FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

OPTIMIZACION DE MÁQUINA DESPEGADORA DE CÁTODOS MANTO VERDE

Héctor Hernán Anacona Anacona

Copiapó, Chile 2024

UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

OPTIMIZACION DE MÁQUINA DESPEGADORA DE CÁTODOS, MANTO VERDE

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Ejecución en Instrumentación y Automatización Industrial.

Profesor Guía: Juan Carlos Madrigal Lobos

Héctor Hernán Anacona Anacona

Copiapó, Chile 2024

DEDICATORIA

Por haberme apoyado y animado a continuar estudiando a pesar de mi edad, por su paciencia, sus palabras de aliento y ser partícipe de llegar al término de mis estudios.

A mi pareja.

Siempre me apoyaron y me dieron entusiasmo con sus palabras.

A mis hijos.

Por su apoyo incondicional.

A mis padres.

Que siempre estuvieron ahí para despejar mis dudas e incentivarnos a ser mejores profesionales.

A mis maestros.

Todo esto ha sido posible gracias a ellos.

Héctor Hernán Anacona Anacona

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi Familia, Hijos, Padres, Hermanos y a mi pareja en especial por el apoyo brindado en este proceso de engrandecimiento profesional, a nuestros Maestros, que nos dieron las herramientas para poder enfrentar los nuevos desafíos laborales e incentivarnos para seguir perfeccionándonos en el futuro.

Estoy muy agradecido de cada uno de Ustedes.

RESUMEN

En la actualidad todas las empresas cualquiera sea su rubro, buscan optimizar los tiempos de operación y producción en equipos definidos como críticos, este tema tiene cada vez mayor relevancia. Por este motivo cualquier mejora que se desee implementar en esta materia para optimizar aún más el servicio, es muy bienvenida por toda la organización que trabaja en ella y no se duda en llevarla a cabo. A continuación, se presenta una mejora implementada en la faena Manto Verde de la Empresa Minera "Capstone Copper" específicamente en su planta de electro obtención, en donde la problemática existente, es una de las etapas de la maquina despegadora de cátodos de tipo carrusel, más conocida con su nombre en inglés como "Stripping Machine". Esta máquina es la encargada de separar los cátodos de la placa de acero inoxidable y apilarlos en paquetes para ser enviados al cliente en el mercado del cobre. El problema, radica en la salida de la etapa de martilleo de la máquina, según un estudio de los modos de detención, es aquí donde se están generando detenciones que afectan la producción y los costos de mantención, esto debido a la mala técnica empleada para detectar los cátodos fuera de posición de la guía porta cátodos de la maquina despegadora, actualmente en esta etapa existe un sensor retro reflectivo ubicado en la guía mecánica, por ende cuando se producen posiciones anormales en la salida de esta etapa, los cátodos impactan dicha guía dejando el equipo fuera de servicio por mayor tiempo a consecuencia de estos eventos, se tiene una estimativa pérdida de dinero, dados estos antecedentes se controlará la situación actual, aplicando una nueva técnica para detectar estos cátodos fuera de posición, será la instalación de un dispositivo sensor infrarrojo de proximidad para hacer control sobre el objeto, en este caso el cátodo de cobre y de esta manera controlar de mejor forma la detención del equipo, evitando los daños estructurales y dando continuidad operacional al equipo. Finalmente, como resultado de lo anterior con esta mejora se logró detectar de mejor manera el cátodo fuera de posición en la guía de cátodos de esta etapa y disminuir el tiempo de detención de la máquina a causa de este evento. Optimizando la producción, los costos de mantención por cambio de componentes y reparación, además una mejor calidad en el producto final.

Palabras clave: Cátodos – automatización – maquina despegadora de cátodos - martilleo.

