
<i>Figura 9. Trituradora cónica Sandvik CH660</i>	34
<i>Figura 10. Vista de corte de la Chancadora</i>	37
<i>Figura 11. Diagrama funcional de bloques de la Chancadora</i>	37
<i>Figura 12. Trituradora de rodillos</i>	38
<i>Figura 13. Clasificación de Zaranda vibratoria</i>	39
<i>Figura 14. Partes de una zaranda vibratoria</i>	40
<i>Figura 15. Partes de una zaranda vibratoria</i>	41
<i>Figura 16. Tolva de gruesos</i>	42
<i>Figura 17. Tolva de finos</i>	43
<i>Figura 18. Molino de Bolas –Unidad El Porvenir</i>	44
<i>Figura 19. Celdas de flotación</i>	46
<i>Figura 20. Diagrama de bloques de un sistema de control</i>	51
<i>Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de control lazo cerrado</i>	52
<i>Figura 22. Característica de la salida del sistema con factor de decaimiento de un cuarto en la oscilación</i>	53
<i>Figura 23. Respuesta del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón unitario</i>	54
<i>Figura 24. Diagrama de un sistema de control lazo cerrado</i>	57
<i>Figura 25. Respuesta un sistema de control</i>	57
<i>Figura 26. Diagrama en bloques</i>	58
<i>Figura 27. Diagrama a bloques de un sistema de control en lazo cerrado,</i>	62
<i>Figura 28. Panel ASRI</i>	67
<i>Figura 29. Panel ASRI chancadora terciaria</i>	79

<i>Figura 30. Instalación de transmisor de nivel.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 31. Configuración de transmisor de nivel.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 32. Nivel mínimo de Chancado de Chancadora Terciaria.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 33.: Nivel intermedio de Chancado de Chancadora Terciaria.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 34. Nivel máximo de Chancado de Chancadora Terciaria.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 35. Instalación física del transmisor de nivel sobre la chancadora.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 36. Diagrama de bloques de escalado de nivel.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 37. Configuración de parámetros de escalado de nivel.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 38. Instalación de señal hacia el variador (evf),.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 39. Lógica de desescalamiento de salida del PLC hacia el Variador</i>	
<i>Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 40. Configuración de parámetros de desescalado de variador.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 41. Variador de velocidad EVF-25D.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 42. Respuesta en el tiempo de la variable de proceso. Excel.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 43. Importación de datos a Matlab.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 44. Sistema de identificación de en el dominio del tiempo.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 45. Diseño generado por MATLAB.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 46. Función de transferencia del diseño generado por MATLAB.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 47. Sintonización del PID generado por MATLAB con la herramienta</i>	
<i>PID Tuner.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 48. Diseño en el PLC para el lazo de control de Nivel.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 49. Diseño en el SCADA Orchestra Intouch 2012 R2.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 50. Gráfico de presión promedio vs potencia consigna de la chancadora</i>	
<i>Sandvik.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 51. Gráfico de los parámetros principales de la chancadora Sandvik... </i>	<i>94</i>
<i>Figura 52. Pantalla de operación de la chancadora Sandvik.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 53. Chancadora Sandvik.....</i>	<i>95</i>

RESUMEN

En este proyecto de tesis se realizó una investigación de un lazo de control de nivel de carga de una Chancadora Sandvik para mejorar la producción en el proceso de chancado.

Se realiza el diseño de un lazo de control usando el método Ziegler-Nichols y usando la herramienta PID Tuner de Matlab para obtener los parámetros PID y poder simular el controlador para el proceso. Se realiza la programación en una PLC ControlLogix, su herramienta de programación RsLogix 5000 y el 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 para la correlación de variables de estos y sirve como entrada para el diseño del lazo de control.

Las reglas dadas por Ziegler y Nichols nos dan una “luz” de una relación real entre los parámetros de sintonización P, I y D y las características operacionales del proceso.

A partir de las pruebas realizadas se estableció que el diseño presenta resultados con un desempeño adecuado y uniforme a través de los diferentes sistemas controlados.

Se verifica la respuesta a escalón del lazo de control y la coincidencia con respecto al modelo generado con el software MATLAB.

Al aplicar el lazo de control de nivel para la chancadora se podrá mejorar la producción de mineral en esta etapa del proceso, se obtendrá mayor de producción y con menos variabilidad, generando un proceso más eficiente, la mejora en la uniformidad del mineral y una tendencia más aceptable para las variables principales de la chancadora, consiguiendo un proceso más eficiente, se reduce los sobrecostos y reproceso en la planta.

Palabras clave: Lazo de control de nivel, Chancadora Sandvik, Método Ziegler-Nichols, Sintonización PID Tuner, Matlab, Producción de mineral, Chancado, Planta concentradora.

ABSTRAT

In this thesis project an investigation of a Sandvik crusher load level control loop was performed to improve production in the crushing process.

A control loop is designed using the Ziegler-Nichols method and using the Matlab PID-Tuner tool to obtain the PID parameters and simulate the controller for the process. Programming is performed on a ControlLogix PLC, its RsLogix 5000 programming tool and the Intouch 2012 R2 SCADA.

The test is performed to verify the speed of the vibratory feeder with the level of the crushing chamber to obtain data for the correlation of variables of these and serves as input for the design of the control loop.

The rules given by Ziegler and Nichols give us a "light" of a real relationship between the tuning parameters P, I and D and the operational characteristics of the process.

From the tests carried out, it was established that the design presents results with adequate and uniform performance across the different controlled systems.

The step response of the control loop and the match to the model generated with MATLAB software is verified.

By applying the level control loop to the crusher, mineral production can be improved at this stage of the process, greater production will be obtained and with less variability, generating a more efficient process, improved mineral uniformity and a more acceptable trend for the main crusher variables, resulting in a more efficient process, reduced surcharges and reprocessing in the plant.

Keywords: Level control loop, Sandvik Crusher, Ziegler-Nichols Method, Tuner PID Tuning, Matlab, Mineral Production, Crushing, Concentrating Plant.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la productividad de una empresa minera depende directamente de los sistemas de control utilizados, del tipo de supervisión y control que se tiene sobre de estos, debido a que hay menor intervención humana y mayor disponibilidad de los equipos, garantizando la producción y cumpliendo los estándares ambientales de salud y seguridad ocupacional establecidos por el Perú.

La Planta Concentradora de la Unidad Minera El Porvenir, se encuentra ubicado en la Provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco, a 321 km de Lima a una altitud de 4,200 msnm, con la última ampliación realizada el 2012 se proyectó a 5600 TPD de capacidad. Posteriormente, mediante incrementos sucesivos, llegó a procesar 6,000 TDP. El mineral es de tipo polimetálico (Cobre, Zinc y Plomo).

El Presente trabajo de investigación, titulado como “DISEÑO DE UN CONTROL DE NIVEL DE CARGA DE LA CHANCADORA SANDVIK PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE CHANCADO EN LA UNIDAD MINERA EL PORVENIR”, va a constituir una nueva aplicación de los sistemas de control automáticos y una herramienta eficaz para el proceso de mejoramiento y eficiencia de la Planta Concentradora El Porvenir, donde la mayor deficiencia que se tiene es la falta de integración de equipos limitando así la producción de finos para el siguiente proceso que es molienda, generándose el cuello de botella para toda la Planta concentradora.

El sistema a diseñar consiste en realizar un lazo de control realimentado de nivel por el método Cohen-Coon para mantener un nivel constante de 50% en la cámara de la chancadora cónica Sandvik y aplicar el modo “AUTOLOAD” para realizar un chancado más agresivo y con mayor eficiencia. Esto reducirá la carga circulante en un 50% y mejorará la producción en un 20%.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La primera etapa en todo proceso productivo para la obtención de concentrado en una empresa minera es la etapa de chancado, siendo fundamental esta etapa para alcanzar los objetivos trazados por la empresa, los cuales se miden por toneladas al día (TDP) de mineral procesado.

En la Unidad El Porvenir la extracción del mineral se realiza en su propia planta concentradora a través de los siguientes procesos de chancado, molienda, flotación, filtrado donde se producen concentrados de zinc, plomo y cobre, con contenidos de plata.

En el 2012 se realizan inversiones destinadas a incrementar su capacidad de producción a 5,600TPD las que durante el 2012 alcanzaron los US\$ 7 millones distribuidas entre el montaje de un nuevo molino y equipos complementarios como zarandas de alta frecuencia, cámaras de chancado, entre otros y que permitirán una producción sostenible a ese nuevo nivel una vez culminado el proyecto en el 2013.

En el 2016, la Unidad El Porvenir adquirió una chancadora CH 660 para su circuito terciario para estabilizar la capacidad instalada, cuyo montaje se realizó en el segundo trimestre del 2018.

Actualmente, la planta concentradora tiene una capacidad de 6,000TPD (hasta el 2012, la capacidad era de 5,600TDP).

En el área de chancado se cuenta con 01 Zaranda Primaria, 01 Chancadora secundaria Sandvik, 03 Alimentadores vibratorios, 03 Zaranda Secundarias, 02 chancadoras terciarias CH660 Sandvik, 02 Tolvas de gruesos y 02 Tolvas de finos. Con lo cual representan los equipos principales de este proceso.

Debido a las ampliaciones realizadas los últimos años y adquisiciones de nuevo equipamiento en el Área de Chancado, los sistemas de control de los equipos principales como (Alimentadores vibratorios, Zarandas y Chancadoras) no se

interconectan entre sí, es así que la alimentación en la cámara de la chancadora Sandvik terciario de cono es variable, en una aplicación terciaria es sometida a una serie de golpes que se traducen en fuerzas potencialmente dañinas. Esto trae como resultado picos de presión hidráulica y desgaste irregular del forro de la chancadora, además la granulometría de salida no es uniforme y la producción de finos solo alcanza un 80% de producción programada.

La producción se ve afectada por la falta de integración de equipos y por la operación manual de los equipos de manera aislada, además la falta de un sistema de control automático, hace que las paradas imprevistas afecten el tonelaje diario.

Al no realizar un cambio en el sistema de control en el Área de chancado, se generará tiempos muertos sin producción, productividad baja, costos operativos altos, dificultad en arranque de equipos, así como también un cuello de botella para la planta concentradora, dependiendo de este para la producción de mineral, además de generar una mayor carga circulante en este proceso afectando al siguiente proceso de Molienda.

Se sugiere el “DISEÑO DE UN CONTROL DE NIVEL DE CARGA DE LA CHANCADORA SANDVIK, PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE CHANCADO EN LA UNIDAD MINERA EL PORVENIR” que consiste en mantener un nivel constante de 50% en la cámara de la chancadora cónico y aplicar el modo “AUTOLOAD” para realizar un chancado más agresivo y con mayor eficiencia. Esto reducirá la carga circulante y mejorará la producción.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿El diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo es 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 El Porvenir?

¿El diseño de un control de nivel determinará el nivel medido con el nivel real en la primera etapa?

¿La determinación de velocidades de los alimentadores corresponde con el nivel, en la segunda etapa?

¿El diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir?

¿Cómo es 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 El Porvenir?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik para mejorar la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.

1.3.2 Objetivos específicos

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 El Porvenir.

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

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

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

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 El Porvenir.

1.4 Limitantes de la investigación

Las limitaciones presentadas en el siguiente trabajo de investigación son las demoras generadas por la adquisición de equipos por el área logística debido a tiempos de entrega y procedimientos de esta misma área.

La toma de datos en campo y las pruebas con los equipos están sujetas a las paradas programadas de producción y mantenimiento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

La producción de la Unidad Minera El Porvenir depende del total de mineral procesado en la planta concentradora. La sección de chancado constituye la primera etapa del proceso, por lo tanto, la más importante. La interrupción de la producción en este proceso ocasiona una disminución significativa en la obtención de mineral y paradas no programadas, ocasionando pérdidas económicas para la empresa.

La automatización y la implementación de sistemas de control en el proceso de chancado ha influido significativamente en estos últimos años en la Minería de nuestro país, reflejándose principalmente en la productividad de una Planta concentradora.

Se señalan las siguientes investigaciones relacionadas con el tema:

Altamirano (2011), Estudio Técnico Económico para la Ampliación de la Planta Concentradora de Minerales BERTHA".

Resumen:

El presente trabajo tiene por objetivo principal la evaluación técnica y económica a nivel de prefactibilidad de la ampliación de una planta productora de concentrados de plomo y zinc en la región de Ancash.

Para el desarrollo del presente proyecto se investigó las características y las aplicaciones de los concentrados de plomo y zinc. El nivel de consumo que tienen estos concentrados están en un apogeo económico creciente; esto se evidencia en el precio de los metales que se están manteniendo durante estos últimos meses; debido a esta coyuntura económica y su proyección, se realizó este estudio de evaluación técnica económica de la ampliación de la planta concentradora. Para ello se estudió el mercado del plomo y zinc a nivel mundial, para luego enfocarse en la producción de concentrados a nivel nacional, se estudió la normativa ambiental aplicable al proyecto, así como el proceso para producir concentrados de plomo y zinc.

La determinación de la importancia que tiene la etapa de chancado para la liberación del mineral valioso de la ganga y para acelerar la velocidad de reacción en los procesos de molienda y flotación, el cual permitirá incrementar la rentabilidad de la Empresa, por lo tanto, tendrá un impacto económico favorable. Por lo general, las operaciones de trituración en las plantas de concentración de minerales se caracterizan por su elevado consumo de energía en comparación a otras operaciones, es por ello que urge la necesidad de aprovechar esta etapa para incrementar la rentabilidad.

La mayor capacidad que se tiene es 282 TDP de la chancadora primaria, para poder aplicar dicha capacidad a la planta se debería cambiar o modificar las características de los demás equipos como son Chancadora Secundaria (en la etapa de chancado), Molino de Barras y de Bolas (en la etapa de molienda), lo cual generaría una mayor inversión.

Yacila (2014), Montaje de la chancadora cónica Sandvik ch660 de la unidad minera atacocha para un incremento de producción de 4380tspd a 5000 TSPD”.

Resumen:

El presente informe está enfocado en la evaluación, el montaje y puesta en marcha de una chancadora cónica marca Sandvik modelo CH 660 equipo que consta parte del proceso de chancado de la planta concentradora de la unidad minera Atacocha.

Con el fin de ampliar la capacidad de la planta de 4380 TSPD (toneladas secas por día) a 5000 TSPD (toneladas secas por día), y obtener mayor cantidad de finos producto del trabajo de la chancadora, suministrar de manera estable y sostenida un producto P80 de 7.6 mm. De acuerdo a una simulación efectuada con el software "Plant Designer" de Sandvik. Evitando pérdidas de energía en la planta.

Además, pretende demostrar a las mineras la factibilidad de inversión con este equipo de obtener mejor obtención de material fino de un solo proceso así evitar las cargas circulantes que existen en el proceso.

Areas (2014), Optimización .de la sección de chancado para. Incrementar la producción. Diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú.

Resumen:

La siguiente investigación fue titulada como Optimización de la Sección de Chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú. Inicialmente, se analizó la problemática de producción existente en la sección de chancado, en relación al funcionamiento de los equipos que la componen, del número de fallas y tiempos de operación presentadas en un período de 2 años, y se determinó la disponibilidad, utilización, efectividad global de la planta y capacidad productiva, entre otros. Este estudio se desarrolló como una Investigación Tecnológica del tipo Aplicada y se evidenció que la efectividad global de la planta era inaceptable (OEE < 65%), ocasionando pérdidas de producción, incrementando así, los costos de operación y mantenimiento de la sección de chancado. También, se verificó que la sección de chancado no contaba con un plan de mantenimiento preventivo adecuado para asegurar el funcionamiento de los equipos que la componen.

La investigación tiene la finalidad de proporcionar a la empresa ICM Perú, una herramienta que le permitiría incrementar la producción diaria a 700 TMD de mineral triturado optimizando la planta de chancado, elevar la efectividad global de la planta de chancado a 82% y la capacidad productiva a 69.96% para cumplir con los requerimientos de producción diaria solicitados por la empresa, así como también de programar, ajustar y corregir algunas deficiencias en sus actividades implementando un plan de mantenimiento preventivo.

Muñoz (2016), Ampliación de Producción de la Unidad Minera Chungar de 2000 TMD a 3000 TMD".

Resumen:

El incremento escalonado de la producción de 2000 TMD a 3000 TMD reducirá el costo de minado de 33.09 US\$/ton a 22 US\$/ton, lo cual mantendrá los márgenes operativos que requiere la empresa frente a la caída de precios de los metales en el mercado internacional. Este incremento mejorará los procesos

actuales desde la exploración hasta el producto final, a fin de obtener bajos costos y una producción eficiente.

La ampliación de la Sección de Chancado comprende: el cambio del grizzly vibratorio Symons de 3 'x5 ' ; adquisición de un electroimán para su instalación en la faja transportadora; cambio de la faja transportadora de 24" por una de 30" e incremento de su velocidad debido al incremento del tonelaje; reubicación. de la chancadora secundaria Pegson y de la zaranda 4'x10' de su ubicación actual en el circuito antiguo a su nueva posición en el circuito nuevo de la descarga; modificación de la descarga de finos ampliando su sección transversal; por último, la construcción de una nueva tolva de finos para aumentar el volumen de mineral chancado cuya capacidad deberá ser de 1000 toneladas. Esta redistribución de los equipos incrementará la efectividad de la sección de chancado para así lograr los requerimientos solicitados de 3000 TMD.

Almirón (2016), Estudio Preliminar Para La Ampliación De Producción De 8500 A 10500 Tms Dia Planta Concentradora Paragsha – Unidad Económica Cerro De Pasco.

Resumen:

Para el presente caso de estudio, el nuevo proceso incluiría la expansión escalonada de tratamiento de 8500, 9500 y 10500 TMSD operando 30 días por mes, en esta nueva ampliación se optimizaría la sección de chancado hasta en 18 horas de operación, siendo la operación unitaria más trascendente, seguida de la sección molienda, donde el molino primario de barras 10-1/2' x 14' va a operar con un molino de bolas secundario 12' x 13' como una cuarta sección encargada de procesar en la ampliación final 3,000 TMPD, además la sección de molienda actual 8,500 TMPD reducirá su tratamiento a 7500 TMPD, para de esta manera completar su tratamiento a 10500 TMPD al finalizar el proyecto; a esta etapa le sigue las secciones de flotación de plomo y zinc con la adición de nuevas celdas de flotación y reubicaciones de equipos, para la eliminación de agua se tiene espesadores y filtros que serán reemplazados por otros más eficientes, finalmente la disposición de relaves continuaría siendo en la relavera Ocroyoc. Por lo tanto, las modificaciones realizadas se verían reflejadas en los

buenos resultados de una mejor recuperación, reducción de costos y otros beneficios.

Cruz (2017), Diseño de un sistema de automatización a través de mandos por contactores eléctricos controlado por PLC para el proceso de chancado de la planta cal y Cemento S.A.”

Resumen:

En esta tesis elaborada se identifica la problemática en la planta de producción de cal y cemento s.a. en las cuales una parte parcial de sus procesos, la “línea auxiliar de chancado de piedra” funciona de manera analógica (arranque y parada o puesta en funcionamiento de los equipos se da en forma manual), en donde presenta estos inconvenientes. riesgo de accidentes a los operadores, deficiencias en la capacidad requerida de producción, alto consumo de energía eléctrica, exceso de cantidad de operadores para esta línea 2 y hasta 3 personas esto demanda elevación del costo de producción, funcionamiento en vacío de la línea de chancado por momentos, consumo de energía eléctrica inestable.

La tesis fue planteada; el 20 de abril 2016. Y para su desarrollo fue a partir del 07 de junio del mismo año, en donde se tomó muestras de funcionamiento, parámetros de trabajo, condiciones de operaciones en la línea de producción de chancado de piedra. Para estos objetivos se seleccionó e identifico todos los elementos intervinientes. Lugar de trabajo, identificación de la planta de producción características típicas de los equipos mecánicos y eléctricos y personas intervinientes. De las cuales se propone automatizar con un procesador lógico controlable el control de mando y el control de fuerza mediante contactores y arrancadores de estado sólido. Dicho proceso para poder reducir costos de producción, reducir condiciones peligrosas de trabajo, reducir dificultades de las operaciones, mejorar la competitividad del producto, costo, calidad, producción.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Descripción de la Unidad Minera

La Unidad Minera El Porvenir pertenece a la compañía Minera Milpo Andina S.A.A. (“Milpo”), se encuentra ubicado en la Provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco, a 321 km de Lima a una altitud de 4,200 msnm donde se encuentra la planta concentradora de la Unidad Minera El Porvenir.