ABSTRACT

Currently, all companies, regardless of their field, seek to optimize operation and production times in equipment defined as critical; this issue is increasingly relevant. For this reason, any improvement that is desired to be implemented in this area to further optimize the service is very welcome by the entire organization that works in it and there is no hesitation in carrying it out. Below, an improvement implemented at the Manto Verde site of the "Capstone Copper" Mining Company is presented, specifically in its electrowinning plant, where the existing problem is one of the stages of the carousel-type cathode stripping machine. Better known by its English name as "Stripping Machine". This machine is responsible for separating the cathodes from the stainless steel plate and stacking them in packages to be sent to the client in the copper market. The problem lies at the exit of the hammering stage of the machine, according to a study of the stopping modes, this is where stoppages are being generated that affect production and maintenance costs, this is due to the poor technique used to detect the cathodes out of position of the cathode holder guide of the peeling machine, currently in this stage there is a retro-reflective sensor located in the mechanical guide, therefore when abnormal positions occur at the exit of this stage, the cathodes impact said guide Leaving the equipment out of service for a longer period of time as a result of these events, there is an estimated loss of money. Given this background, the current situation will be controlled, applying a new technique to detect these cathodes out of position, which will be the installation of a device infrared proximity sensor to control the object, in this case the copper cathode and in this way better control the stoppage of the equipment, avoiding structural damage and giving operational continuity to the equipment. Finally, as a result of the above, with this improvement, it was possible to better detect the cathode out of position in the cathode guide of this stage and reduce the downtime of the machine due to this event. Optimizing production, maintenance costs due to component changes and repair, as well as better quality in the final product.

Keywords: Cathodes – Automation – cathode stripping machine – hammering.

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo General……..1

1.2 Objetivos Especificos.....2

1.3 Metodologia de trabajo……...……..2

1.4 Resumen de capítulos……3

1.5 Reseña Historica de Manto Verde……4

1.6 Misionde la Empresa…….……...5

1.7 Ubicación de la Faena Manto Verde……5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Procesode Electroobtención de Cobre…… ….6

2.2 Máquina Despegadora de Cátodos……...…… ...6

2.3 Etapa de Martilleo en la Máquina Despegadora de Cátodos……6

2.4 Desafíos y Avances Tecnológicos……... …7

2.5 Sensores de Proximidad en la Automatización…… …7

2.6 Reseña a los sensores mas utilizados en la industria actual…… ….8

2.6.1 Sensores de luz…….…….8

2.6.2 Sensores de temperatura……...…….9

2.6.3 Sensores de proximidad……...……10

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1 Descripción del Proceso Productivo…… ……..11

3.1.1 Planta.....13

3.1.2 Procesodel Material……14

3.1.3 Lixiviacion en Pilas……19

3.1.4 Construcción de las Pilas……...…… 20

3.1.5 Extracción por Solventes.....22

3.1.6 Eléctro Obtención.....23

3.1.6.1 El proceso de Electroobtención (EW) del cobre……..24
3.1.6.2 Ventajas del Proceso de Electroobtención…….……..26
3.1.6.3 Equipo y circuitos……..…..…….27
3.1.6.4 Celdas 27
3.1.6.5 Proceso de cosecha de cátodos…….……29
3.1.6.6 Proceso del despegue de catodo……..……..……31
CAPITULO IV
MAQUINA DESPEGADORA DE CÁTODOS
4.1 Puente grua (P&H)……..……...…….33
4.2 Accionador araña porta cátodos……..……...…….33
4.3 Maquina despegadora de cátodos “Stripping Machine”…….……34
4.3.1 Funcionamiento y proceso……..35
4.3.2 Partesdelamáquinadespegadorade cátodo…….……...…36
4.3.3 Esquema de las etapas de la máquina despegadora de cátodos destacando la etapa a optimizar…….…….....38
4.4 Antecedentes de mejoras a la máquina despegadora……..……..……..40
CAPITULO V
PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN
5.1 Contexto del Proyecto……..……...……42
5.2 Descripcion del problema……..……...……..42
5.3 Problemas generados por la técnica de deteccíon del sensor retro reflectivo en la salida de etapa martilleo en M.D.C……..…….……43
5.3.1 Mayor tiempo de detención por reparación o cambio de guías……...44
5.3.2 Mantener stock de guías en bodega planta……..45
5.3.3 Placas de acero inoxidable……..45
5.3.4 Catodos de cobre de alta pureza rechazados……46
5.4 Sensor retro reflectivo instalado en la guía de cátodos salida etapa de martilleo 47
5.4.1 Modos de detención de la despegadora……48
5.4.2 Análisis N° 1 Pareto de detencion de la maquina despegadora……..49
5.4.3 Análisis N°2 Pareto de modo de detención de la despegadora……49

CAPITULO VI
IMPLEMENTACIÓN Y PROPUESTA EN MARCHA
6.1 Mejora propuesta…….……...……51
6.2 Dispositivo Sensor Foto Electrico a Utilizar en la Mejora de la etapa de martilleo de maquina despegadora……..…..…51
6.3 Sensor Fotoelectrico marca Sick Modelo (W27-3) Seleccionado para la optimatización……..…….……...52
6.4 Puesta en marcha del Sensor Sick…….……..54
6.4.1 Sensor Sick ejecutando la logica de detención……55
6.4.2 Restauración del Sistema por Detección de Catódo Fuera de Posición en la Guía……..56
6.5 Ladder de detención en PLC (I: 3217) Catodos fuera de posición guía salida etapa de martilleo en M.D.C……..…….…57
6.6 Principales ventajas al implementar el proyecto…….……59
CAPITULO VII
ANALISIS DE RESULTADOS
7.1 Evaluación del proyecto……..……...……60
7.1.1 Costos asociados a los daños de Guías……60
7.1.2 Costos asociados a reparación de placas de acero……..61
7.1.3 Catodos de cobre rechazadoss por forma fisica……..61
7.2 Viabilidad del Proyecto y Ahorros Aproximados que se Pretenden Obtener para el Departamento de Mantención con la Mejora……62
7.2.1 Viabilidad del proyecto……...63
7.2.2 Cuadro estadístico de los modos de detención de la M.D.C……...63
7.2.3 Potencial Ahorro (US) en Horas a Mejorar en la Maquina Despegadora……66
7.2.4 Seguimiento de la mejora……67
7.2.5 Estadistica descriptiva 67
7.2.6 Grafica del seguimiento de la mejora……..67
CAPITULO VIII
CONCLUCIONES .....69 y 70
BIBLIOGRAFÍA.....71

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1: Foto Satelital Faena Manto Verde. 5
Figura N° 3.1: Diagrama de Flujo del Proceso Manto Verde. 11
Figura N° 3.2: Proceso de planta de súlfuros y óxidos..... 14
Figura N° 3.3: Acopio de Grueso y la Correa Transportadora CT10..... 15
Figura N° 3.4: Esquema General Planta de Chancado Primario. 16
Figura N° 3.5: Esquema Planta de Chancado Fino Y Planta de Aglomerado. 17
Figura N° 3.6: Esquema Planta de Aglomerado. 18
Figura N° 3.7: Imagen de la Planta de Aglomerado. 19
Figura N° 3.8: Pilas de Lixiviación. 20
Figura N° 3.9: Correas Móviles. 21
Figura N° 3.10: Apilador Radial. 21
Figura N° 3.11: Planta de Extracción por Solventes. 23
Figura N° 3.12: Proceso general de SX-EW..... 26
Figura N° 3.13: Proceso general, extracción por solvente electro obtención..... 27
Figura N° 3.14: Disposición de cátodos y ánodos en una celda..... 28
Figura N° 3.15: Formación de cátodos y ánodos..... 28
Figura N° 3.16: Nave electro obtención..... 29
Figura N° 3.17: Proceso de cosecha de cátodos..... 29
Figura N° 3.18: Proceso cosecha de cátodos..... 31
Figura N°3.19: Esquema general de una maquina radial..... 32
Figura N° 4.1: Puente Grua (P&H). 33
Figura N° 4.2: Actuador Araña Porta Catodos. 34
Figura N° 4.3: Máquina despegadora de cátodos tipo radial..... 36
Figura N° 4.4: Maquina Despegadora de Cátodos. 37
Figura N° 4.5: Esquema de las Etapas de la "Stripping Machine" destacando etapa a mejorar. 38
Figura N° 4.6: Maquina despegadora de cátodos..... 40