La Compañía Minera Milpo S.A.A. se constituyó en el año 1949, para dedicarse a la extracción, a la concentración y a la comercialización de minerales polimetálicos, principalmente zinc, plomo y cobre con contenidos de plata y oro. Su centro de operaciones se encuentra en el distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacán, provincia y departamento de Pasco, a 321 km de Lima a una altitud de 4,200 msnm donde se encuentra la planta concentradora de la Unidad Minera El Porvenir. Es la mina con la que Milpo inició operaciones, es considerada la mina subterránea más profunda del Perú y una de las más profundas de Latinoamérica, con una extracción a 1,250 metros debajo de la superficie.

En el 2010, forma parte de Votorantim Metais Holding S.A., compañía global de minería y metalurgia que se encuentra entre los cinco mayores productores de zinc en el mundo, ocupando una posición de liderazgo en América, con una cartera diversificada de proyectos que incluye zinc, cobre, plomo, plata y otros minerales.

Sus unidades se encuentran distribuidas en Brasil y Perú, cuenta con oficinas comerciales en locaciones estratégicas, para satisfacer la demanda global por los productos ofrecidos.

A su vez, Votorantim Metais Holding S.A. pertenece a Votorantim S.A., organización multinacional brasilera que opera en diversos sectores estratégicos de la economía y se encuentra presente en 23 países.

Operando en 3 unidades mineras a nivel nacional:

- Unidad Minera Cerro Lindo (Ica)

- Complejo Minero Pasco: integrando las Unidades Mineras El Porvenir y Atacocha.



Figura 1: Línea de tiempo - Compañía Minera Milpo S.A.A
Fuente: Milpo, Kallpa SAB. (S/F)

El 27 de octubre del 2017, se informó que Nexa Resources S.A. (antes Votorantim Metais Holding S.A.) (“Nexa”), sociedad anónima constituida en Luxemburgo y accionista indirecto de Compañía Minera Milpo S.A.A. (“Milpo”), ha informado a la compañía que, el 26/10/17, se ha llevado a cabo la colocación de 31’000,000 de acciones comunes de Nexa por un valor unitario de US\$16 y un total de US\$ 496 millones, en el marco de la Oferta Pública Inicial de acciones. Dicha oferta ha sido llevada a cabo en la Bolsa de los Estados Unidos de América y en el mercado de Valores de Canadá.

El 27 de octubre de 2017, se informó que en el marco del cambio de la marca y denominación social de Votorantim Metais Holding, empresa matriz de la Sociedad, el directorio ha aprobado la adecuación de las respectivas marcas de la Sociedad y sus subsidiarias, a fin de incorporar la nueva marca del Grupo “Nexa”.

Partiendo del cambio de identidad corporativa promovido desde la casa matriz, como se explicó anteriormente (“Milpo”) pasará a llamarse NEXA Resources Perú S.A.A. (NEXA Perú), empresa con 69 años de existencia y que es en la

actualidad es una de las empresas mineras polimetálicas más destacadas a nivel nacional, caracterizándose por la sostenibilidad y competitividad de sus operaciones.

Durante el 2017, NEXA Perú continuó con el proceso de alineamiento a la estrategia y estándares corporativos; manteniendo localmente su preocupación por la generación de valor a sus grupos de interés en términos de responsabilidad socio ambiental, optimización tecnológica y soluciones innovadoras; y de triple resultado: económico, ambiental y social.

Actualmente, administra tres operaciones mineras (UM Cerro Lindo, UM El Porvenir y UM Atacocha) que en el 2017 alcanzaron una capacidad conjunta de tratamiento de mineral de alrededor de 30,000TPD, con ventas totales por US\$ 911.7 millones.

Los principales productos son los concentrados de zinc, plomo y cobre, con contenidos de oro y plata. Además, gestiona dos proyectos cupríferos (Magistral y Pukaqaqa) y proyectos polimetálicos (Shalipayco, Florida Canyon, Hilarión).



Figura 2. Ubicación de unidades mineras y proyectos cupríferos
Fuente: Milpo, Kallpa SAB. (S/F)

2.2.2 Descripción de la Planta Concentradora

La Unidad Minera El Porvenir en su Planta concentradora tiene un programa diario de producción de 6,000TSPD (toneladas secas por día) de mineral, con una ley de cabeza de 2.87 %. Zn/día, 1.17 % Pb/día, 0.15 % Cu/día, 1.9 Ag/onza por cada tonelada en promedio y un programa mensual de avances lineales de alrededor de 2000m en exploraciones, desarrollos y preparaciones con labores de cruceros, galeras, subniveles, chimeneas inclinadas y verticales.

Además del Winche de Mineral, ubicado en el socavón de la Unidad Minera, el cual sirve para a extracción de mineral de la zona baja que viene a cubrir el 80% del mineral extraído del yacimiento minero.

2.2.3 Chancado

La sección de chancado constituye la primera etapa en todo proceso de extracción del mineral "valioso" en una planta concentradora. El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 m de diámetro, por lo que el objetivo de la sección de chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de 1/2 pulgada (1,27 cm).

Proceso de Chancado

Para lograr el tamaño deseado de 1 1/2 o 3/8 pulgada, en el proceso del chancado se utiliza la combinación de dos o hasta tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

De acuerdo a la disposición de equipos, la granulometría de mineral extraído en mina y al tamaño de mineral triturado que se requiere obtener en el proceso de chancado, se determinan las etapas necesarias para este fin.

- En la etapa primaria, la chancadora primaria reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.
- En la etapa secundaria, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.

- En la etapa terciaria, el material mineralizado logra llegar finalmente, a 1/2 pulgada.

Componentes de la Sección de Chancado:

a) Los chutes

Son cajones de lados inclinados que se encuentran uniendo el fondo de la tolva de gruesos con el alimentador correspondiente. Los chutes sirven para ayudar a salir y amortiguar la carga de mineral, en caso contrario sufriría el alimentador un exceso de peso.

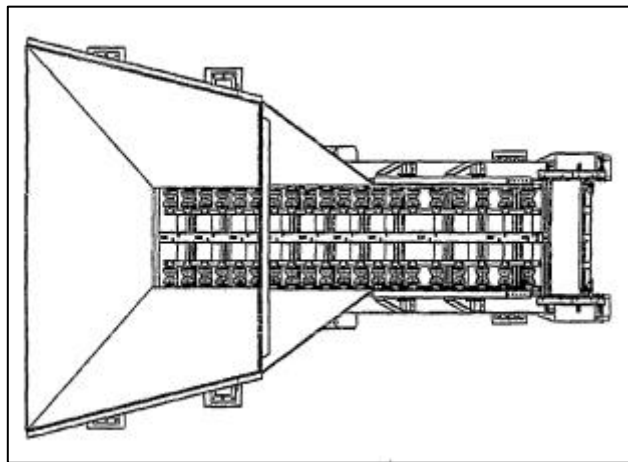


Figura 3. Chute de carga del alimentador vibratorio

Fuente: Arias, P. (2014). Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú.

b) Alimentador Vibratorio

El alimentador vibratorio consiste en un canal o chute de alimentación (que puede ser una bandeja abierta o un tubo cerrado) que se mueve hacia adelante y hacia atrás por la inducción oscilante de un motor electromagnético. La velocidad de flujo de los sólidos se puede controlar ajustando la entrada de corriente en el motor electromagnético del alimentador. Esta entrada controla el tirón del electroimán y la longitud de su carrera.

El Alimentador, de forma rectangular, trapezoidal o semicircular, sufre vibraciones lineales bajo un pequeño ángulo de inclinación. Estas vibraciones

activan el producto a ser transportado por micro saltos, produciendo un movimiento suave, sin abrasión de la canaleta.

La canaleta vibratoria electromagnética presenta una ventaja particular en comparación con los otros tipos de canaletas alimentadoras, pues su velocidad de transporte puede ser variada al variarse la tensión eléctrica suministrada, a través de un reóstato, conjunto electrónico transistorizado (Potenciómetro) o una señal 4-20 [mA]. Además de eso, no hay reflujos de parada. Es decir, al cortarse la tensión eléctrica el material cesará inmediatamente de ser transportado.

Los alimentadores permiten mandar a las chancadoras carga medida y regulada, según las capacidades de ellas, a la vez que impiden la descarga violenta de las tolvas de gruesos. Demasiada carga atora a las chancadoras, grizzlies y cedazos; poca carga deteriora los mecanismos, porque los movimientos más fuertes se producen en vacío.

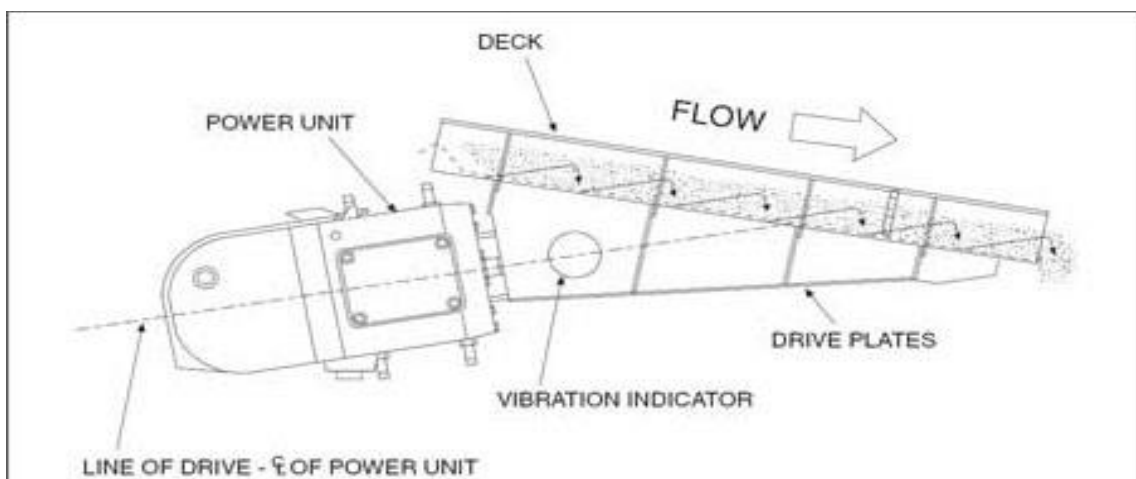


Figura 4. Alimentador Vibratorio
Fuente: IMCOVEX SAC. (S/F)

c) Chancadoras

Las chancadoras son equipos eléctricos de grandes dimensiones. En estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios están contruidos 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 de

acuerdo al diámetro requerido. Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.

Procedimiento de Chancado

En el procedimiento de chancar las piedras en más pequeñas, la primera chancada es generalmente la principal. En esencia, implica la transferencia de fuerza de aplastamiento, que se incrementa con la ventaja mecánica, y por lo tanto con la distribución de la fuerza a lo largo del cuerpo del objeto. Esto por lo general, consiste en colocar el objeto entre dos superficies sólidas; una de las superficies actúa

Como una plataforma y proporciona un lugar para colocar el objeto; la segunda superficie normalmente se encuentra por encima del objeto y la plataforma, y baja lentamente para ejercer la fuerza sobre el objeto. Como la fuerza destruye el objeto, la superficie superior continúa descendiendo hasta que se ha producido un grado óptimo de reducción de tamaño.

Maquinaria

Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración.

Se clasifican de acuerdo a la etapa y al tamaño de material tratado.

- Trituradoras Primarias. Fragmentan trozos grandes hasta un producto de 8" a 6". Se tienen dos tipos de máquinas.
 - Trituradoras de Mandíbulas.
 - Trituradoras Giratorias de campana.
- Trituradoras Secundarias. Fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3" a 2" entre estas máquinas tenemos.
 - Trituradoras Giratorias de campana.
 - Trituradoras Cónicas.
- Trituradoras Terciarias. Fragmentan el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8", entre estas máquinas tenemos.

- Trituradoras Cónicas.
- Trituradoras de Rodillos.

Maquinaria para la Trituración Primaria

- Triturador de Mandíbulas

Esencialmente constan de dos placas de hierro instaladas de tal manera que una de ellas se mantiene fija y la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, durante el cual se logra fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos placas (cámara de trituración). El nombre de estas trituradoras viene del hecho de que la ubicación y el movimiento de las placas se asemejan a las mandíbulas de un animal, por eso, la placa fija suele llamarse mandíbula fija y la otra placa, mandíbula móvil.

Las trituradoras de mandíbulas se subdividen en tres tipos, en función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula móvil, que son: Trituradoras de mandíbulas tipo Blake, Dodge y Universal.

En la práctica, el triturador más empleado es el de tipo Blake, que fue patentado en 1858 por E. W. Blake y desde entonces ha sufrido varias modificaciones.

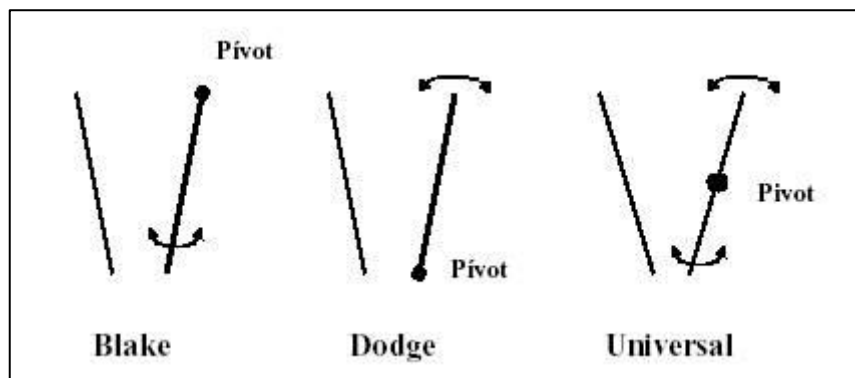


Figura 5. Según la ubicación de la placa móvil

Fuente: Quiroz, N. (1990) Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales.

- Tipos de Trituradoras de Mandíbulas

El tamaño de estas trituradoras se designa indicando las dimensiones de la abertura de alimentación y el ancho de la boca de alimentación medidas en pulgadas o milímetros. El tamaño de estas máquinas puede variar desde

125x150 mm, a 1600x21 00mm. Pueden triturar partículas desde 1,2 m. de tamaño aproximadamente, a razón de 700 a 800 TPH. La velocidad de la máquina, varía inversamente con el tamaño y usualmente está en el rango de 100 a 400 rpm. El radio de reducción promedio es de 7: 1, y puede variar desde 4:1 hasta 9:1, la potencia consumida puede variar hasta 400 HP, para el caso de las máquinas grandes.

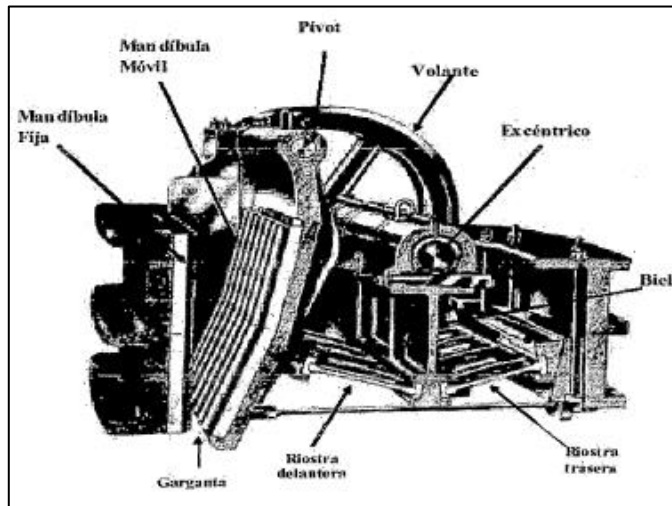


Figura 6. Trituradora de mandíbulas

Fuente: Quiroz, N. (1990) Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales.

- Capacidad de Producción

La capacidad de producción de la trituradora depende de las características de las materias a triturar (intensidad, dureza, y composición de granulosisad alimentada, etc.), las funciones de la trituradora y las condiciones de operación (casos de alimentación y dimensión de la salida de materias), etc.

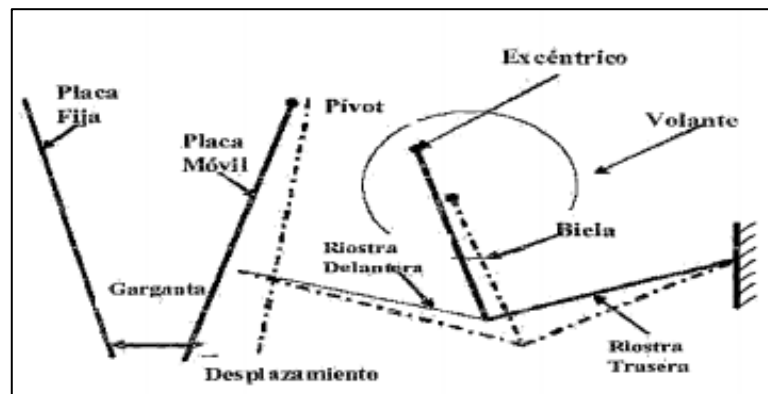


Figura 7. Principio de funcionamiento - Chancadora Quijada

Fuente: Quiroz, N. (1990) Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales.

b) Trituradoras Giratorias de campana

La Trituradoras Giratoria constituido por un eje vertical (árbol) con un elemento de molienda cónico llamado cabeza, recubierto por una capa de material de alta dureza llamado manto. La cabeza se mueve en forma de elipse debido al efecto de movimiento excéntrico que le entrega el motor.

El movimiento máximo de la cabeza ocurre en la descarga evitando los problemas de hinchamiento del material. Debido a que chanca durante el ciclo completo, tiene más capacidad que un trituradora de mandíbulas del mismo tamaño (boca), por lo que se le prefiere en plantas que tratan altos flujos de material.

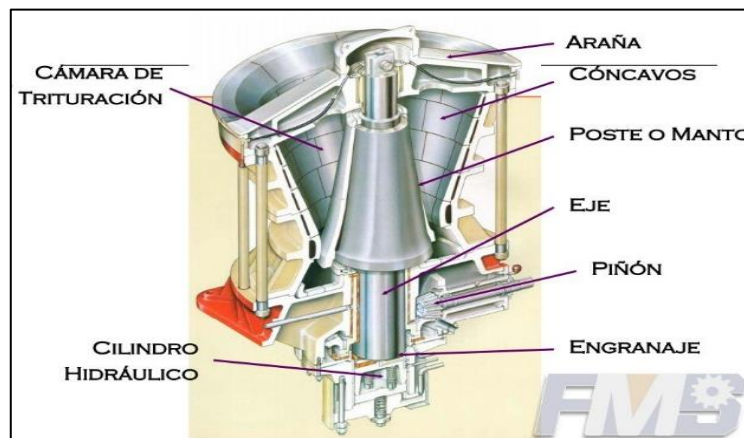


Figura 8. Estructura de una trituradora cónica

Fuente: Quiroz, N. (1990) Operaciones Unitarias en Procesamiento de
Minerales

Maquinaria para la Trituración Secundaria

- Trituradoras giratorias de campana

En este caso se usan las trituradoras giratorias similares a las utilizadas para la trituración primaria, pero de menor tamaño, a objeto de producir un tamaño adecuado de producto. Además, se caracterizan por ser menos robustas que las primarias.

- Trituradoras cónicas

Trituradoras de Cono es una trituradora giratoria modificada. La principal diferencia es el diseño aplanado de la cámara de trituración con el fin de lograr una alta capacidad y una alta razón de reducción del material.

El objetivo es retener el material por más tiempo en la cámara y así lograr una mayor reducción del material. El eje vertical de esta trituradora es más corto y no está suspendido como en la giratoria, sino que es soportado en un soporte universal bajo la cabeza giratoria o cono.

Además, como ya no es necesaria una gran abertura de alimentación, el cono exterior ya no es abierto en la parte superior. El ángulo entre las superficies de trituración es el mismo para ambas trituradoras, esto proporciona a las trituradoras cónicas una mayor capacidad.

El tipo de trituradora cónica utilizada en la Unidad Minera El Porvenir es la unidad Sandvik CH660, la cual es adecuada para una aplicación secundaria de gran capacidad o una aplicación terciaria de alta reducción o una aplicación de trituración de roca, y puede combinarse con cambios en la producción mediante la selección de cámaras de trituración y un movimiento excéntrico ajustable. Esta trituradora es adecuada para una aplicación secundaria y terciaria de alta capacidad.



Figura 9. Trituradora cónica Sandvik CH660
Fuente: Sandvik S.A. (S/F)

La unidad Sandvik CH660 es altamente versátil y fiable, y está diseñada para que pueda recibir servicio fácilmente, a fin de que pueda maximizar el tiempo de actividad del equipo.

El sistema de control de regulación de ajuste automática (ASRi™) permite controlar el funcionamiento en tiempo real, con lo cual se asegura de que la máquina funcione constantemente a niveles óptimos.