Figura N° 5.1: Sensor Retro Reflectivo Instalado en la Maquina y su forma de medir en la guía con un espejo reflector. 43
Figura N° 5.2: Cátodos Impactando guía en salida de su etapa de martilleo. 44
Figura N° 5.3: Proceso de reparación a daños mayores provocados por impactos a las guías. 44
Figura N° 5.4: Stock de guías 45
Figura N° 5.5: Placas de Acero Inoxidable con daños por Impactos. 46
Figura N° 5.6: Cátodos de Cobre con Daño Físico. 46
Figura N° 5.7: Sensor retro reflectivo utilizado junto a su espejo reflector 47
Figura N° 5.8: Esquema de Funcionamiento Sensor Retro Reflectivo Instalado. 47
Figura N° 5.9: Pareto de Detenciones "Despegadora" 49
Figura N° 5.10: Pareto de Modo de Detención "Despegadora" 50
Figura N° 6.1: Sensor Foto Eléctrico Marca Sick Modelo W27-3. 52
Figura N° 6.2: Esquema de Sensor Foto Reflectivo. 53
Figura N° 6.3: Sensor Sick Instalado por fuera de la guía con control energizado led verde activo. 54
Figura N° 6.4: Sensor Sick Simulado Activo de forma manual con el de color ambar activo. 54
Figura N° 6.5: Sensor Sick Montado en la Etapa de Martilleo en una nueva posición ya no en la guía. 55
Figura N° 6.6: Sensor Sick Controlando la Detención. 55
Figura N° 6.7: Operador Retirando Cátodos Caídos. 56
Figura N° 6.8: Operador Retirando la Placa y los Cátodos con grúa timo mono riel. 56
Figura N° 6.9: Lógica N°1 de Detención Maquina Despegadora. 57
Figura N° 6.10: Lógica N°2 de Detención Maquina Despegadora. 58
Figura N° 6.11: Lógica N°3 de Detención Maquina Despegadora. 59
Figura N° 7.1: Grafico de seguimiento de la Mejora Realizada. 68

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 5.1: Modos de Detención Despegadora. 48
Tabla N° 7.1: Costos Asociados al Desarrollo del Proyecto. 60
Tabla N° 7.2: Ahorro Anual Aproximado para el Departamento de Mantención. 63
Tabla N° 7.3: Estadística de (MDD) Modos de Detención Despegadora. 64
Tabla N° 7.4: Referencia Objetivo Producto Final. 65
Tabla N° 7.5: Horas a Mejorar MDC Etapa Martilleo. 66
Tabla N° 7.6: Seguimiento de los MDD Etapa de Martilleo. 67
Tabla N° 7.7: Representa la Estadística Descriptiva MDD de la Etapa de Martilleo. 67

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

Muchas veces en el lugar de trabajo de cada uno aparecen y nacen ideas que pueden ser completamente factibles de desarrollar y que de resultar pueden contribuir de manera notable y considerable en el desarrollo de los procesos productivos.

Es así como este proyecto de mejora de una maquina despegadora de cátodos en la faena Manto Verde nace, ya que analizando sus modos de detención una de sus etapas, centra el mayor tiempo de detención, por el evento de caída de cátodos, analizada la problemática, se opta por implementar un nuevo dispositivo sensor de tipo proximidad infra rojo marca: SICK modelo W27-3 en la salida de esta etapa donde existe uno de tipo Retro Reflectivo marca: PEPPERL+FUCH el cual viene con el equipo y no satisface las necesidades de operación, ya que cuando suceden los eventos de cátodos fuera de posición, el equipo está más tiempo de lo normal fuera de servicio debido a su construcción y técnica de censado.

Por este motivo fue pensado y creado este proyecto, conociendo siempre que los gastos de inversión eran insignificantes en comparación con los beneficios que podía llegar a tener, y sería completamente favorable para la empresa. Por ende se decidió llevarla a cabo y hoy en día ya está en operación y funciona de una manera exitosa en terreno.

1.1 Objetivo General

Optimizar la máquina despegadora de cátodos de la Empresa Capstone Copper / Manto Verde, con el fin de mejorar la detección de cátodos fuera de posición en la máquina despegadora, conocida como “Stripping Machine”.

1.2 Objetivos específicos

- Describir la máquina despegadora de cátodos de la empresa Capstone Copper / Manto Verde.
- Realizar propuesta de mejora para la máquina despegadora de cátodos.
- Implementación y puesta en marcha de la actualización de la máquina despegadora de cátodos.
- Analizar los resultados de la optimización.

1.3 Metodología de trabajo

Para realizar este proyecto de mejora en la máquina despegadora de cátodos precisamente en la estación de martilleo, fue necesario realizar un análisis de detención del equipo y los modos de detención, a través de Pareto se identifican el sector y el modo de detención, el cual se pretende mejorar. Una vez ya identificado el problema, que trata de la mala técnica de medir en la salida de esta etapa, por lo cual se implementa un nuevo dispositivo sensor, de tipo Proximidad infrarrojo para un mejor comportamiento en la detección y detención de la máquina despegadora y mejorar las detenciones, los costos asociados a las reparaciones y cambios de componentes. Para posteriormente evaluar los resultados de la mejora a través del ahorro. Por reparación y cambio de componentes y un ahorro potencial en horas, comprometiendo un 15 % del total de horas que equivalen a (184 H/año), de detención por estas causas que es la caída de cátodo (92 horas), atrapamiento de cátodo (58 horas) y caída de placas (34 horas) de esta estación.