Características de la Chancadora Sandvik:

- Abertura de alimentación grande.
- Lubricación separada para cojinetes de araña.
- se utiliza una cubierta superior para todas las cámaras de trituración.
- Los dos brazos de la cubierta superior están protegidos contra el desgaste por revestimientos robustos de acero aleado especial.
- El interior de la trituradora está protegido del polvo por un anillo de sello auto lubricado.
- Funcionamiento silencioso y larga vida útil gracias a los engranajes cónicos con dientes hipoidales endurecidos y cortados en espiral.
- "El tanque de aceite para los sistemas de lubricación e Hydroset es una unidad autónoma que incorpora filtros, equipos de calefacción y refrigeración, bombas, monitores de temperatura y caudal y Enclavamientos eléctricos.
- Una sobrecarga automática.

Los datos principales del equipo se resumen en la siguiente tabla.

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

Fuente: Sandvik S.A. (S/F)

Existen varias cámaras de trituración estándar para cada modelo. Las trituradoras pueden adaptarse fácilmente a los cambios en la producción al seleccionar la cámara de trituración y el movimiento excéntrico correctos.

El funcionamiento del equipo consta de 7 conjuntos básicos:

1. Carcasa superior y araña: cuya función es la de sostener el eje principal.
2. Eje principal: Realiza el chancado de mineral por medio de la presión ejercida entre planchas de revestimiento.
3. Carcasa inferior: Soporta los conjuntos de excéntrica, eje piñón e hydroset.
4. Excéntrico: Elemento que da giro excéntrico del eje principal.
5. Eje-Piñón: Entrega el torque al excéntrico proveniente de un motor.
6. Hydroset: Determina la altura del poste con la cual se realizará el chancado.
7. Sistema de lubricación: Proveer de lubricante al conjunto completo.

En la figura 10 se muestra el equipo en corte, donde la numeración corresponde a lo visto en la sección anterior.

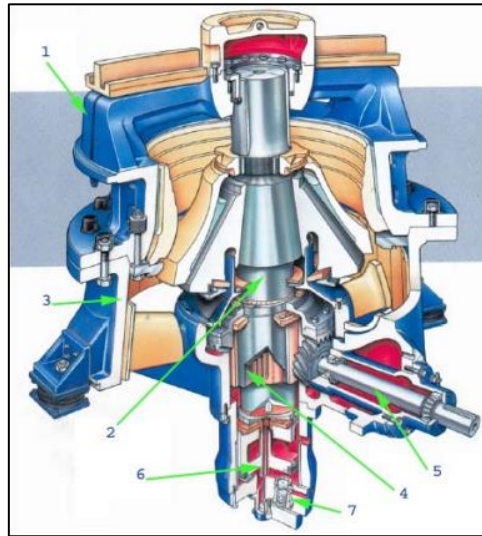


Figura 10. Vista de corte de la Chancadora
Fuente: Pascual, R. (2003). *Mantenimiento de una Chancadora Sandvik H-8000.*

Diagrama funcional de bloques

En la figura 11. Muestra el diagrama de bloques para la chancadora, donde se aprecia la división de los principales sistemas con que cuenta el equipo, sus funciones y su interacción con el medio. Este diagrama tiene la utilidad de que cualquier flecha que se vea interrumpida implica una falla en el equipo.

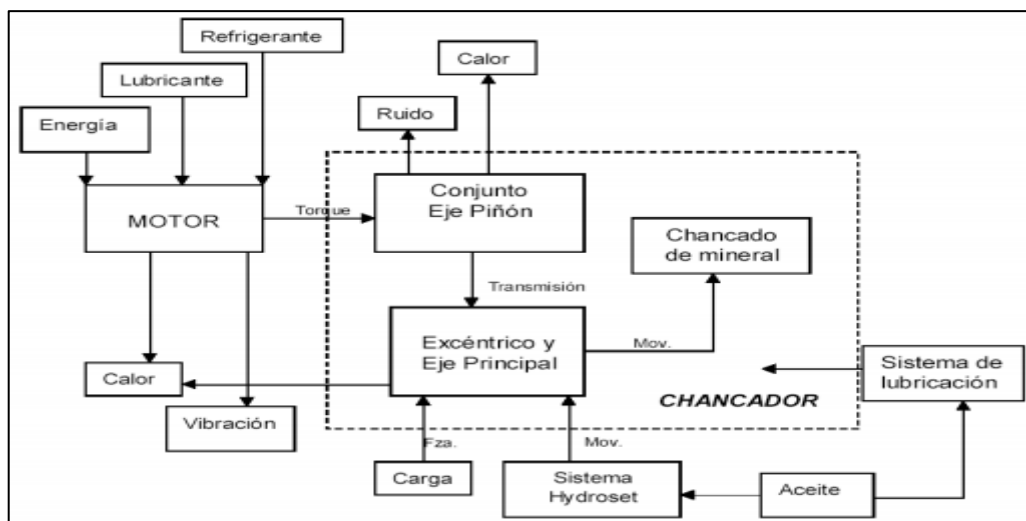


Figura 11. Diagrama funcional de bloques de la Chancadora
Fuente: Pascual, R. (2003). *Mantenimiento de una Chancadora Sandvik H-8000.*

Maquinaria para la Trituración Terciaria

- Trituradoras cónicas

En este caso se usan las trituradoras cónicas similares a las utilizadas para la trituración secundaria, del mismo tamaño, a objeto de producir mineral más fino.

- Trituradora de rodillos

Estas trituradoras siguen siendo utilizadas en algunas plantas, aunque en otras han sido reemplazadas por las cónicas. El modo de operación consiste en dos rodillos horizontales los cuales giran en direcciones opuestas. El eje de una de ellas está sujeto a un sistema de resortes que permite la ampliación de la apertura de descarga en caso de ingreso de partículas duras. La superficie de ambos rodillos está cubierta por forros cilíndricos de acero al manganeso, para evitar el excesivo desgaste localizado. La superficie puede ser lisa para trituración fina y corrugada o dentada para trituración gruesa.

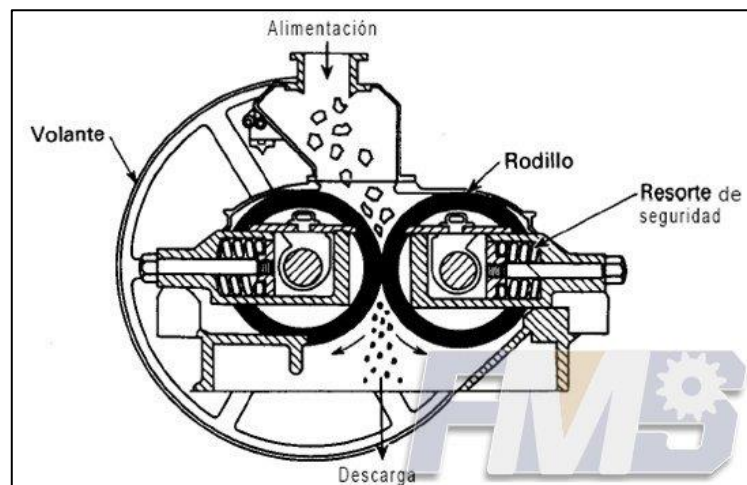


Figura 12. Trituradora de rodillos

Fuente: Formats Construction Machinery Co., Ltd. (S/F)

d) Zarandas Vibratorias

El mineral que viene de la mina tiene gran cantidad de finos, de tamaños más pequeños de los que descargan las chancadoras.

Si esta carga fina entrara a las trituradoras le daríamos un trabajo innecesario a dichas máquinas, que podrían originar apelmazamientos en las chaquetas de las

chancadoras y se tendría menos espacio disponible para triturar los trozos grandes, que son los que realmente necesitan ser chancados. También estos finos podrían causar atoros a las chancadoras. Para resolver estos problemas se usan las Zarandas Vibratorias.

El zarandeo consiste en la operación unitaria que permite separar un volumen de mineral en dos o más flujos en base a su tamaño, mediante la formación de un lecho de partículas de mineral que se desplaza con movimiento vibratorio vertical sobre una superficie perforada. La luz de los cedazos ya sean de rieles o de mallas, siempre debe estar en relación con el tamaño de la descarga de la chancadora con la cual trabaja.

El material retenido en la malla se denomina sobre tamaño (**oversize**) mientras que el material que pasa a través de las aberturas se denomina bajo tamaño (**undersize**). En el caso que existan dos superficies separadoras, el tamaño que pasa la primera superficie y queda retenida en la segunda se denomina tamaño intermedio.

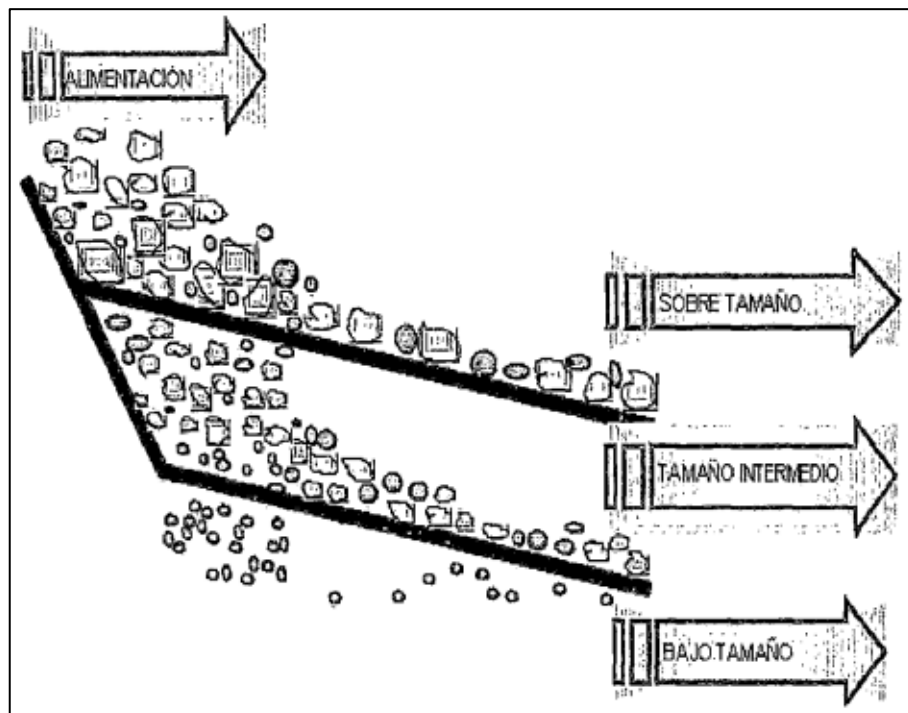


Figura 13. Clasificación de Zaranda vibratoria

Fuente: Arias, P. (2014). Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú.

Partes de la Zaranda Vibratoria

En la figura 14 se muestra las principales partes de una zaranda vibratoria.

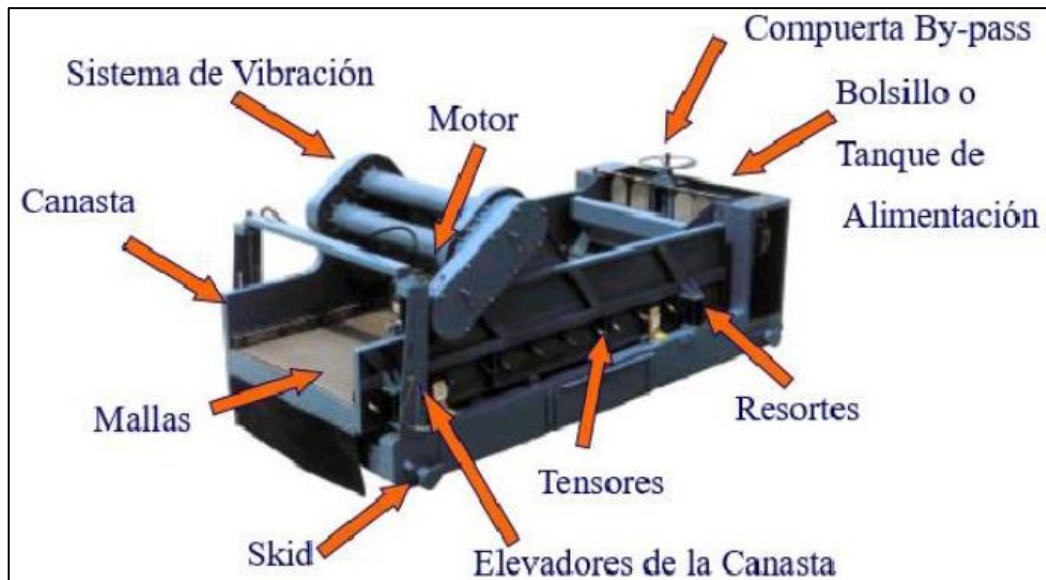


Figura 14. Partes de una zaranda vibratoria
Fuente: Daniel, T. (S/F). Zaranda Vibratoria.

e) Fajas transportadoras

Las bandas y rodillos transportadores son elementos auxiliares de las instalaciones cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y conducirlo a otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada. Se han inventado muchas formas para el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos, pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas y rodillos transportadores, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento y una vez instalados en condiciones normales suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

En la figura 15 se muestra las partes de una faja transportadora.

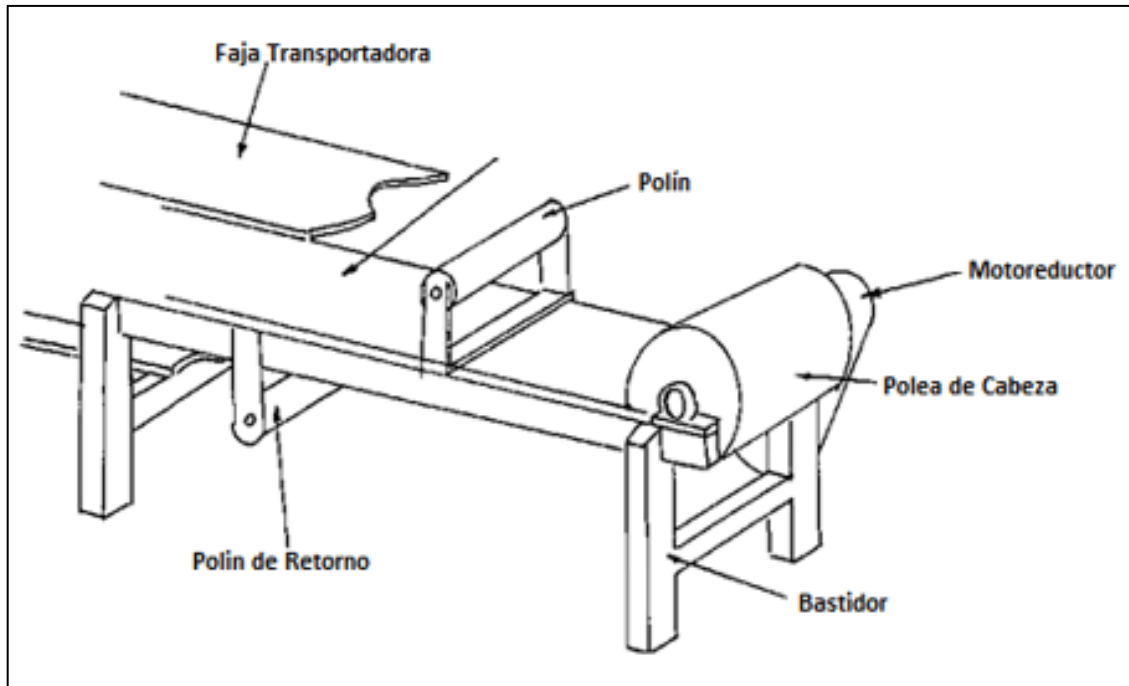


Figura 15. Partes de una zaranda vibratoria
 Fuente: 911metallurgist S.A.(S/F)

- Los polines ruedan con la correa para ayudar a reducir el arrastre de la cinta transportadora contra la cual el motor impulsor deberá tirar.
- La polea de cabeza, es por lo general, pero no siempre, la polea a la que está unida la unidad motriz. La polea giratoria llevará el transportador hacia ella. Se coloca en el extremo de la descarga del transportador.
- Los polines de retorno, estos soportan la faja en su lado de retorno del ciclo transportador.
- La polea de cola. En este transportador simple, la polea de cola se ajusta para mantener la alineación y la tensión de la correa.
- La unidad de transmisión de poder, unida a la polea de la cabeza, la unidad de accionamiento se compone de, motor, motoreductor, y correas de transmisión o cadenas.
- La faja. Esta es una superficie flexible, generalmente construida en capas alternantes de caucho y lona. La lona puede ser de diferente material y está incluido en el diseño para evitar que la correa se estire y rompa.

f) Tolva de Gruesos

Las Tolvas de gruesos son depósitos que sirven para almacenar el mineral bruto que viene de mina y en circuito de chancado secundario y terciario, esto para alimentar a las chancadoras en forma regular.

Generalmente estas tolvas de gruesos son de concreto armado, tienen la forma cuadrada que termina en un cono piramidal provista en la parte superior de una parrilla rustica construida de rieles, sirven para recibir el mineral procedente de la mina. Las tolvas de gruesos tienen una capacidad que depende principalmente de las características del mineral (humedad y granulometría).

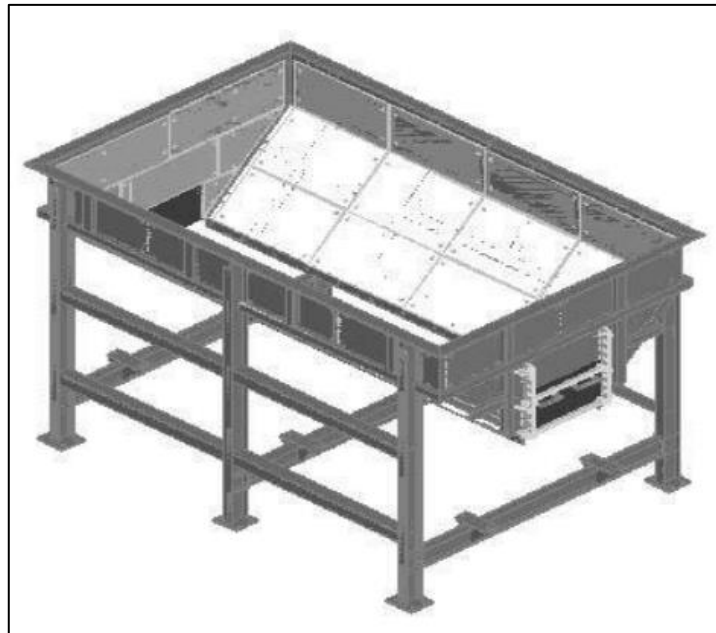


Figura 16. Tolva de gruesos

Fuente: <https://www.diseño de silos.com> (S/F).

g) Tolva de Finos

Las tolvas de finos son depósitos que sirven para almacenar el mineral fino, ya chancado y abastecer a los molinos en una forma regular. Las tolvas de finos son importantes por los siguientes motivos:

- Aseguran una alimentación constante a los molinos
- Nos permite hacer reparaciones en la sección molienda sin necesidad de parar la sección chancado.

- Nos permiten parar la sección chancado, para realizar reparaciones, limpieza, etc. sin necesidad de parar el proceso de molienda.

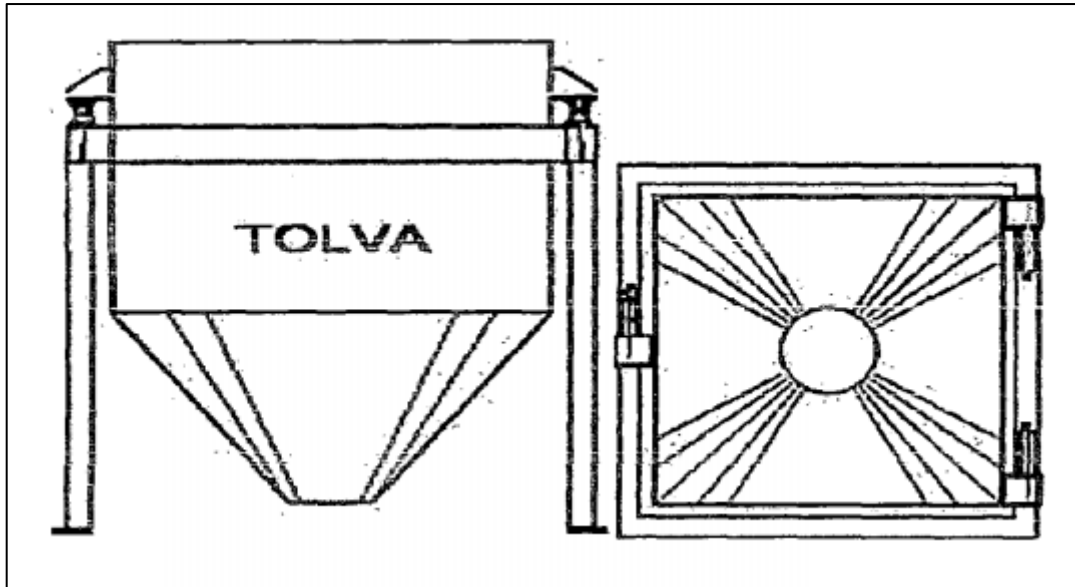


Figura 17. Tolva de finos

Fuente: López, A. (2002). Cintas Transportadoras.