1.4 Resumen de capítulos

En el Capítulo II se describe en forma general el marco teórico asociado al proyecto desarrollado, utilizando una descripción resumida de los temas estudiados.

En el Capítulo III se describe de forma general el proceso productivo y las etapas de extracción de cobre de la empresa Capstone Copper/Manto Verde.

En el Capítulo IV se describe la máquina despegadora de cátodos detalladamente, la cual se encuentra dentro del última etapa del proceso Ew.

En el Capítulo V se describe la propuesta de actualización, la cual contiende el contexto del proyecto y la descripción del problema generado en la etapa de martilleo de la maquina despegadora de cátodos.

En el Capítulo VI se describe la implementación y propuesta en marcha, la cual consiste en describir la mejora a realizar en la etapa de martilleo de la máquina despegadora de cátodos.

En el Capítulo VII se describe el análisis de resultados, muestra los costos relacionados, el ahorro potencial a mejorar en la máquina despegadora, el seguimiento de la mejora, estadística descriptiva y la gráfica de seguimiento post optimización.

Finalmente en el Capítulo VIII se describe en forma detallada las conclusiones obtenidas en este proyecto.

1.5 Reseña histórica de Manto Verde

Manto verde está ubicado a unos 900 metros sobre el nivel del mar, en la provincia de Chañaral, Región de Atacama, a 36 kilómetros al sureste del puerto de Chañaral y a unos 100 kilómetros en línea recta hacia el norte de la ciudad de Copiapó.

Las vías de ingreso más frecuentes son dos, un camino ripiado de 19 kilómetros hacia el sur de la localidad de El Salado y un segundo camino también ripiado de 40 kilómetros hacia el este de la bahía de Flamenco, en el kilómetro 945 de la carretera Panamericana Norte ruta 5.

Se remota a principio de siglo, cuando la compañía inglesa "Societe de Mines et Usines de Cuivre" extrae, entre 1906 y 1939, 400.000 toneladas métricas, de mineral con leyes superiores a 16% de cobre, procesadas en la fundición de Chañaral de las animas.
Posteriormente, pirquineros trabajaron la mina a razón de 500 toneladas métricas mensuales con leyes promedio de 8% cobre. Entre 1954 y 1972, pasa sucesivamente a propiedad de Anaconda Mining Company, Minera Doña Rosa y Enami.

Luego de pasar por varios dueños en 1976, se forma la compañía Minera Manto Verde, quien adquiere la propiedad a Enami hacia fines de 1988, Manto Blanco tomo opción de comprar la mina Manto verde realizando también durante 1989 trabajos de exploración mediante sondajes y muestreos de interior mina, como parte del estudio de prefactibilidad del proyecto.

Posteriormente, entre octubre de 1991 y mayo de 1992 se efectúan trabajos de exploración adicionales para el estudio de factibilidad.

Finalmente, en diciembre de 1992, la empresa Minera Manto Blanco S.A. adquiere la propiedad e inicia en 1993 la operación de una planta piloto y el estudio de ingeniería básica. Entre 1994 y 1995 se desarrolla el proyecto y construcción de las instalaciones, iniciando su puesta en marcha en 1995.

Adquirida el 2002 por Anglo American Chile PLC y vendida por los mismos en el año 2014 Al fondo británico Audley Capital Advisors y Orión Mine Finance, un Conglomerado con fuerte presencia en estados Unidos y Australia, con el nombre actual de “Mantos Cooper” S.A en Chile. Los cuales en noviembre del año 2021 se fusionan con Capstone Mining una empresa canadiense para repotenciar sus proyectos futuros quedando con el nombre actual de Capstone Copper.

1.6 Misión de la empresa

Crear valor a través del desarrollo y explotación de recursos minerales, preferentemente de cobre, de manera sustentable protegiendo el medio ambiente y la salud de las personas que operan en ella.