2.2.4 Molienda

La etapa de reducción de tamaño que permite obtener la liberación de partículas útiles de la mena necesaria para la posterior concentración del mineral por flotación es la correspondiente a la molienda. En esta etapa se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de impacto y abrasión.

La molienda se realiza en un molino rotatorio de carga, el que consiste en: un recipiente cilíndrico de acero, provisto con revestimientos renovables contra el desgaste, entre los cuales se ubican dispositivos denominados liners, que permiten aumentar el levante de la carga. Un molino rotatorio de carga contiene, además, una carga suelta de cuerpos de trituración, denominados medio de molienda. Al girar el molino provoca que los elementos contenidos en su interior se muevan en conjunto y generen la reducción de tamaño. El medio de molienda puede ser: bolas o barras de acero, guijarros y en algunos casos, la misma mena (molienda autógena).

La característica distintiva de un molino rotatorio de carga es el uso de cuerpos de trituración sueltos, que son grandes, duros y pesados en relación a las partículas de mena, pero pequeños en relación al volumen del molino y que ocupan ligeramente menos de la mitad del volumen del molino.

En el procesamiento de minerales la molienda es un proceso continuo, donde el material se alimenta a una velocidad controlada desde las tolvas de almacenamiento hacia un extremo del molino y se descarga por el otro, después de un tiempo de residencia o permanencia apropiada. El control del tamaño del producto se realiza por el tipo de medio de molienda que se usa, velocidad de rotación del molino, naturaleza de la alimentación de la mena y tipo de circuito que se utiliza.

Las operaciones de molienda son caras, por el alto consumo de energía, alto costo de los medios de molienda y desgaste de los equipos. Por esta razón, el material se debe moler hasta satisfacer los requerimientos metalúrgicos: de liberación de tamaño y minimización de la generación de lamas finas.



Figura 18. Molino de Bolas –Unidad El Porvenir
Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Flotación

La flotación es un proceso de concentración de minerales que permite la recuperación de las especies mineralógicas valiosas a partir de minerales complejos y de baja ley.

Por lo cual, la flotación es ampliamente usado para la recuperación de minerales. Cuando la ley es demasiada baja, como consecuencia del agotamiento de las reservas minerales en los yacimientos, los ingenieros de procesamiento de minerales se ven enfrentados con diversos tipos de problemas técnico – económicos; tales como incremento de impurezas en el proceso y disminución de leyes de sustancias valiosas, que demanda operaciones con mayor tonelaje para que el proceso sea rentable.

Por consiguiente, la tendencia mundial en la industria de procesamiento de minerales, como en otras industrias, es optimizar todos los procesos involucrados. El sistema de flotación de minerales se compone básicamente del equipo, los reactivos químicos y operaciones. Por lo tanto, en cada una de ellas se debe llevar a cabo las optimizaciones empleando metodologías y técnicas apropiadas.

2.2.6 Filtrado

Filtración es el proceso de separación sólido-fluido mediante el cual el sólido es separado del fluido en una suspensión haciéndolo pasar a través de un lecho poroso, denominado medio filtrante. El lecho retiene las partículas mientras que el fluido pasa a través del medio filtrante y recibe el nombre de filtrado.

Para establecer el flujo a través del medio filtrante es necesario aplicar un gradiente de presión como fuerza impulsora. Existen varias formas para aplicar este gradiente de presión, por ejemplo: 1) la gravedad, 2) el vacío, 3) una presión, 4) un vacío y una presión combinados, 5) una fuerza centrífuga y 6) un gradiente de saturación. La mayor parte de estas formas de aplicar presión da lugar a diferentes tipos de equipos de filtración, los que se reciben el nombre de filtros.



Figura 19. Celdas de flotación

Fuente: Rupay, J. (2018). Aplicación de confiabilidad a equipos de baja criticidad – motores eléctricos.

2.3 Conceptual

2.3.1 MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) es un programa orientado al cálculo con matrices, al que se reducen muchos de los algoritmos que resuelven problemas de matemática aplicada e Ingeniería. MATLAB integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente fácil de utilizar donde los problemas y las soluciones se expresan en una notación matemática. Además, ofrece un entorno interactivo sencillo mediante una ventana en la que podemos introducir órdenes en modo texto y en la que aparecen los resultados. Los gráficos se muestran en ventanas independientes.

MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es el arreglo que no requiere de dimensionamiento previo. Esto permite resolver muchos problemas computacionales, específicamente aquellos que involucren vectores y matrices, en un tiempo mucho menor al requerido para escribir un programa en un lenguaje escalar no interactivo tal como C o Fortran. MATLAB se utiliza ampliamente en:

- Cálculos numéricos
- Desarrollo de algoritmos
- Modelado, simulación y prueba de prototipos
- Análisis de datos, exploración y visualización

- Graficación de datos con fines científicos o de ingeniería
- Desarrollo de aplicaciones que requieran de una interfaz gráfica de usuario (*GUI, Graphical User Interface*).

Componentes de MATLAB

Consta de cinco partes fundamentales:

1. Entorno de desarrollo

Se trata de un conjunto de utilidades que permiten el uso de funciones Matlab y ficheros en general. Muchas de estas utilidades son interfaces graficas de usuario. Incluye el espacio de trabajo Matlab y la ventana de comandos.

2. La librería de funciones matemáticas Matlab

Se trata de un amplio conjunto de algoritmos de cálculo, comprendiendo las funciones más elementales como la suma, senos y cosenos o la aritmética compleja, hasta funciones más sofisticadas como la inversión de matrices, el cálculo de auto valores, funciones de Bessel y transformadas rápidas de Fourier.

3. Gráficos

Matlab dispone de un conjunto de utilidades destinadas a visualizar vectores y matrices en forma de gráficos. Existe una gran cantidad de posibilidades para ajustar el aspecto de los gráficos, destacando la visualización tridimensional con opciones de iluminación y sombreado, y la posibilidad de crear animaciones.

4. El interfaz de aplicación de Matlab (API)

Consiste en una librería que permite escribir programas ejecutables independientes en C y otros lenguajes, accediendo, mediante DLLs, a las utilidades de cálculo matricial de Matlab.

5. Control Systems Toolbox

Es un conjunto de rutinas para MATLAB dedicadas a aplicar las distintas herramientas de la teoría de control clásico para sistemas lineales. Podemos dividir este toolbox en cuatro subgrupos:

- Funciones para definir modelos.
- Funciones para obtener la respuesta temporal.
- Funciones para obtener la respuesta en frecuencia.
- Funciones para el diseño de controladores

System Identification Toolbox de MATLAB

Este toolbox con el que cuenta MATLAB y que está dentro de “control system toolbox” construye modelos matemáticos de sistemas dinámicos basándose en los datos medidos de la entrada y salida, provee funciones, aplicaciones de identificación del sistema y bloques de Simulink para poder trabajar con el modelo. Se pueden usar tantos datos de entrada y salida en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia para identificar las funciones de transferencia, los modelos del proceso o el espacio de estados tanto en tiempo continuo como tiempo discreto.

Simulink

Simulink es una aplicación que permite construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control mediante diagramas de bloques. El comportamiento de dichos sistemas se define mediante funciones de transferencia, operaciones matemáticas, elementos de Matlab y señales predefinidas de todo tipo. Simulink dispone de una serie de utilidades que facilitan la visualización, análisis y guardado de los resultados de simulación. Simulink se emplea profusamente en ingeniería de control.

PID Tuner

Es una herramienta gráfica que permite la sintonización automática de controladores P, PI o PID a partir del modelo de la planta, mostrando en pantalla la salida del sistema ante una señal escalón unitario. Con PID Tuner puede ajustarse el tiempo de respuesta o el comportamiento transitorio y ver como se modifican parámetros del controlador como K_P , T_i y T_d y parámetros de la respuesta como tiempo de establecimiento, sobreimpulso, etc.

2.3.2 Automatización

Los procesos de control para el beneficio de minerales hoy en día han alcanzado la automatización progresiva por medio de instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operador de su función de actuación física directa en la planta, teniendo mayor y efectiva vigilancia del proceso desde salas de control, lo cual le permite al operador tener capacidades de respuesta en tiempos reales frente a diferentes eventos del proceso, menor variabilidad y mayor control del proceso con el propósito de incrementar la productividad de las plantas de beneficio de minerales. Algunos de los instrumentos industriales de medición y control que se suelen utilizar son sistemas discretos, sistemas de control distribuido, sistemas control digital directo, sistemas de control avanzado y sistemas expertos.

Con la implementación de un sistema de control para una, varias o todas secciones de una planta, se obtiene una correcta operación de los equipos y control de los parámetros; por lo tanto, este sistema está encaminado para apoyar al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, etc., de una o más variables dadas en el proceso productivo.

2.3.3 Sistemas de control automáticos

Los sistemas de control automático son fundamentales para el manejo de los procesos de producción de las plantas industriales. Está comprobado que el aumento de la productividad está muy relacionado a la automatización de los procesos en la medida que se haga un uso eficiente de los equipos y sistemas asociados. Actualmente la tecnología permite establecer una serie de estrategias de control que eran de difícil implementación hasta hace solamente algunos años atrás, en especial en procesos industriales complejos.

La implantación del control automático de procesos industriales es hoy en día una actividad que tiene cada vez más un carácter multidisciplinario y en la que intervienen aspectos técnicos, científicos y económicos. La visita a cualquier industria de procesos, sugiere la idea de que la fábrica pertenece ya al futuro en el sentido de que el movimiento y transformación de las materias tiene lugar 'automáticamente'.

Los procesos que se realizan pueden ser continuos, con un flujo de materias a través de los distintos mecanismos de transporte y discontinuos con un flujo intermitente de materias.

Función de transferencia

La función de transferencia de un sistema, es el modelo matemático que describe el funcionamiento de un sistema dinámico, mediante una ecuación diferencial lineal e invariante con el tiempo, constituida por el cociente de la transformada de Laplace de la función de respuesta (salida del sistema), entre la transformada de Laplace de la función de referencia (entrada del sistema), bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero. Lo anterior se representa mediante la siguiente expresión matemática:

$$G(s) = \frac{O(s)}{I(s)} \qquad \text{Ecuación (1)}$$

La función de transferencia $G(s)$ determina el funcionamiento del sistema, al relacionar la función de entrada $I(s)$ con respecto a la función de salida $O(s)$, independientemente de sus magnitudes, la utilidad de $G(s)$ es facilitar el análisis del funcionamiento del sistema que describe, si $G(s)$ es desconocida, se puede obtener experimentalmente introduciendo entradas conocidas (entre las más comunes, funciones rampa, escalón e impulso unitario) y observado la salida del sistema.

Diagramas de bloques

Un sistema de control puede tener varios componentes, así, un diagrama de bloques es una representación gráfica de las funciones o modelo matemático (en variable tiempo $[t]$ o Laplace $s=j\omega$) que lleva a cabo cada componente del sistema, mostrando las relaciones existentes entre los diversos componentes; esta representación gráfica presenta la ventaja de indicar el flujo de las señales del sistema real (izquierda entrada y derecha salida). En un diagrama de bloques se representan las variables del sistema mediante bloques funcionales, que contiene las funciones de transferencia de los componentes, y se conectan

mediante flechas para indicar la dirección de flujo de la señal como se muestra en la Figura 20.

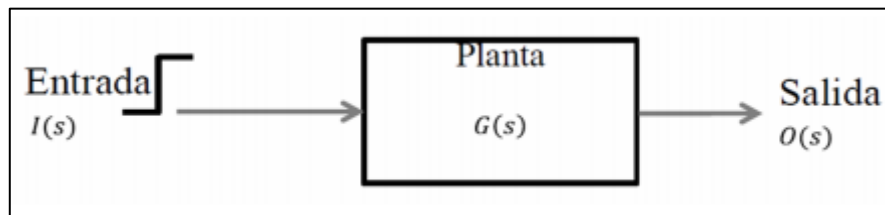


Figura 20. Diagrama de bloques de un sistema de control
Fuente: Vásquez, V. (2005), Ingeniería de Control.

Clasificación de los Sistemas de Control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y a lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

- Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.
- Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.

Los sistemas de control a lazo abierto tienen dos rasgos sobresalientes:

- a) La habilidad que éstos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.
- b) Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, que presentan los de lazo cerrado.

Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por realimentación o retroacción.

Cuando en un proceso industrial se desea controlar a una variable utilizando un lazo cerrado de control automático, la función de control implica que se realicen tres funciones básicas:

- Obtener información.
- Tomar decisiones.
- Ejecutar acciones.

Las tres funciones antes mencionadas se realizan sobre el proceso. Por lo que para realizar dichas funciones se requieren instrumentos o elementos de control.

Los cuatro componentes básicos de un sistema de control son:

- Proceso.
- Elemento de medición.
- Controlados
- Elemento final de control.

El Lazo realimentado simple sirve para ilustrar los cuatro elementos principales de cualquier lazo de control, (figura 21).

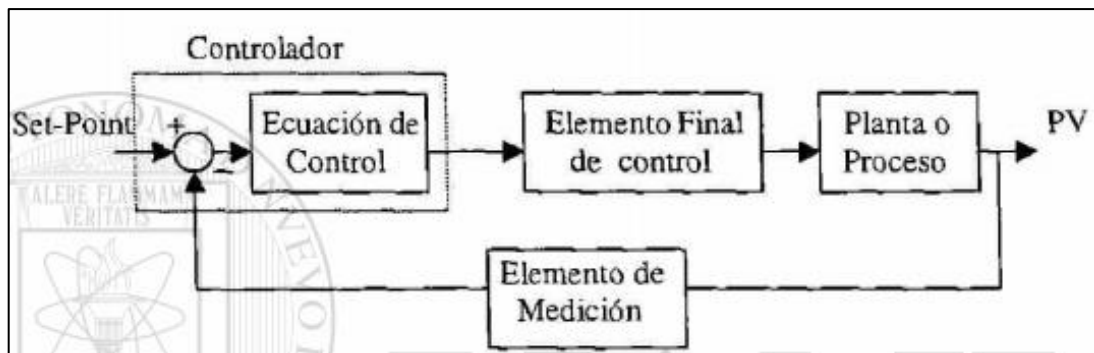


Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de control lazo cerrado
Fuente: Gallegos, I. (2017). Sistema de control de un dispositivo mecánico balanceado por medio de dos hélices.

Controladores Lógicos Programables

Un autómatas es una máquina industrial susceptible de ser programada (autómata programable industrial API), basada en un sistema que incluye un microprocesador dotado de un hardware estándar independiente del proceso a controlar. Se adapta a tal proceso mediante un programa de usuario específico (software), escrito en algún lenguaje de programación y que contiene la secuencia de operaciones a realizar. La configuración del autómatas, llamada arquitectura interna, como en todo sistema basado en un microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno.

2.3.4 Métodos clásicos de control

Ziegler-Nichols (Z-N) en lazo abierto

El método de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un controlador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado. Estas reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado. Los valores propuestos por este método intentan conseguir en el sistema realimentado una respuesta al escalón con un sobrepulso máximo del 25%, que es un valor robusto con buenas características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas.

El método apunta a una respuesta de amortiguación de un cuarto de amplitud. Aunque el tipo de ajuste de amortiguación de cuarto de amplitud proporciona un rechazo muy rápido de las perturbaciones, hace que el lazo sea muy oscilatorio, lo que a menudo provoca interacciones con los lazos sintonizados de manera similar. La afinación del tipo de amortiguación de un cuarto también deja el lazo vulnerable a volverse inestable si la ganancia del proceso o el tiempo muerto aumentan.

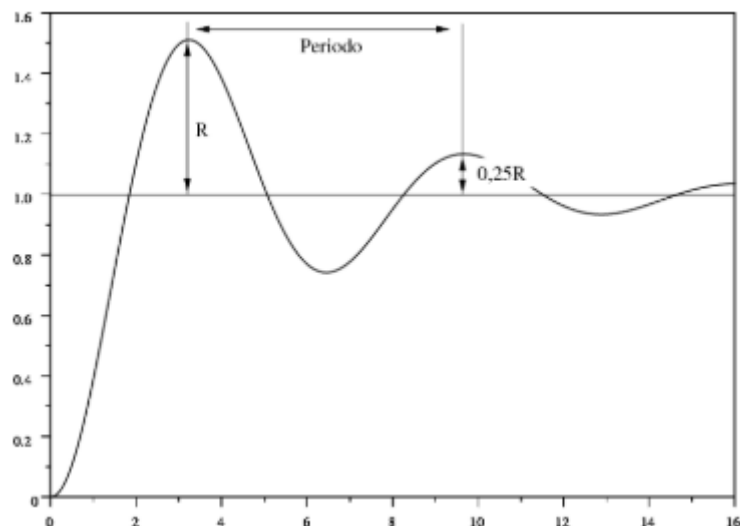


Figura 22. Característica de la salida del sistema con factor de decaimiento de un cuarto en la oscilación
Fuente: Elaboración propia

El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema.

Reglas de ajuste de lazo abierto de Ziegler-Nichols

Amortiguación de cuarto de amplitud

El método de ajuste de Ziegler-Nichols apunta a una respuesta de amortiguación de un cuarto de amplitud. Aunque el tipo de ajuste de amortiguación de cuarto de amplitud proporciona un rechazo muy rápido de las perturbaciones, hace que el lazo sea muy oscilatorio, lo que a menudo provoca interacciones con los lazos sintonizados de manera similar. La afinación del tipo de amortiguación de un cuarto también deja el lazo vulnerable a volverse inestable si la ganancia del proceso o el tiempo muerto aumentan.

Procedimiento de ajuste

Suponiendo que el lazo de control sea lineal y que el elemento de control final esté en buen estado de funcionamiento, puede continuar con el ajuste del controlador. Las reglas de ajuste de lazo abierto de Ziegler-Nichols utilizan tres características de proceso: ganancia de proceso, tiempo muerto y constante de tiempo. Estos se determinan haciendo una prueba de paso y analizando los resultados.

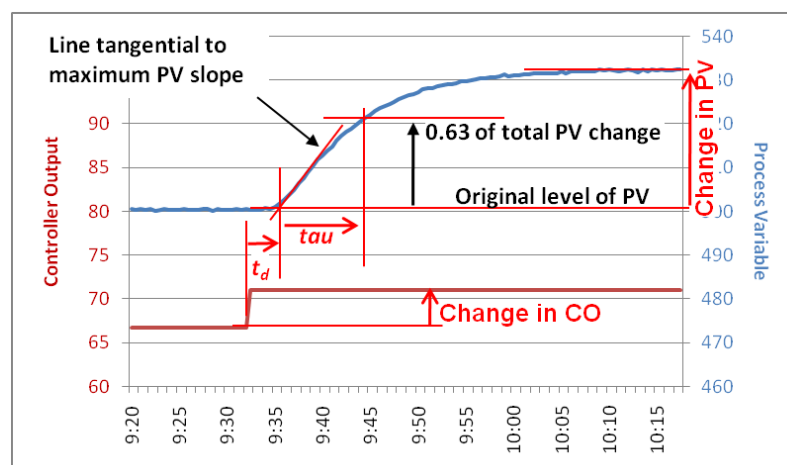


Figura 23. Respuesta del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón unitario

Fuente: Elaboración propia

1. Coloque el controlador en el manual y espere a que el proceso se estabilice.
2. Realice un cambio gradual de un pequeño porcentaje en la salida del controlador (CO) y espere a que la variable de proceso (PV) se establezca en un nuevo valor. El tamaño de este paso debe ser lo suficientemente grande como para que la variable del proceso se aleje del nivel de ruido / perturbación del proceso. Un movimiento total de cinco veces el ruido / perturbaciones en la variable de proceso debería ser suficiente.
3. Convierta el cambio total obtenido en PV a un porcentaje del intervalo del dispositivo de medición.
4. Calcule la ganancia de proceso (G_p) de la siguiente manera:
 - $G_p = \text{cambio en PV [en\%]} / \text{cambio en CO [en\%]}$
5. Encuentra la pendiente máxima en la curva de respuesta PV. Esto será en el punto de inflexión (donde el PV deja de curvarse hacia arriba y comienza a curvarse hacia abajo). Dibuje una línea tangencial a la curva de respuesta PV a través del punto de inflexión. Extienda esta línea para intersectarse con el nivel original del PV (antes del cambio de paso en CO). Tome nota del valor del tiempo en esta intersección.
6. Mida el tiempo muerto (t_d) de la siguiente manera:
 - $t_d = \text{diferencia de tiempo entre el cambio de paso en CO y la intersección descrita anteriormente.}$
7. Calcule el valor del PV al 63% (0.63) de su cambio total. En la curva de reacción de PV, encuentre el valor de tiempo en el que el PV alcanza este nivel.
8. Mida la constante de tiempo (símbolo griego tau) de la siguiente manera:
 - $\tau = \text{diferencia de tiempo entre la intersección al final del tiempo muerto y el PV que alcanza el 63\% de su cambio total.}$
9. Convierta sus medidas de tiempo muerto y constante de tiempo a las mismas unidades de tiempo que usa el modo integral de su controlador. Por ejemplo, si el tiempo integral de su controlador es en minutos, use minutos para estas mediciones.