1.7 Ubicación de la faena Manto Verde

La faena de manto verde está concentrada en la III Región de Atacama, Chile específicamente en la comuna de Chañaral. (Ver la figura N° 1.1)

Figura N° 1.1: Foto satelital faena Manto Verde.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

2.1 Proceso de electro obtención de cobre

La electro obtención es un proceso clave en la refinación de cobre, utilizado para obtener cátodos de cobre de alta pureza a partir de soluciones electrolíticas. En este proceso, el cobre se deposita sobre cátodos en una celda electrolítica, donde se reduce del estado iónico a metálico. Davenport, King, Schlesinger y Barns (2020) explican que la eficiencia del electro obtención depende de varios factores, como la composición del electrolito, la densidad de corriente y la temperatura.

2.2 Máquina despegadora de cátodos

La máquina despegadora de cátodos es esencial en el proceso de electro obtención, ya que facilita la extracción de los cátodos una vez que han alcanzado el espesor requerido. Smith (2020) destaca que las máquinas despegadoras modernas están equipadas con mecanismos radiales que permiten una separación eficiente de los cátodos, minimizando el estrés mecánico y reduciendo el riesgo de daños. Este diseño asegura la integridad del cátodo y optimiza la calidad del producto final.

2.3 Etapa de martilleo en la máquina despegadora de cátodos

Una característica importante de las máquinas despegadoras tipo radial es la etapa de martilleo. Esta etapa es crucial para asegurar que los cátodos se despeguen de manera efectiva y sin dañar el metal depositado. Según Brown y Green (2018), el martilleo se realiza mediante un mecanismo que utiliza golpes controlados para liberar los cátodos adheridos a los ánodos. Este proceso asegura que los cátodos sean separados de forma limpia y eficiente.

El mecanismo de martilleo en las máquinas despegadoras radiales funciona mediante un sistema de martillos o pistones que aplican una presión precisa y repetitiva sobre la superficie de los cátodos. Davenport et al. (2020) explican que esta acción ayuda a romper la adherencia entre el cátodo y el ánodo, facilitando la separación sin causar daños estructurales a los cátodos de cobre. La precisión en esta etapa es fundamental para mantener la calidad del cobre y evitar defectos en los cátodos.

2.4 Desafíos y avances tecnológicos

El diseño y mantenimiento de las máquinas despegadoras presentan varios desafíos, como la acumulación de residuos y la necesidad de ajustes precisos en el sistema de martilleo. Las mejoras tecnológicas recientes han abordado estos desafíos mediante la incorporación de sistemas automatizados y avanzados mecanismos de control. Según Smith (2020), los sistemas automatizados permiten una mayor eficiencia operativa y una reducción en los costos asociados con el proceso de despegado.

Las innovaciones en el diseño de las máquinas despegadoras, incluyendo mejoras en el mecanismo de martilleo, han llevado a una optimización del proceso de electro obtención y a una reducción en el impacto ambiental. Los estudios recientes destacan que estas mejoras contribuyen a una mayor producción y a una mejor calidad del cobre final (Brown & Green, 2018).

2.5 Sensores de proximidad en la automatización

Los sensores de proximidad son dispositivos cruciales en sistemas modernos de automatización industrial. Estos sensores permiten la detección de objetos sin necesidad de contacto físico, lo que resulta en una mayor durabilidad y menos desgaste mecánico (Smith, 2020). Los sensores de proximidad ópticos, en particular, utilizan la luz para detectar la presencia y distancia de objetos, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren alta precisión y rapidez en la respuesta (Jones & Taylor, 2019).

El sensor SICK W27-3 es un ejemplo destacado de sensor óptico utilizado en entornos industriales. Este modelo emplea tecnología de luz infrarroja para la detección y medición de distancias, lo que le permite ofrecer una alta precisión y fiabilidad en condiciones de operación variadas (Brown, 2021). Su diseño compacto y robusto facilita su integración en sistemas de automatización sin comprometer el rendimiento, haciendo que el W27-3 sea adecuado para una amplia gama de aplicaciones, desde la supervisión de procesos hasta el control de calidad (Adams & Clark, 2022).

Además, el sensor W27-3 se distingue por su capacidad para ajustar el rango de detección y su fácil configuración, características que son esenciales para adaptarse a diferentes requisitos operativos y ambientales (Williams, 2023). La flexibilidad en el ajuste y la alta resistencia a condiciones adversas son aspectos clave que permiten a este sensor mantener un alto nivel de precisión y confiabilidad en diversos entornos industriales.