10. Realice dos o tres pruebas de paso más y calcule la ganancia del proceso, el tiempo muerto y la constante de tiempo para cada prueba para obtener un buen promedio de las características del proceso. Si obtiene números muy diferentes cada vez, realice incluso más pruebas de pasos hasta que tenga unas pocas pruebas de pasos que produzcan valores similares. Usa el promedio de esos valores.
11. Calcule los ajustes para la ganancia del controlador (K_p), el tiempo integral (T_i) y el tiempo derivado (T_d), usando las reglas de ajuste de Ziegler-Nichols a continuación. Tenga en cuenta que estas reglas producen una respuesta de amortiguación de un cuarto de amplitud y que los valores de ganancia calculados del controlador deben dividirse entre dos.

Tabla 2: *Valores de sintonía en lazo abierto*

Tipo de Controlador	Parámetro		
	K_p	T_i	T_d
P	$\tau / (G_p * T_d)$	∞	0
PI	$0.9 * \tau / (G_p * T_d)$	$3.33 * T_d$	0
PID	$1.2 * \tau / (G_p * T_d)$	$2 * T_d$	$0.5 * T_d$

Fuente: Sandvik S.A. (S/F)

12. **IMPORTANTE:** si aún no lo ha hecho, divida la ganancia calculada del controlador (K_p) entre dos para reducir el exceso y mejorar la estabilidad.
13. Compare las configuraciones del controlador recién calculadas con las del controlador y asegúrese de que cualquier diferencia grande en los números sea esperada y justificable.
14. Tome nota de la configuración del controlador anterior, la nueva configuración y la fecha y hora del cambio.
15. Implementar y probar la nueva configuración del controlador. Asegúrese de que la respuesta esté en línea con el objetivo de control general del lazo.
16. Deje la configuración del controlador anterior con el operador en caso de que él / ella quiera volver a ellos y no pueda encontrarlo para hacerlo. Si la

nueva configuración no funciona, probablemente se haya perdido algo en uno o más de los pasos anteriores.

17. Monitoree periódicamente el rendimiento del controlador durante unos días después del ajuste para verificar el funcionamiento mejorado en diferentes condiciones de proceso.

Sintonización por la respuesta al escalón

Este método de sintonización se adapta bien a los sistemas que son estables en lazo abierto y que presentan un tiempo de retardo desde que reciben la señal de control hasta que comienzan a actuar.

Para poder determinar la respuesta al escalón de la planta o sistema controlado, se debe retirar el controlador PID y sustituirlo por una señal escalón aplicada al accionador.

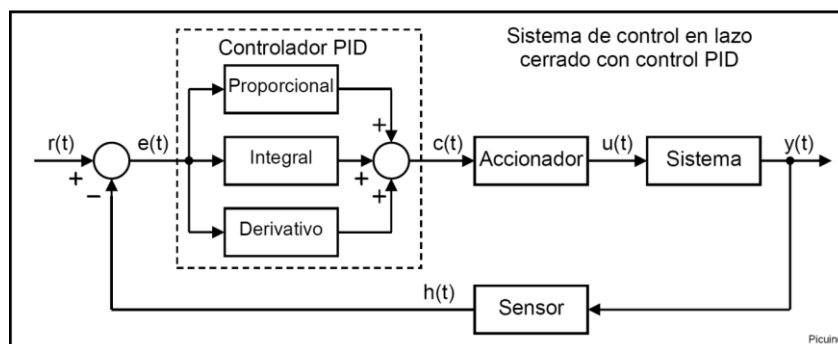


Figura 24. Diagrama de un sistema de control lazo cerrado
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la modificación que hay que realizar al sistema de control en lazo cerrado para convertirlo en un sistema en lazo abierto que responda a una señal escalón, retirando el controlador PID:

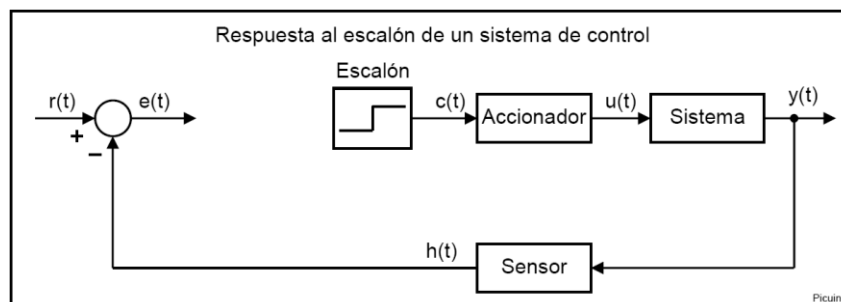


Figura 25. Respuesta un sistema de control
Fuente: Elaboración propia

Estructura del PID

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida (SISO) de un grado de libertad:

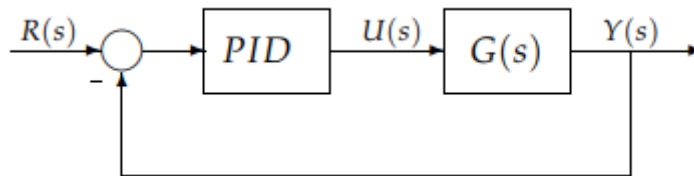


Figura 26. Diagrama en bloques
Fuente: Elaboración propia

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

P: acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_p \cdot e(t)$, que descripta desde su función transferencia queda:

$$C_p(s) = K_p \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

I: acción de control integral: da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad C_i(s) = \frac{K_i}{s} \quad \text{Ecuación 3}$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que, dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

PI: acción de control proporcional-integral, se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ecuación 4

Donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Ecuación 5

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

PD: acción de control proporcional-derivativa, se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación 6

Donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios. La función de transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + s K_p T_d$$

Ecuación 7

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que

responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error del estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante,

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 8}$$

y su función transferencia resulta:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Control PID

En el control proporcional-integral-derivativo, la acción correctora es determinada por tres factores:

- La magnitud del error. Esta es la parte proporcional.
- La integral con respecto al tiempo de la señal de error, en otras palabras, la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido. Esta es la parte integral.
- La razón de tiempo de cambio del error, un rápido cambio en el error produce una acción correctora mayor que un cambio lento en el error. Esta es la parte derivativa.

2.3.5 Diseño e implementación de un lazo de control

La implementación de equipos de control permite garantizar la seguridad en la planta y la recopilación de información de todo el proceso para validar que esta opere correctamente. En este apartado se presenta toda la información referente

a los sistemas de control de la chancadora terciaria. Por este motivo se ha descrito todos los elementos básicos de la arquitectura de control, los elementos de análisis y la medida de cada parámetro analizado en el equipo.

1.1. ELEMENTOS DEL LAZO DE CONTROL:

- **Sensor.** Elemento primario de medida. Detecta el valor del variable proceso a controlar produciendo un efecto cuya magnitud está relacionada con la variable del proceso.
- **Transmisor.** Convierte la señal física procedente del elemento de medida primario en una señal estándar que puede ser transmitida a larga distancia.
- **Controlador.** La señal estándar recibida se compara con el punto de consigna determinando el error. De acuerdo con el algoritmo de control produce otra señal que envía al elemento.
- **Elemento final de control.** Es un elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control.
- **Planta:** Generalmente es un equipo, quizás un juego de piezas de una máquina, funcionando conjuntamente, cuyo objetivo es realizar una operación determinada.

1.2. VARIABLES DE UN LAZO DE CONTROL

Asociadas con un sistema de control hay una serie de variables de diferentes tipos.

- **Variable controlada.** Cuando la planta está en operación se generan diferentes señales o variables. Esta es la variable principal del sistema y la que se desea regular.
- **SETPOINT o consigna.** valor deseado para la variable controlada. Es una señal de entrada conocida que nos sirve para calibrar al sistema.
- **Variable manipulada.** Variable que alterar o ajustar para compensar o corregir el efecto de la perturbación, señal de la salida del controlador.

- **Variable perturbación.** Variables externas del sistema de control que afectan a las variables controladas, esta señal estará presente en todo momento.
- **Error.** Es el producto de realizar la diferencia entre el SETPOINT y la señal que proviene del sensor e indica si la variable controlada ha alcanzado el valor deseado, tiene un valor menor o se ha sobrepasado. Esta señal se aplica al controlador para que tome las acciones necesarias sobre la planta.

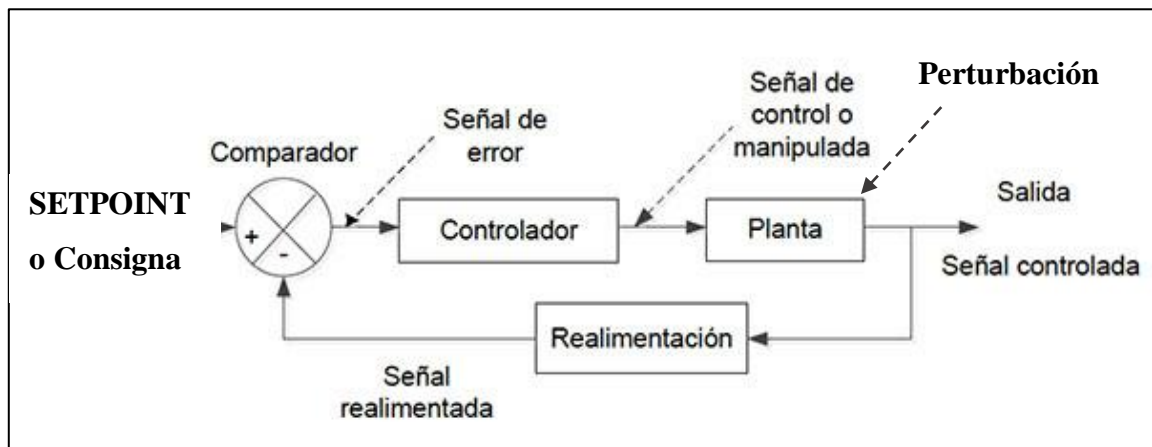


Figura 27. Diagrama a bloques de un sistema de control en lazo cerrado, Fuente: Sistema Didáctico De Control De Presión, Saida M.

Diseño del sistema de control

Hay dos cuestiones clave que deben tenerse en cuenta en la etapa de diseño de la planta; por un lado, que el proceso sea capaz de responder rápidamente a los cambios en las variables manipuladas y, por otro, que la frecuencia y la magnitud de las perturbaciones sea reducida:

El diseño del sistema de control debe incluir las siguientes actividades:

1. Definir los objetivos de control: primero se analiza el proceso y se definen los puntos críticos del mismo y entonces se fijan los objetivos. Los objetivos pueden limitarse a mantener la estabilidad del proceso o extenderse hasta lograr una operación óptima de la planta, se define la primera opción para este diseño.

Objetivo: Estabilizar el nivel de la cámara de Chancado.

2. Identificar las variables que pueden ser medidas y las que pueden ser manipuladas: es evidente que, como mínimo, habrá que medir las variables directamente involucradas en los objetivos de control. Cuando esto no sea posible, por costes o porque algunas variables sean difíciles de medir, se acude a variables secundarias, que infieren en las variables no medibles y, que estos son fácilmente medibles.

Variable controlada: Nivel de mineral en la cámara de chancado

Variable manipulada: Flujo de alimentación de mineral hacia la cámara de chancado

3. Selección de la configuración del sistema de control: una vez definidos los objetivos de control e identificadas las variables medibles y manipulables, se define la técnica de control que debe implementarse en función de dichos atributos de control.

Técnica: Lazo cerrado de control nivel

4. Especificación de la instrumentación de monitorización y control: para implementar físicamente la configuración de control seleccionada es necesario definir los instrumentos de medida, los controladores, y los elementos finales de control.

Instrumento de medida: Transmisor Vega 67

Controlador: 1756-L72 ControlLogix5572

Variador de velocidad: EVF-25D

IDE: RsLogix5000 v19.01

1. Diseño del controlador: La configuración de control que se haya definido debe ser sintonizado para que la acción correctora tenga la magnitud adecuada y se produzca en el momento preciso.

2.3.6 Normativas internacionales: Instrumentación, Sistemas y Automatización

ISA está reconocida como una organización de normalización, que desarrolla normas consensuadas para la automatización de procesos. ISA se estableció en 1945 y ha sido acreditada por ANSI. Las normas publicadas por la organización ISA están agrupadas por materias para una fácil localización.

También es reconocida en el ámbito mundial la organización ISO, que es una federación mundial de sociedades nacionales de normalización. Es una organización no gubernamental establecida en 1997. Su misión es promover el desarrollo de la normalización y actividades relativas a la misma en el mundo con el objeto de facilitar el intercambio de bienes y servicios. Alrededor y dentro de los campos de la instrumentación y el control de procesos encontramos aplicaciones tan sencillas como la medida de temperatura con un termómetro, hasta otras tan complicadas como los sistemas de control distribuido.

Por ser la tendencia actual, y porque en los institutos técnicos de formación y en las universidades se suele contar con este tipo de material, el desarrollo de aplicaciones de medida y control se implementan con instrumentación electrónica fundamentalmente haciendo uso de:

- Sensores y transductores analógicos.
- Transmisores analógicos 4 mA a 20 mA.
- Controladores digitales de procesos.
- Autómatas programables (PLC) con módulos analógicos de entrada y salida.
- Ordenador con tarjeta o modulo externo de adquisición de datos.

2.3.7 Instrumentación Industrial

La Instrumentación Industrial es el conocimiento de la correcta aplicación de los equipos encaminados para apoyar al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, ofrecer seguridad, etc., de una variable dada en un proceso productivo.

Transmisor de nivel Radar

Un radar puede definirse como cualquier dispositivo que detecta y localiza un objetivo utilizando la irradiación de energía. El radar detecta la reflexión de la onda que regresa de un objetivo y con las características de la onda reflejada puede identificar la distancia, velocidad, forma, dirección, etc. del objetivo.

Un radar consta de cuatro partes principales:

- Emisor: Corresponde al dispositivo que emite la señal.
- Receptor: Corresponde al dispositivo que recibe la señal.
- Medio: Es la materia por la que se desplaza la onda (aire, agua, etc.)
- Objetivo: Se denomina objetivo a todo objeto que sea capaz de reflejar una onda.

El rango utilizado aproximadamente es de 75GHz, lo cual es muy utilizado para la medición de sólidos en los procesos industriales.

Instrumentos de planta de Chancado

En la planta de chancado primario de la Unidad Minera El Porvenir cuenta con una gran

cantidad de instrumentos, para su revisión iniciaremos, revisando el marco teórico de estos instrumentos y con se da la estrategia de control en uno de ellos.

En la planta de chancado contamos con los siguientes tiempos de instrumentos:

Tabla 3.

Tipos de Instrumentos

INSTRUMENTOS	CHANCADO
Transmisor de nivel Radar	Cámara de Chancadora
Transmisor de Presión	Unidad de Lubricación Chancadora
Analizador de Potencia	Unidad de Lubricación Chancadora
Sensor inductivo de posición	Eje de Hydroset Chancadora

Fuente: Elaboración propia

2.3.8 Sistema ASRi

La función del sistema ASRi es un sistema desarrollado por la empresa Sandvik, su función principal es regular de forma automática la trituradora y protegerla contra sobrecargas.

El sistema ayuda al usuario a obtener una mayor producción, un mayor grado de reducción y a mejorar la distribución y la forma del producto. Otra ventaja es que las piezas de desgaste pueden utilizarse mejor.

El sistema ASRi está provisto también de funciones de ayuda que permiten al usuario

Aumentar la producción del tamaño de fragmento deseado u optimar la curva de rendimiento. Para permitirle ahorrar tiempo, ASRi posee varias funciones que facilitan el trabajo.

La caja de control dispone de un sistema informático para controlar y supervisar la trituradora. El sistema le permite también examinar datos estadísticos, datos históricos, almacenar diferentes programas de trituración, etc. La caja de control ofrece varias posibilidades de comunicación con los demás sistemas de la instalación. La interfaz del operador consiste en una pantalla de color con función de tacto y existe además la posibilidad de conectar un teclado, un ratón y un monitor externo.

Descripción general de la caja de control de ASRi

La caja de control del sistema ASRi incorpora una computadora industrial con pantalla y diferentes enlaces para comunicarse con otros sistemas. La caja de control recibe alimentación eléctrica de 24 V CC del equipo de alimentación eléctrica adjunto. La computadora está provista de una pantalla SVGA de 12" con función de tacto. El blindado es de acero inoxidable y a prueba de ácido y cumple con la clase de hermeticidad IP65.

En la parte inferior de la caja de control hay siete conectores M12. El resto de conectores están situados debajo de una tapa en el lado izquierdo, aunque éstos no se utilizan normalmente. Cuando se utilizan estos conectores, el sistema deja de cumplir con la clase de hermeticidad IP65.

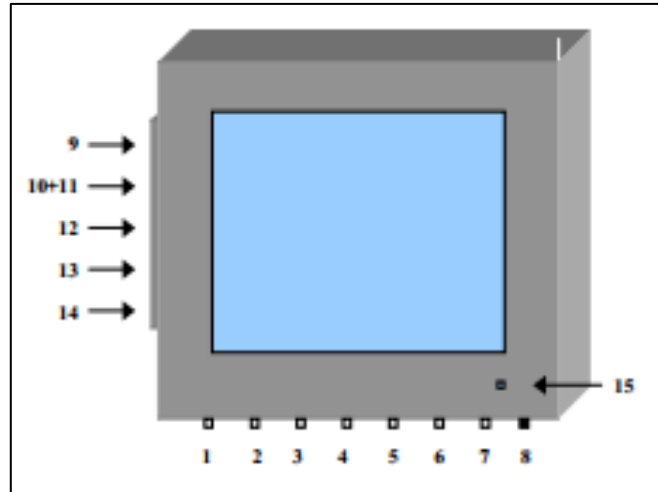


Figura 28. Panel ASRI

Fuente: Sandvik, (2004). Manual de instrucciones y documentación técnica ASRI Versión 1.20.

1. RS232
2. RS485 / Bus ASRI
3. RS485 / Bus ASRI
4. Ethernet 2, 10Mbit
5. Ethernet 1, 100Mbit
6. (Bus CAN)
7. Alimentación eléctrica 24 V CC
8. Conexión / Desconexión
9. Monitor
- 10.(USB 1)
- 11.(USB 2)
- 12.Ratón
- 13.Teclado
- 14.(Impresora)
- 15.Piloto

2.4 Definición de términos básicos

Plantas.

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. Por ejemplo, un objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).

Procesos.

Define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este libro se llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.

Sistemas.

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

Chancado.

Proceso por el cual el mineral es triturado entre 1/2" a 1/6" de su tamaño original, en preparación a la siguiente etapa de reducción (segunda o tercera etapa de chancado o circuito de molienda).

Automatización.

Se llama automatización al proceso de incorporar autómatas a la tarea en cuestión.

Autómata.

Es un sistema artificial construido con un objeto definido. Para cumplir con su tarea, el autómata está dotado de los recursos de hardware y software adecuados, dispone del suministro de energía suficiente para su funcionamiento. Además, si el objetivo final es el control, entonces, el autómata debe estar conectado al sistema, de modo que puede recibir y dar señales que se necesitan para controlarlo.

Sistema de control automático.

Un sistema de control automático es un autómata que ha sido diseñado y construido para diseñar un tipo de estrategia de control.

Estrategia de control.

Una estrategia de control es un principio conceptual que llevado a cabo permite efectuar el control de otro sistema.

Control.

Término genérico que alude a las acciones de vigilancia, supervisión, manipulación, manejo, etc. Detrás de la idea de control, existe la creencia, convicción, sentimiento o razonamiento, que es necesario influir en la natural ocurrencia de los eventos para su feliz realización.