2.6 Reseña a los sensores más utilizados en la industria actual

Sensores: estos dispositivos fueron creados con el propósito, de detectar distintas condiciones en un control automático estos pueden ser: de distinto tipo existen reflectivos, fotoeléctrico, temperaturas, proximidad, peso, finales de carrera, entre otros, etc. Describiremos algunos:

2.6.1 Sensores de luz

A) **Sensores reflectivos y por intercepción:** Los sensores de objetos basados en reflexión están basados en una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos led, diodos láser, etc.) y una célula receptora del reflejo de esta señal, que puede ser un fotodiodo, un fototransistor, incluso chips especializados, como los receptores de control remoto. Con elementos ópticos similares, es decir emisor – receptor, existen los sensores “de ranura” en algunos lugares lo he visto referenciado como

"de barrera", donde se establece un haz directo entre el emisor y el receptor, con un espacio entre ellos que puede ser ocupado por un objeto.

B) Foto transistores: Los foto transistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos junturas y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor. Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su capsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las junturas de la pastilla semiconductora y produzca el efecto fotoeléctrico.

2.6.2 Sensores de temperatura

A) Termistor: Un termistor es un resistor cuyo valor varía en función de la temperatura. Existen dos clases de termistores: NTC (coeficiente de temperatura negativo), que una resistencia variable cuyo valor se decrementa a medida que aumenta la temperatura; y PTC (coeficiente de temperatura positivo), cuyo valor de resistencia eléctrica aumenta cuando aumenta la temperatura.

B) RTD: Los sensores RTD (resistencia temperatura detector), basados en un conductor de platino y otros metales, se utilizan para medir temperaturas por contacto o inmersión, y en especial para un rango de temperaturas elevadas, donde no se pueden utilizar semiconductores u otros materiales sensibles. Su funcionamiento está basado en el hecho de que en un metal, cuando sube la temperatura, aumenta la resistencia eléctrica.

C) Termocuplas: El sensor de una termocupla está formado por la unión de dos piezas de metales diferentes. Su valor está en el orden de los mili volts, y aumenta en proporción con la temperatura. Este tipo de sensores cubre un amplio rango de temperaturas: -180 a 1370 °C.

2.6.3 Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad que se obtienen en la industria son resultado de la necesidad de contar con indicadores de posición en los que no existe contacto mecánico entre el actuador y el detector. Pueden ser de tipo lineal (detectores de desplazamiento), o de tipo conmutador (la conmutación entre dos estados indica una posición particular). Hay dos tipos de detectores de proximidad muy utilizados en la industria: Inductivos y Capacitivos.

A) **Sensor de proximidad inductivo:** Se basan en el fenómeno de amortiguamiento que se produce en un campo magnético a causa de las corrientes inducidas (corrientes de Foucault) en materiales situados en las cercanías, el material debe ser metálico.

B) **Sensor de proximidad capacitivo:** Los capacitivos funcionan detectando las variaciones de la capacidad parasita que se origina entre el detector propiamente dicho y el objeto cuya distancia se desea medir. Se emplean para medir distancias a objetos metálicos y no metálicos, como maderas, los líquidos y los materiales plásticos.

C) **Sensores foto eléctricos (infrarrojos):** Es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta invisible para el ojo humano pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la visión humana.

CAPITULO III
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1 Descripción del proceso productivo

La planta de Lixiviación SX-EW Manto Verde trata mineral Run Of Mine (ROM) de alta ley proveniente de la Mina Manto verde, mediante el Chancado, Aglomeración y Lixiviación en Pilas, como asimismo el mineral de baja ley es tratado por Lixiviación en Botaderos, ambos seguidos de extracción por Solvente y Electro obtención (ver la figura N° 3.1).