Controlador.

Instrumento que realiza la función de controlar. Este, puede ser integrado con otros elementos funcionales de un lazo de control.

Lazo.

Una combinación de dos o más instrumentos o funciones de control conectadas de tal manera que las señales pasen de una u otra con el fin de controlar o medir una variable de proceso.

Lazo cerrado.

Es un lazo en el cual la desviación de la salida es ocupada para la corrección de la entrada.

Control realimentado.

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.

Set-Point.

Una variable de entrada, que coloca el valor deseado de una variable bajo control. El set-point puede ser colocado en forma manual, automática o programada.

Variable manipulada.

Variable del proceso que se modifica para corregir el efecto de la desviación provocada por la perturbación.

Variable controlada.

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. Es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.

Señal.

Especial clase de variable débil a la salida de un instrumento de transducción. Lo esencial de una señal es que una variable que se presta para representar a

otras variables gracias a su facilidad para ser captada, almacenada y procesada. En control e instrumentación, finalmente se han establecido rangos de magnitud física que permiten hablar de señales estándares de control. Esos rangos son: 4-20 [mA]; Voltaje de 1-5 [volts] y presión de aire comprimido de 3-15 [Psi].

Perturbación.

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

Transductor.

El termino, en general, se refiere a un dispositivo que recibe información de una o más variables físicas, modifica la información y/o su forma, si es requerido, y produce en la salida la señal resultante. Dependiendo de la aplicación, el transductor puede ser un elemento primario, un transmisor, conversor u otro aparato.

Sensor.

Nombre global de un sistema capaz de detectar una variable, cambiarla en escala de magnitud física, amplificarla, linealizarla, filtrada y acondicionarla como señal estándar de manera predeterminada. El sensor puede ser separado o integrado con otros elementos de un lazo de control. El nombre sensor se asocia a variables analógicas. El equivalente a señales discretas (on-off) se acostumbra a llamar detector.

Transmisor.

Dispositivo que obtiene una variable de proceso por medio de un sensor y que tiene como salida variados valores que son solo una función, predeterminada, de una variable de proceso. Este dispositivo puede, o no estar integrado al sensor. Este dispositivo es capaz de comunicar a distancia el estado de una variable bajo observación.

Elemento primario.

Parte del sensor que efectúa la captura de la información asociada a la variable bajo medición. También, es el que efectúa la primera transducción de la variable física a señal.

Elemento final de control.

Dispositivo que funcionalmente modula la materia o energía inyectada o extraída del proceso. Es una parte del sistema de influencia sobre el proceso. Por ejemplo, una válvula de control. El actuador capta la energía desde redes estándares de suministros (eléctricos, neumáticos, etc.) y la modula en base a una señal débil de mando proveniente de un controlador.

Variable análoga.

Variable definida en todo instante y que puede tomar todos los valores de su escala de amplitud.

Variable digital.

Variable definida en todo instante de tiempo, pero que solo puede tomar dos valores de amplitud (1 o 0).

Local.

Control en terreno próximo al elemento primario.

Remoto.

Control desde una estación o sala de control o de cualquier otro centro de mando.

Parámetro.

Atributo o propiedad de la materia o energía que pertenece invariable en el tiempo o, que su variación en el tiempo es despreciable respecto de las escalas de magnitud de un proceso. Esta propiedad puede ajustarse según el diseño. Los parámetros pueden depender de la geometría, en tal caso los sistemas se llaman parámetros distribuidos. Y, cuando no dependen de la geometría los sistemas se llaman parámetros concentrados.

Medición.

La determinación de la existencia de una magnitud o variable.

Programa.

Una secuencia de acciones que definen el estado de la salida como una relación fijada por un set de entradas.

Controlador de lógica programable (PLC).

Un controlador, usualmente, con múltiples entradas y salidas que contiene un programa alterable y que básicamente, desarrolla control lógico.

Carga.

Variable de fuerza programable o considerada en el diseño desde el punto de vista de su demanda de energía.

Rango.

Es la región entre los límites dentro del cual una cantidad es medida, recibida o transmitida.

Banda Muerta.

Puede ocurrir un cambio en la entrada, sin que se note en la salida. La banda muerta produce un retraso entre la entrada y la salida.

SPAN.

Es la diferencia algebraica entre el valor alto y el bajo del rango.

Cero.

Es el valor inferior de la escala, no necesariamente debe ser cero (en el ejemplo: 10 [mts]).

Error.

Es la diferencia entre la referencia (set-point) y la medición (sensor) $\text{Error} = \text{Valor Deseado} - \text{Valor Real}$.

Precisión.

Grado en que la medida que proporciona el instrumento se aproxima a un valor patrón de medida o a la medida ideal.

Estabilidad.

Variación experimentada de la precisión de la medida del Instrumento en un periodo de tiempo determinado.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general e hipótesis específicas

3.1.1 Hipótesis general

La implementación de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik mejora la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.

3.1.2 Hipótesis específicas

La implementación un transmisor de nivel determina que el nivel es medido corresponde con el nivel real, en la primera etapa.

Se determina la velocidad de los alimentadores vibratorios con respecto al nivel, en la segunda etapa.

La implementación de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejora la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El porvenir.

3.2 Definición de las variables

Y: Variable dependiente

Producción de mineral en finos.

X: Variable independiente

Control nivel de carga.

3.2.1 Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Control Nivel carga Producción	Nivel de mineral que se deposita dentro de la cámara de chancado en la tasa de la chancadora Sandvik.	<p>1) Describir la producción en el proceso de chancado, antes de la implementación un Control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la Unidad Minera EL PORVENIR.</p> <p>2) Diseñar un transmisor de nivel y determinar si el nivel es medido corresponde con el nivel real, en la primera etapa.</p> <p>3) Determinar la velocidad de los Alimentadores vibratorios respecto al nivel, en la segunda etapa.</p>	<p>- Nivel de chancadora</p> <p>- Volumen de Producción</p> <p>- %Error Nivel real Vs nivel medido.</p> <p>- % Nivel 0 - 100%</p> <p>-Velocidad AVB 0-60Hz</p>
Producción	Producción de mineral que se produce en el área de chancado.	<p>4) Determinar si la implementación de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera EL PORVENIR.</p> <p>5) Describir la producción en el proceso de chancado, <u>después</u> de la implementación un Control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la Unidad Minera EL PORVENIR.</p>	<p>- Volumen de Producción</p> <p>- Volumen de Producción Total</p>

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de la Investigación

Para el siguiente Trabajo, el tipo de investigación es aplicada, porque su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos de la planta, de este modo genera un aporte para la empresa.

4.1.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es experimental; porque, se manipula una de las variables independientes, Además se tiene el máximo control sobre dicha variable y se influye directamente para observar sus efectos sobre la variable dependiente.

4.2 Método de investigación

El método usado es el transversal porque recolecta datos de un solo momento y en un tiempo único. El propósito de este método es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

4.3 Población y muestra

Por tratarse de un proyecto experimental no fue necesario precisar el Universo (Población).

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El trabajo de Investigación se realizará en la Planta Concentradora – Unidad Minera El Porvenir.

4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de información

Como fuentes primarias la recolección de datos fue mediante la organización, las personas, bibliografía y manuales de equipos consultados.

La técnica de recolección de datos es mediante la observación experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas, particularmente

porque éste puede manipular la o las variables. Se utiliza como instrumento la hoja o ficha de registro de datos e históricos mediante una base de datos.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Se realiza la recolección de datos con el programa Excel para realizar la toma de datos y la herramienta System Identification Toolbox y PID-Tuner de Matlab para el procesamiento de datos.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de la tesis, se vació la información obtenida mediante la información de campo, el sistema ASRI y el programa de cálculo MATLAB, para su análisis e interpretación. Además, se realizan gráficas para una mejor comprensión de los resultados.

Se presentan los resultados en orden, partiendo del primero objetivo y luego el segundo el tercero y así sucesivamente.

2. 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 El Porvenir.

En el área de chancado de la unidad minera El Porvenir se produce en promedio 6200 tpd, registrada en una balanza dinámica al ingreso del circuito de chancado. Para el Chancado terciario se visualiza en la pantalla del Panel ASRI, se visualiza los valores de presión ejercida por el trompo del hydroset para triturar el mineral, en una tendencia.



Figura 29. Panel ASRI chancadora terciaria
Fuente Elaboración propia

Se verifica la variación des uniformé de la variable principal de la chancadora, la “**Presión**” del Hydroset lo cual impulsa el trompo para mantener el Set-Point (abertura de la chancadora)

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

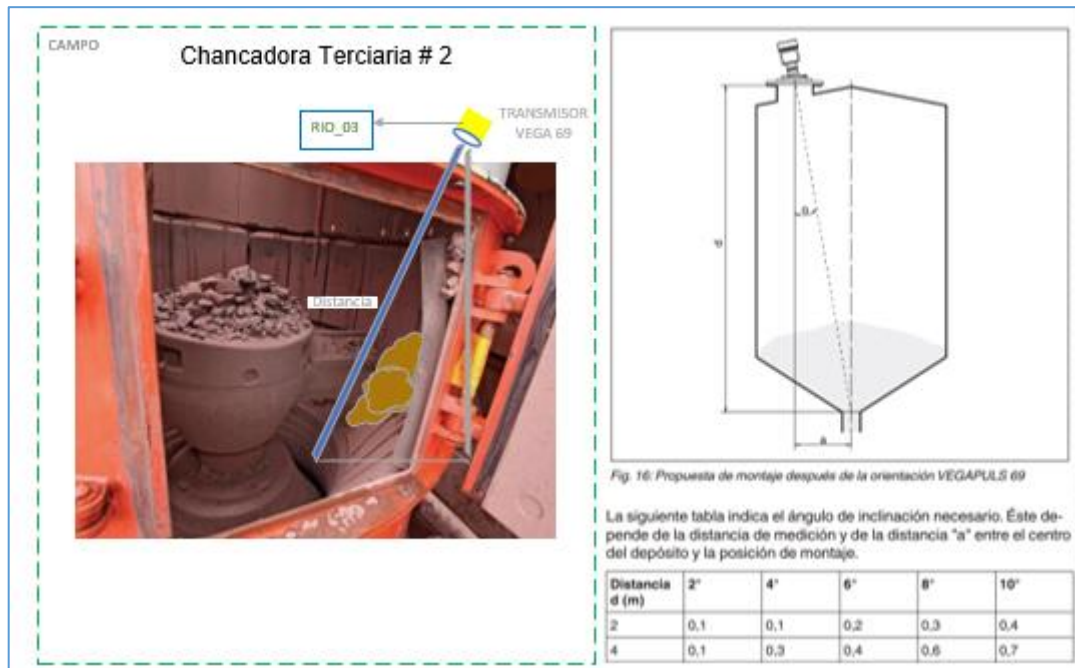


Figura 30. Instalación de transmisor de nivel
Fuente: Elaboración propia

Se realiza la instalación del transmisor de nivel de la chancadora #2 y el conexasiónado hasta el RIO_03 del PLC ControlLogix.

Se realiza la configuración de los parámetros del transmisor.

D=Distancia medida del transmisor

Ts= 1s

Tipo = granulado

Nivel_{Mín}= 0.50m

Nivel_{Máx}= 1.20m

Altura deposito= 1.20m

<p>Nombre equipo</p> 	<p>Tipo de medio</p> 
<p>Aplicación</p> 	<p>Forma del deposito</p> 
<p>Altura deposito</p> 	<p>Nivel Máximo</p> 
<p>Nivel Mínimo</p> 	<p>Tiempo de integración</p> 

Figura 31. Configuración de transmisor de nivel
Fuente: Elaboración propia

Se corrobora los datos de campo con el equipo transmisor, esta información e envía al PLC.



Figura 32. Nivel mínimo de Chancado de Chancadora Terciaria
Fuente: Elaboración propia

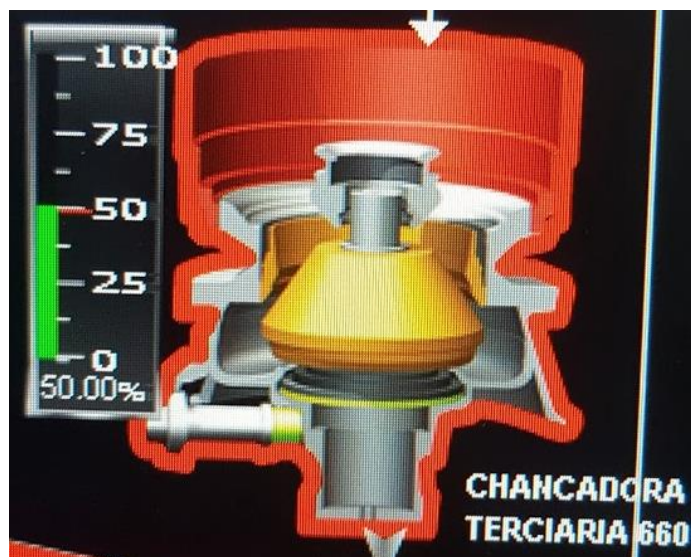


Figura 33.: Nivel intermedio de Chancado de Chancadora Terciaria
Fuente: Elaboración propia

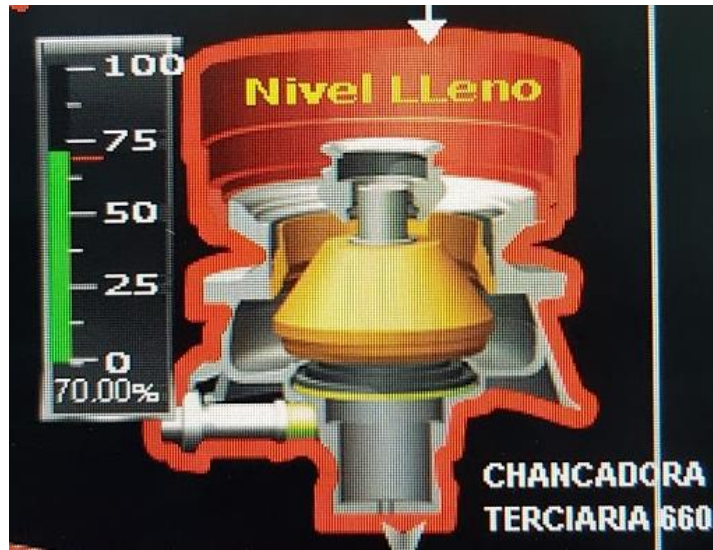


Figura 34. Nivel máximo de Chancado de Chancadora Terciaria
Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Instalación física del transmisor de nivel sobre la chancadora
Fuente: Elaboración propia

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

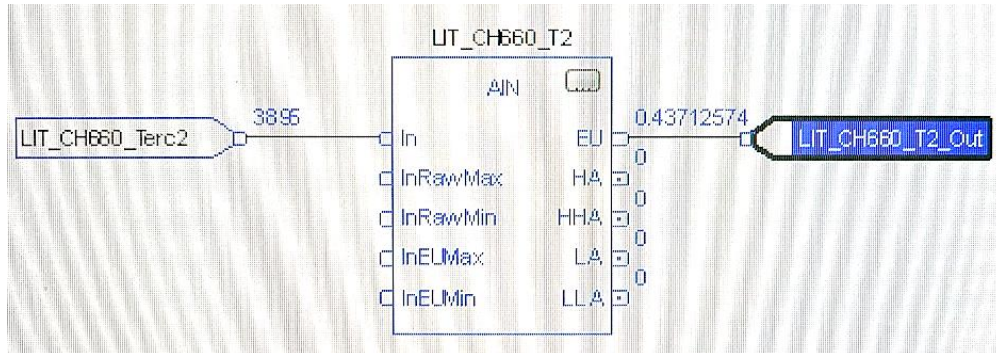


Figura 36. Diagrama de bloques de escalado de nivel
Fuente: Elaboración propia

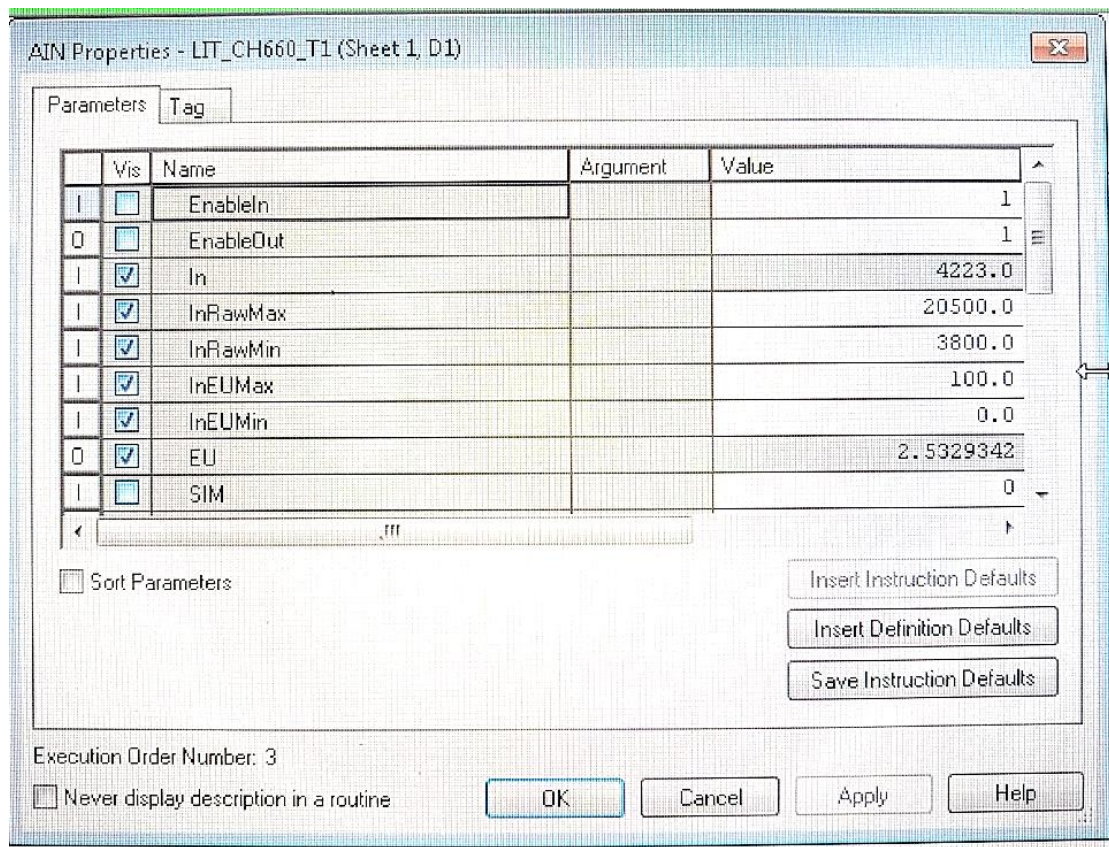


Figura 37. Configuración de parámetros de escalado de nivel
Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la configuración de los siguientes 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 minina de escalamiento
- InEUMáx: Valor de salida máxima de escalamiento
- InEUMín: Valor de salida minina de escalamiento
- EU: Lectura de la salida(Real)

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

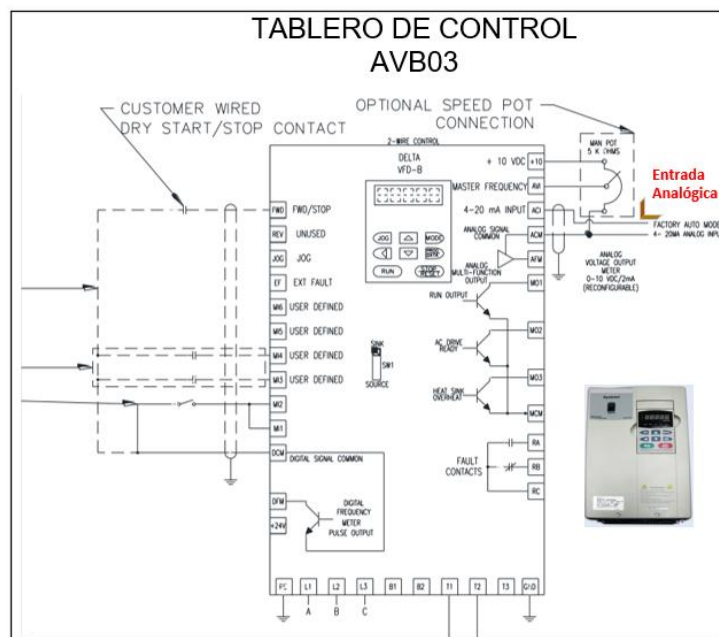


Figura 38. Instalación de señal hacia el variador (evf),
Fuente: Elaboración propia

Se realiza la conexión del alimentador vibratorio hasta el RIO_05 del PLC.
Se realiza la configuración del EVF, se muestra los parámetros.

Se corrobora los datos de campo con set de velocidad en el variador (EVF) y el equipo transmisor, esta información se realiza con un calibrador de procesos.

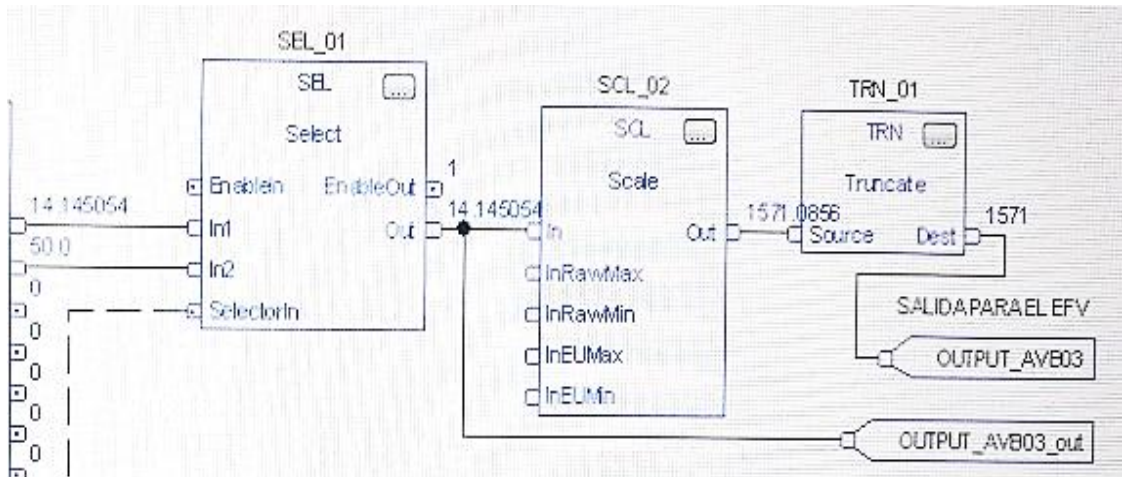


Figura 39. Lógica de desescalamiento de salida del PLC hacia el Variador
Fuente: Elaboración propia

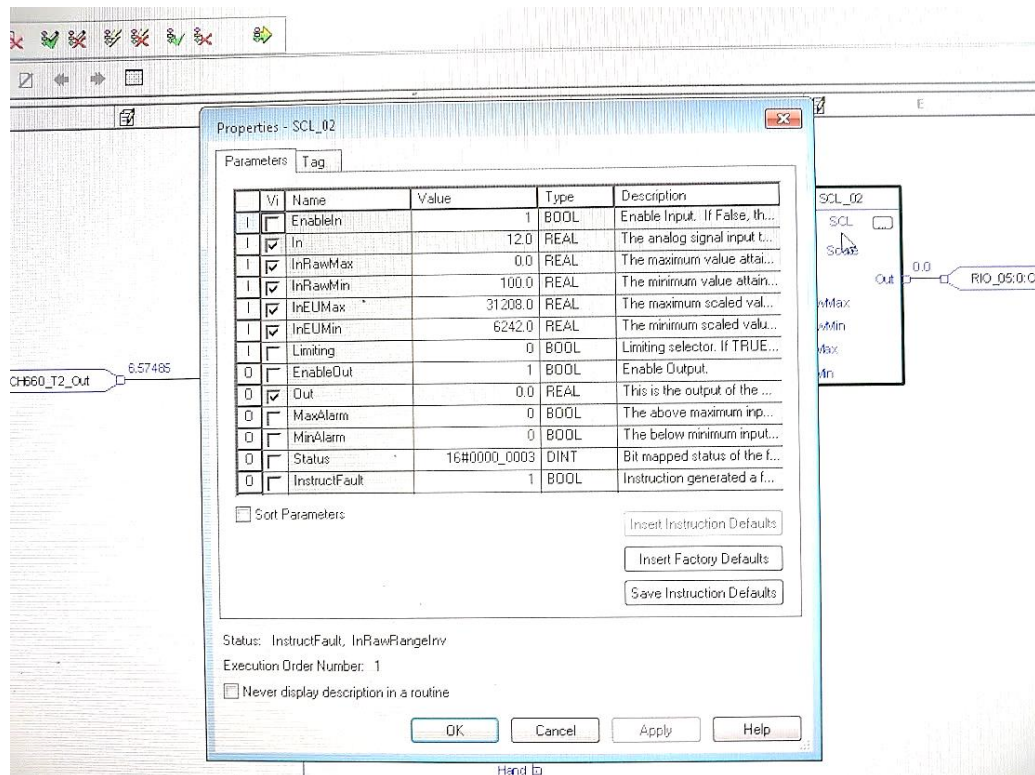


Figura 40. Configuración de parámetros de desescalado de variador
Fuente: Elaboración propia

Se realiza la configuración de los siguientes parámetros 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 de escalamiento
- InRawMín: Valor de entrada minina de escalamiento
- InEUMáx: Valor de salida máxima de escalamiento
- InEUMín: Valor de salida minina de escalamiento
- EU: Lectura de la salida(Real)



*Figura 41. Variador de velocidad EVF-25D
Fuente: Elaboración propia*

- 5. Determinar si el diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.**

Importar los datos obtenidos en campo en una tabla Excel

Realizar una respuesta de escalón hasta el 50% del nivel para el diseño.

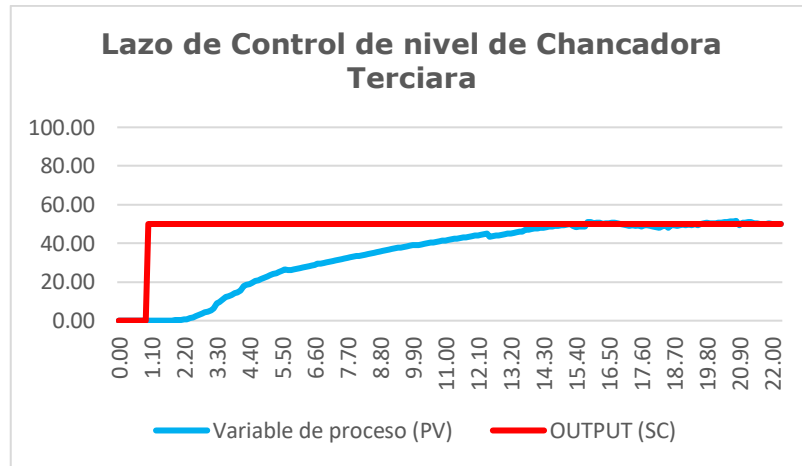


Figura 42. Respuesta en el tiempo de la variable de proceso. Excel
Fuente: Elaboración propia

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

	A TIME	B PV	C OUTPUT
	Number	Number	Number
1	0	0.07	50
2	0.1	0.11	50
3	0.2	0.15	50
4	0.3	0.02	50
5	0.4	0.08	50
6	0.5	0.01	50
7	0.6	0.01	50
8	0.7	0.17	50
9	0.8	0.16	50
10	0.9	0.13	50
11	1	0.02	50
12	1.1	0.03	50
13	1.2	0.03	50
14	1.3	0.04	50
15	1.4	0.02	50
16	1.5	0.09	50
17	1.6	0.09	50
18	1.7	0.12	50
19	1.8	0.16	50
20	1.9	0.27	50
21	2	0.31	50
22	2.1	0.42	50
23	2.2	0.6	50
24	2.3	0.79	50
25	2.4	1.23	50
26	2.5	1.82	50

Figura 43. Importación de datos a Matlab
Fuente: Elaboración propia

Obtener la función de transferencia que describa el proceso con la herramienta System identification de MATLAB.

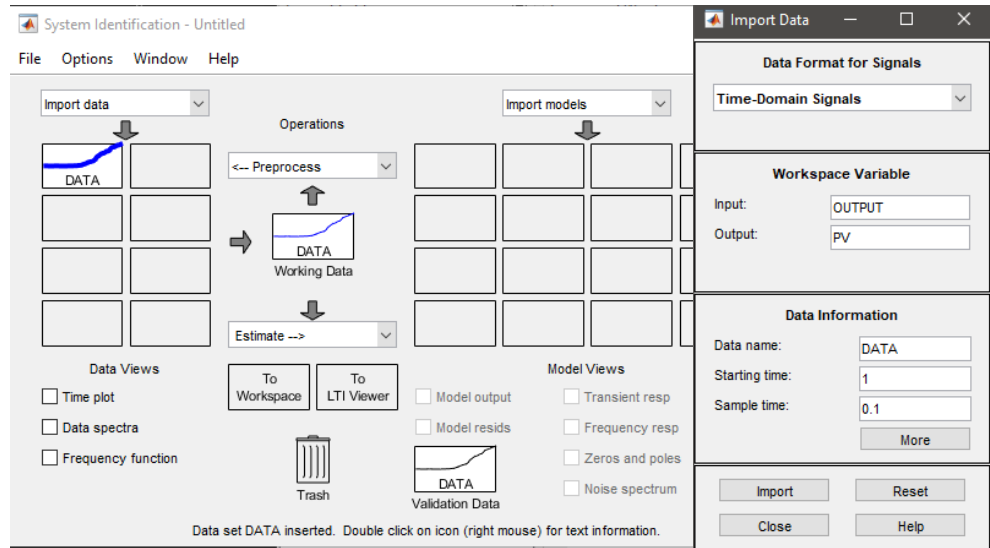


Figura 44. Sistema de identificación de en el dominio del tiempo
Fuente: Elaboración propia

```
>> 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
```

Figura 45. 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.

```

Figura 46. Función de transferencia del diseño generado por MATLAB
Fuente: Elaboración propia

- Utilizar la herramienta PID-Tuner de MATLAB para sintonizar los parámetros automáticamente.

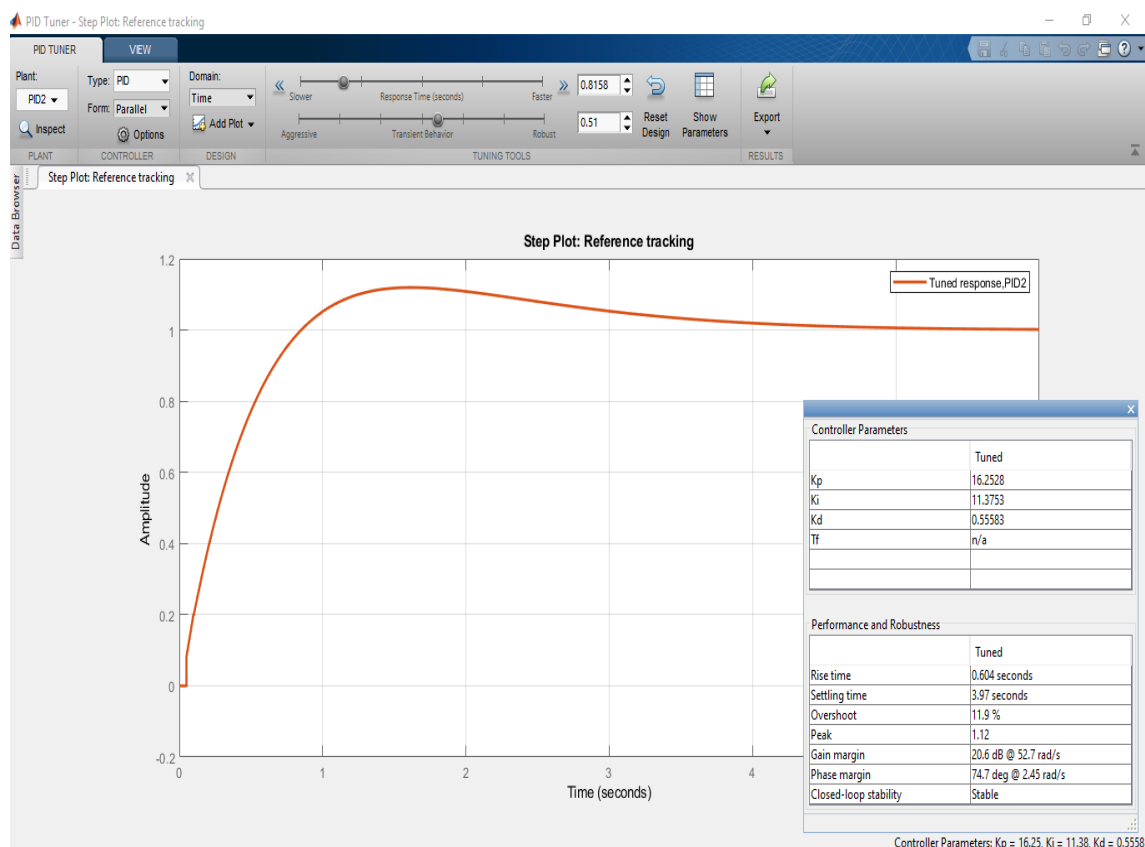


Figura 47. Sintonización del PID generado por MATLAB con la herramienta PID Tuner.
Fuente: Elaboración propia

- Logica de programación con el software RsLogix 5000 para el PLC ControlLogix

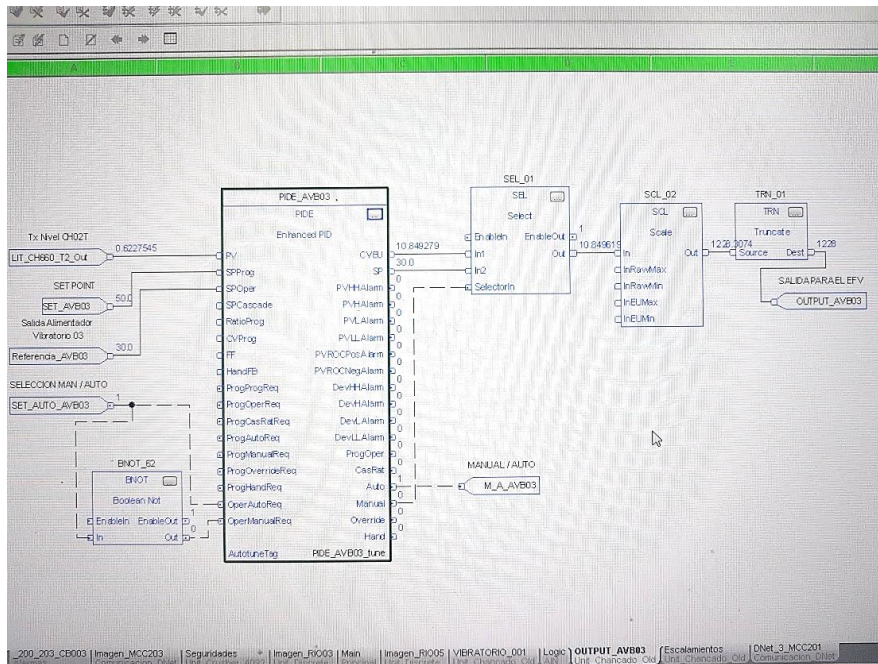


Figura 48. Diseño en el PLC para el lazo de control de Nivel.
Fuente: Elaboración propia

- Diseño en el SCADA Archestra Intouch 2012 R2 para el control, supervisión y monitoreo de las variables y los estados del sistema de control.

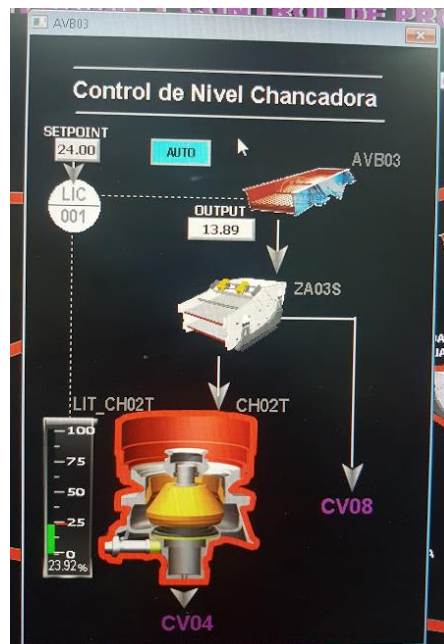


Figura 49. Diseño en el SCADA Archestra Intouch 2012 R2
Fuente: Elaboración propia

6. 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 El Porvenir.

Realizar una alimentación constante hacia la chancadora.

Se desea mantener un nivel en la cámara de chancado de la chancadora.

Realizar un lazo de control de nivel de la chancadora.

Evaluar las tendencias de las variables principales de la chancadora (“Presión”, “Temperatura”, “Abertura de Chancado”).

El sistema de control automático permitirá una operación del proceso más fiable en comparación al control manual, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables y corregir toda perturbación o desviación que se pudiera producir en ellas respecto a los valores de referencia.

5.2 Resultados inferenciales

- Contraste del nivel medido con el nivel real.

Tabla 4. *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%
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 5. 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 corrobora los datos de campo con set de velocidad en el variador (EVF) y el equipo transmisor, esta información se realiza con un calibrador de procesos fluke 715.

Se realiza una respuesta de escalón hasta el 50% del nivel para el diseño.

Gráfico de potencia promedio vs potencia consigna de la chancadora Sandvik

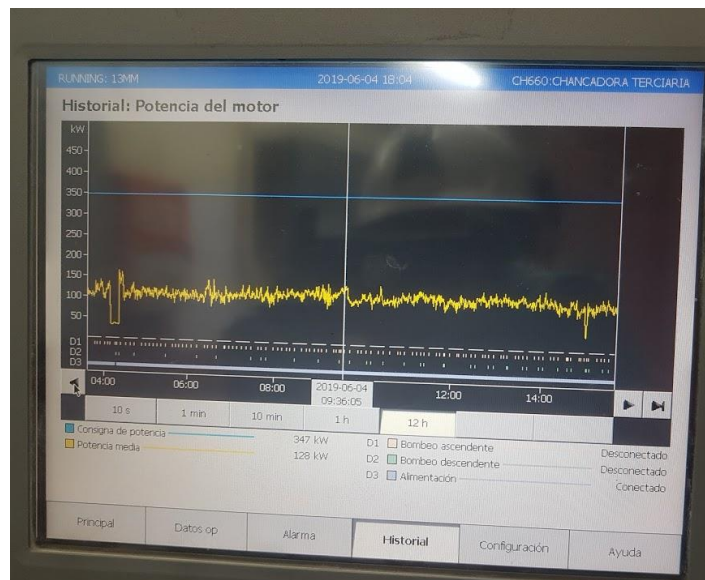


Figura 50. Gráfico de presión promedio vs potencia consigna de la chancadora Sandvik
Fuente: Elaboración propia



Figura 51. Gráfico de los parámetros principales de la chancadora Sandvik
Fuente: Elaboración propia

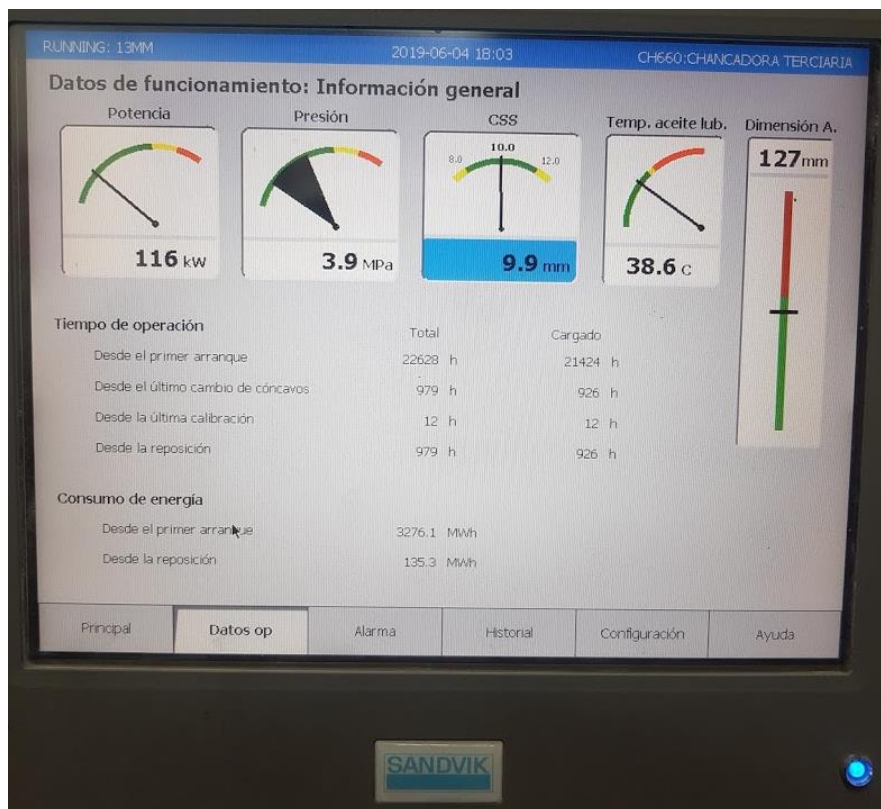


Figura 52. Pantalla de operación de la chancadora Sandvik
Fuente: Elaboración propia

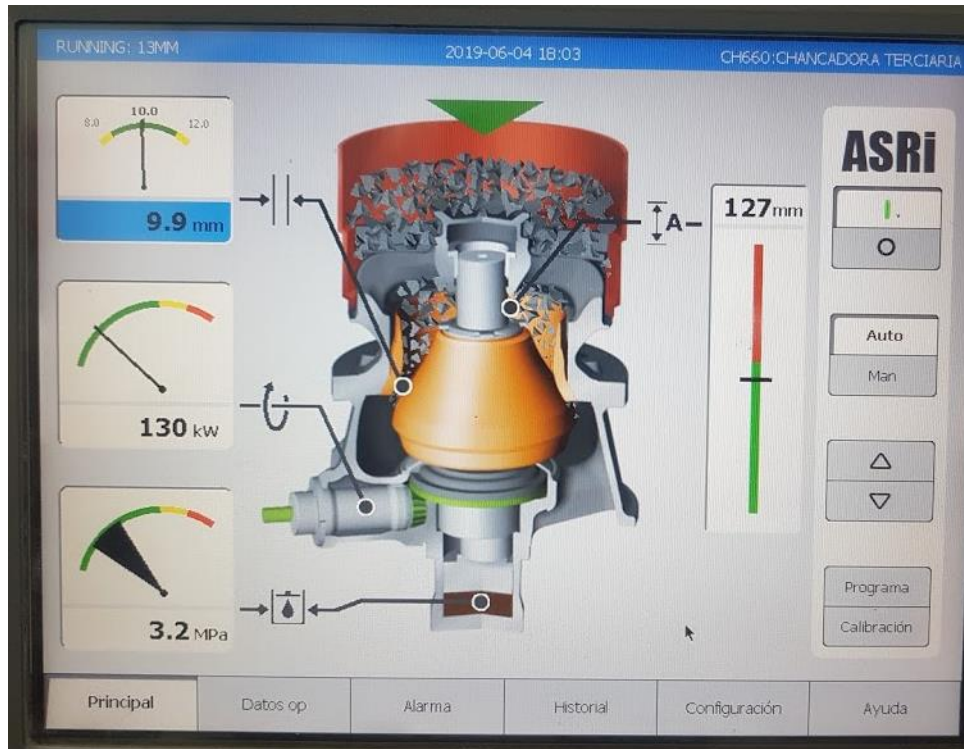


Figura 53. Chancadora Sandvik
Fuente: Elaboración propia

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

El Promedio de producción diario es de 6200 TPD, para mantener y mejorar el proceso de chancado, se realiza la toma de los tiempos de trabajo de la chancadora, generando la producción objetivo del día.

ThorasCH660= 18horas (Trabajo efectivo)

ThorasCH660=3 Horas (Horas de mantenimiento programado)

ThorasCH660=2 Horas (Parada por la operación)

ThorasCH660=1 Horas (Horas de mantenimiento no programado)

SET Point Nivel Chancadora: 50% de la chancadora

Con estos datos se garantiza la producción objetivo del día por parte del área de operaciones.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Al describir la producción en el proceso de chancado, se monitorea las tendencias de las variables principales de la chancadora (“Presión”, “Temperatura”, “Abertura de Chancado”), observando anomalías y dañando los componentes de la chancadora y se observa el cuello de botella en el proceso sin poder cumplir el objetivo diario de mineral chancado.
- Se realiza la instalación del transmisor de nivel para monitorear constantemente el nivel en la cámara de la chancadora y tomar como variable principal del lazo a controlar, obteniendo resultados satisfactorios en la medición y la aplicación del proceso.
- Se realiza la prueba de verificar la velocidad del alimentador vibratorio con el nivel de la cámara de chancado para obtener datos para la correlación de variables de estos y sirve como entrada para el diseño del lazo de control.
- Se realiza el diseño de un lazo de control de nivel para la chancadora con las herramientas computacionales, Excel, MATLAB para obtener los parámetros PID y poder simular el controlador para el proceso.
- Las reglas dadas por Ziegler y Nichols nos dan una “luz” de una relación real entre los parámetros de sintonización P, I y D y las características operacionales del proceso.
- A partir de las pruebas realizadas se estableció que el diseño presenta resultados con un desempeño adecuado y uniforme a través de los diferentes sistemas controlados.
- Se verifica la respuesta a escalón del lazo de control y la coincidencia con respecto al modelo generado con el software MATLAB.
- Al aplicar el lazo de control de nivel para la chancadora se podrá mejorar la producción de mineral en esta etapa del proceso, se obtendrá un 30% más de producción, 40% de uniformidad del mineral y una tendencia más

aceptable para las variables principales de la chancadora, consiguiendo un proceso más eficiente.

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares

- El objetivo de cada planta concentradora es obtener una mayor producción y constante en el tiempo. Para poder planificar tantas actividades de producción o de mantenimiento, por lo tanto, el área de chancado es uno de los procesos más relevantes de cada unidad minera.
- Mantener el control y realizar un monitoreo constante del proceso, ayuda a tomar mejores decisiones en un proceso y aplicar sistemas avanzados de control genera que tengamos una visión clara de la tecnología y sus aplicaciones.
- El campo de la automatización de procesos industriales es amplio y la minera es un foco de innovación para la aplicación de mejorar en sistemas y procesos, son pioneros en innovación y métodos para otro tipo de industrias.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

- El fin de la investigación es que este resultado pueda generar mejoras para el proceso, el área y el campo de instrumentación y control de procesos industriales.
- Garantizar y asegurar la validez con rigor científico, la fiabilidad y credibilidad de los métodos, fuentes y datos.

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMIRANO OPORTO, J. C. *Estudio Técnico Económico para la Ampliación de la Planta Concentradora de Minerales BERTHA*. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Lima. Universidad Nacional del Callao. 2011

ANAYA PÉREZ, BENÍTEZ BALTAZAR, PACHECO RAMÍREZ y et.al. *Diseño de Controladores P, PI y PID para el Comportamiento Dinámico de un Servo-Sistema Hidráulico, Basado en Desarrollo Experimental*. 2014

ARIAS VARGAS P. C. *Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción. Diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú*. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional del Callao. 2014

BOLTON, W. *Ingeniería de Control*. 2da Edición. Alfaomega. 2001

BRAVO GALVEZ A. *Manual de Espesamiento y Filtrado, Empresa Minera los Quenuales S.A., Unidad Minera Yauliyacu*. 2004

CATÁLOGO GOODYEAR-BANDAS FLEXSTEEL (S/F). *Tipos de bandas transportadoras*

COMPAÑIA MINERA MILPO S.A.. *Memoria anual Milpo 2012*.

COMPAÑIA MINERA MILPO S.A. *Memoria anual Milpo 2016*.

COMPAÑIA MINERA MILPO S.A. *Memoria anual Milpo 2017*.

CORRIPIO A. *Tuning of industrial control Systems*. 2001

CREUS SOLÉ A.. *Control de procesos industriales, Criterios de implantación*. Alfaomega. 1999.

ENRIQUEZ HARPER, G. *El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*. 2000.

- ERROL K. *Introducción al procesamiento de minerales*. LIMUSA 1990
- KATSUHIKO OGATA.. *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación 2010.
- LOPEZ ROA A.. *Cintas transportadoras*. Cie Inversiones editoriales dossat. 2002
- LOZANO VALENCIA, RODRÍGUEZ GARCÍA y GIRALDO BUITRAGO. *Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Auto sintonizado*. 2012
- PALLÁS ARENY. *Sensores y Actuadores*, Marcombo Editores. 1993
- QUIROZ NUÑEZ I. *Ingeniería Metalúrgica-Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1990.
- RAMÍREZ QUIROZ E. *Controladores Lógicos Programables*. Instituto Tecnológico Superior TECSUP. 1997
- RODRIGO PASCUAL J. *Mantenimiento de una Chancadora Sandvik H-8000*. 2003
- SANDVIK. *Manual de instrucciones y Documentación técnica ASRi Versión 1.2*. 2004
- SMITH C.,CORRIPIO A. *Control automático de procesos*. 2014
- Kuo, B., (1996), *Sistemas de Control Automático*, México DF, México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Lucas Nülle, (1990), *Operating Instructions PID – Controller*, 1a versión. SO3536-6B.
- Mathworks, (S.F). *PID Control Design with Control System Toolbox* (video). Recuperado en julio de 2016 de: <http://es.mathworks.com/videos/pid-control-design-with-control-system-toolbox68748.html>
- J.G. Ziegler and N.B. Nichols, *Optimum settings for automatic controllers*. Transactions of the ASME, 64, pp. 759–768, 1942.

Recursos Electrónicos

<https://www.nexaresources.com/es>

<http://www.milpo.com.pe> .(S/F)

<https://www.nexaresources.com/es> .(S/F).

<https://www.bvl.com.pe/hhii/B20010/20180222163001/MEMORIA32ANUAL32NEXA32PER21832VF.PDF>. (S/F).

<http://kallpasab.com/reportes/Cia.%20Minera%20Milpo%20S.A.A.%20-%20Inicio%20de%20Cobertura%20-%20VF%20@%20PEN%202.75%20-%20Comprar.pdf>. (S/F).

http://facingyconst.blogspot.com/2009_04_16_archive.html.

<http://imcovex.com/imcovex/portfolio/alimentador-vibratorio-electromagnetico/www.Insotec.mza>, recuperado el día 29/12/2018.

<http://trituradoras-de-roca.com/wiki/1464.html>.

<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/fajas-transportadoras/>

http://www.esi2.us.es/~fabio/apuntes_matlab.pdf

<https://es.slideshare.net/taysuu/ziegler-nichols-metodo-1>

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062014000500005

<http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2016/ii/guia-7.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título del Proyecto: “DISEÑO DE UN CONTROL DE NIVEL DE CARGA DE LA CHANCADORA SANDVIK PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE CHANCADO EN LA UNIDAD MINERA EL PORVENIR”

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p><u>Problema General</u></p> <p>PG ¿El diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir?</p> <p><u>Problemas Específicos</u></p> <p>P1. ¿Cómo es 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 El Porvenir?</p> <p>P2. ¿El diseño de un control de nivel determinará el nivel medido con el nivel real en la primera etapa?</p> <p>P3. ¿La determinación de velocidades de los alimentadores corresponde con el nivel, en la segunda etapa?</p> <p>P4. ¿El diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir?</p>	<p><u>Objetivo General</u></p> <p>OG Diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik para mejorar la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.</p> <p><u>Objetivos Específicos</u></p> <p>O1 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 El Porvenir.</p> <p>O2 Diseñar un transmisor de nivel y determinar si el nivel es medido corresponde con el nivel real, en la primera etapa.</p> <p>O3 ¿La determinación de velocidades de los alimentadores corresponde con el nivel, en la segunda etapa?</p> <p>O4 Determinar si el diseño de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejorará la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.</p> <p>O5 Describir la producción en el proceso de chancado, después del</p>	<p><u>Variables</u></p> <p><u>Variables Independientes</u> X: Control de nivel de carga.</p> <p><u>Variables dependientes</u> Y: Producción mineral en finos.</p> <p><u>Indicadores</u> X1: nivel 30% X2: volumen de producción total X3: % error nivel real vs nivel medido X4: % nivel 0-100% corriente de consumo de la carga. X5: velocidad AVB 0-60Hz. Y1: nivel 60% Y2: volumen de producción Y3: volumen de producción total.</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>HG: La implementación de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik mejora la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El Porvenir.</p> <p><u>Hipótesis Específicas</u></p> <p>H₁ La implementación un transmisor de nivel determina que el nivel es medido corresponde con el nivel real, en la primera etapa H₂: Se determina la velocidad de los alimentadores vibratorios con respecto al nivel, en la segunda etapa. H₃: La implementación de un control nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la tercera etapa, mejora la producción en el proceso de chancado en la Unidad Minera El porvenir</p>	<p><u>1Tipo de investigación</u></p> <p>El tipo de investigación es aplicada, porque su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos de la planta, de este modo genera un aporte para la empresa.</p> <p><u>2Diseño de la investigación</u> El diseño de la investigación es experimental; porque, se manipula una de las variables independientes, además se tiene el máximo control sobre dicha variable y se influye directamente para observar sus efectos sobre la variable dependiente</p> <p><u>3Método de investigación</u> El método usado es el transversal porque recolecta datos de un solo momento y en un tiempo único. El propósito de este método es describir y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.</p> <p><u>4Población y muestra</u> Por tratarse de un proyecto experimental no fue necesario precisar el Universo (Población).</p> <p><u>5Lugar de estudio</u> El trabajo de investigación se realizará en la Planta Concentradora de la Unidad Minera El Porvenir, que se encuentra ubicada en la Provincia de Cerro de Pasco,</p>

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
P5. ¿Cómo es 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 El Porvenir?	diseño de un control de nivel de carga de la Chancadora Sandvik, en la Unidad Minera El Porvenir.			<p>departamento de Pasco, a 321 km de Lima a una altitud de 4,200msnm.</p> <p><u>6Técnicas e instrumentos de recolección de datos</u></p> <p>Como fuentes primarias la recolección de datos fue mediante la organización, las personas, bibliografía y manuales de equipos consultados.</p> <p>La técnica de recolección de datos es mediante la observación experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas, particularmente porque éste puede manipular la o las variables. Se utiliza como instrumento la hoja o ficha de registro de datos e históricos mediante una base de datos.</p>

Anexo 2. Base de datos

Tiempo(Seg)	Variable de proceso (PV)	OUTPUT (SC)
0.00	0.07	0.00
0.10	0.11	0.00
0.20	0.15	0.00
0.30	0.02	0.00
0.40	0.08	0.00
0.50	0.01	0.00
0.60	0.01	0.00
0.70	0.17	0.00
0.80	0.16	0.00
0.90	0.13	0.00
1.00	0.02	50.00
1.10	0.03	50.00
1.20	0.03	50.00
1.30	0.04	50.00
1.40	0.02	50.00
1.50	0.09	50.00
1.60	0.09	50.00
1.70	0.12	50.00
1.80	0.16	50.00
1.90	0.27	50.00
2.00	0.31	50.00
2.10	0.42	50.00
2.20	0.60	50.00
2.30	0.79	50.00
2.40	1.23	50.00
2.50	1.82	50.00
2.60	2.38	50.00
2.70	3.12	50.00
2.80	3.77	50.00
2.90	4.17	50.00
3.00	4.55	50.00
3.10	5.17	50.00
3.20	6.27	50.00
3.30	8.88	50.00
3.40	9.73	50.00
3.50	11.08	50.00
3.60	12.33	50.00
3.70	12.45	50.00
3.80	13.23	50.00
3.90	14.38	50.00

4.00	14.56	50.00
4.10	15.66	50.00
4.20	17.89	50.00
4.30	18.43	50.00
4.40	18.95	50.00
4.50	19.56	50.00
4.60	20.45	50.00
4.70	20.73	50.00
4.80	21.51	50.00
4.90	22.17	50.00
5.00	22.77	50.00
5.10	23.40	50.00
5.20	24.03	50.00
5.30	24.66	50.00
5.40	25.29	50.00
5.50	25.91	50.00
5.60	26.54	50.00
5.70	26.12	50.00
5.80	26.10	50.00
5.90	26.46	50.00
6.00	26.88	50.00
6.10	27.12	50.00
6.20	27.57	50.00
6.30	27.99	50.00
6.40	28.13	50.00
6.50	28.54	50.00
6.60	28.77	50.00
6.70	29.32	50.00
6.80	29.63	50.00
6.90	29.94	50.00
7.00	30.24	50.00
7.10	30.55	50.00
7.20	30.86	50.00
7.30	31.16	50.00
7.40	31.47	50.00
7.50	31.78	50.00
7.60	32.08	50.00
7.70	32.39	50.00
7.80	32.69	50.00
7.90	33.00	50.00
8.00	33.31	50.00
8.10	33.61	50.00
8.20	33.92	50.00

8.30	34.23	50.00
8.40	34.53	50.00
8.50	34.84	50.00
8.60	35.15	50.00
8.70	35.45	50.00
8.80	35.76	50.00
8.90	36.07	50.00
9.00	36.37	50.00
9.10	36.68	50.00
9.20	36.99	50.00
9.30	37.29	50.00
9.40	37.60	50.00
9.50	37.80	50.00
9.60	38.10	50.00
9.70	38.40	50.00
9.80	38.65	50.00
9.90	38.99	50.00
10.00	39.06	50.00
10.10	39.23	50.00
10.20	39.57	50.00
10.30	39.82	50.00
10.40	40.06	50.00
10.50	40.30	50.00
10.60	40.54	50.00
10.70	40.79	50.00
10.80	41.03	50.00
10.90	41.27	50.00
11.00	41.52	50.00
11.10	41.76	50.00
11.20	42.00	50.00
11.30	42.24	50.00
11.40	42.49	50.00
11.50	42.73	50.00
11.60	42.97	50.00
11.70	43.21	50.00
11.80	43.46	50.00
11.90	43.70	50.00
12.00	43.94	50.00
12.10	44.18	50.00
12.20	44.43	50.00
12.30	44.67	50.00
12.40	44.91	50.00
12.50	43.46	50.00

12.60	43.70	50.00
12.70	43.94	50.00
12.80	44.18	50.00
12.90	44.43	50.00
13.00	44.67	50.00
13.10	44.91	50.00
13.20	45.15	50.00
13.30	45.40	50.00
13.40	45.64	50.00
13.50	45.88	50.00
13.60	46.17	50.00
13.70	46.88	50.00
13.80	47.06	50.00
13.90	47.49	50.00
14.00	47.55	50.00
14.10	47.82	50.00
14.20	47.99	50.00
14.30	48.12	50.00
14.40	48.34	50.00
14.50	48.53	50.00
14.60	48.71	50.00
14.70	48.90	50.00
14.80	49.09	50.00
14.90	49.28	50.00
15.00	49.47	50.00
15.10	49.77	50.00
15.20	49.99	50.00
15.30	48.99	50.00
15.40	48.50	50.00
15.50	48.70	50.00
15.60	48.55	50.00
15.70	48.79	50.00
15.80	51.04	50.00
15.90	50.88	50.00
16.00	50.35	50.00
16.10	50.77	50.00
16.20	50.54	50.00
16.30	50.05	50.00
16.40	50.23	50.00
16.50	50.35	50.00
16.60	50.77	50.00
16.70	50.57	50.00
16.80	50.32	50.00

16.90	50.18	50.00
17.00	49.67	50.00
17.10	49.40	50.00
17.20	48.90	50.00
17.30	49.34	50.00
17.40	48.88	50.00
17.50	49.42	50.00
17.60	48.82	50.00
17.70	49.47	50.00
17.80	49.46	50.00
17.90	48.98	50.00
18.00	48.62	50.00
18.10	48.32	50.00
18.20	48.13	50.00
18.30	48.71	50.00
18.40	49.23	50.00
18.50	48.06	50.00
18.60	49.31	50.00
18.70	49.23	50.00
18.80	49.01	50.00
18.90	49.43	50.00
19.00	49.73	50.00
19.10	49.50	50.00
19.20	49.68	50.00
19.30	49.46	50.00
19.40	50.14	50.00
19.50	49.27	50.00
19.60	49.99	50.00
19.70	50.32	50.00
19.80	50.53	50.00
19.90	50.19	50.00
20.00	50.35	50.00
20.10	50.51	50.00
20.20	50.67	50.00
20.30	50.83	50.00
20.40	50.99	50.00
20.50	51.15	50.00
20.60	51.31	50.00
20.70	51.47	50.00
20.80	51.63	50.00
20.90	49.27	50.00
21.00	50.65	50.00
21.10	50.70	50.00

21.20	51.05	50.00
21.30	50.87	50.00
21.40	50.44	50.00
21.50	50.39	50.00
21.60	49.97	50.00
21.70	49.86	50.00
21.80	50.14	50.00
21.90	50.25	50.00
22.00	50.07	50.00
22.10	50.05	50.00
22.20	50.16	50.00
22.30	50.02	50.00
22.40	50.05	50.00
22.50	49.99	50.00
22.60	49.88	50.00
22.70	50.85	50.00
22.80	49.94	50.00
22.90	50.06	50.00
23.00	50.12	50.00

Anexo 3. Otros anexos

DIAGRAMA DE LAZO CONTROL DE NIVEL DE LA CHANCADORA SANDVIK