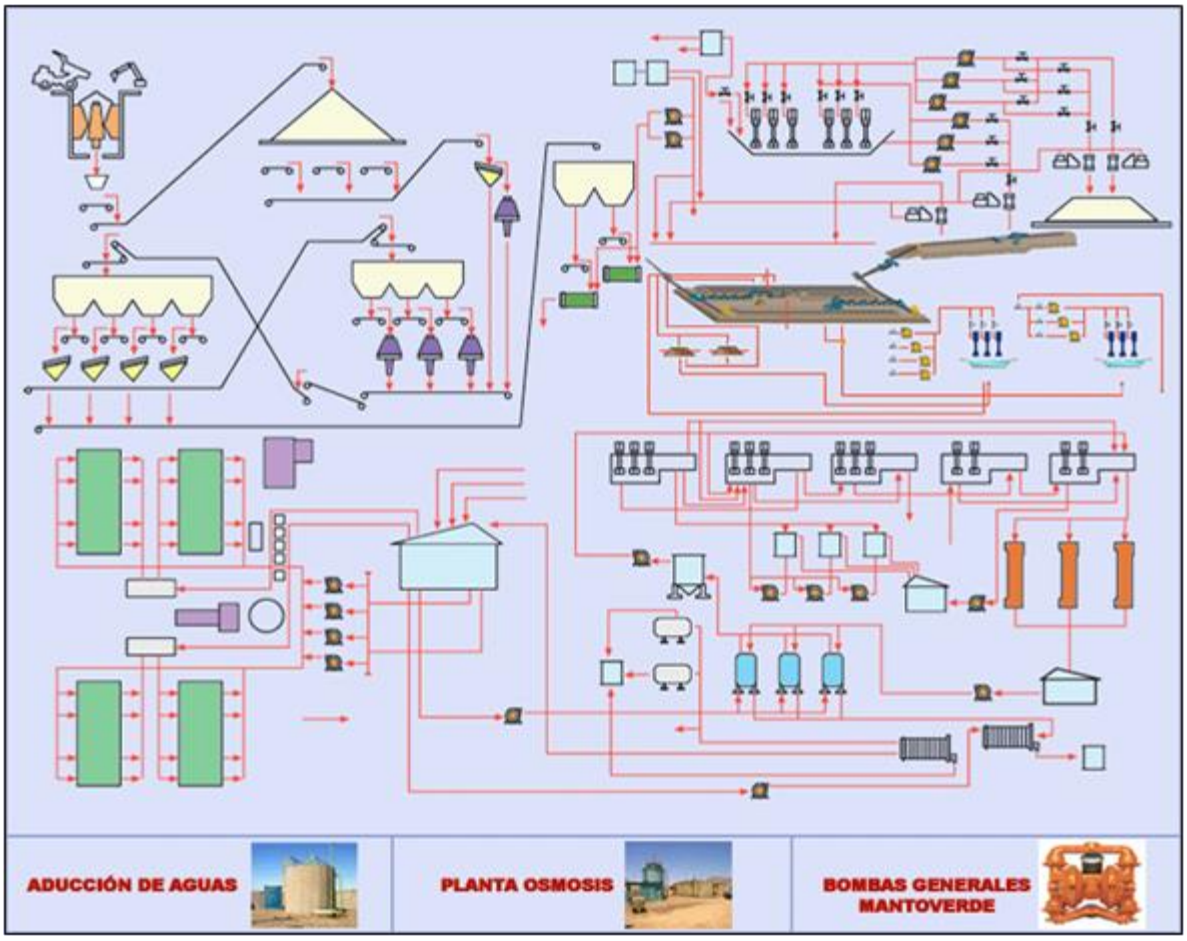

Figura N° 3.1: Diagrama de flujo del proceso Manto Verde.

El mineral de alta ley es triturado en un chancador primario Giratorio y transportado a un acopio de gruesos desde donde es alimentado a un Harnero primario para ser seleccionado, el mineral sobre tamaño ingresa al Chancado secundario, el mineral seleccionado por el harnero primario es enviado mediante correas transportadoras al sector de Planta de Harneros donde nuevamente pasa por una selección, el mineral con granulometría bajo ½" es enviado al silo de Finos y el restante es devuelto por correa trasportadora a la planta de Chancado Fino donde se encuentran tres chancadores utilizados como terciarios. El producto del Chancado terciario tiene una granulometría 100 % bajo ½" y es acopiado en un silo de finos.

El mineral chancado es aglomerado en tambores rotatorios con ácido sulfúrico concentrado y solución de refino. El mineral aglomerado es transportado mediante una combinación de correas fijas y correas portátiles hacia un apilador móvil, el cual Forma las pilas de lixiviación.

Se utiliza un ciclón de Lixiviación de dos etapas para producir la solución de lixiviación Rica; en la primera etapa el mineral fresco es irrigado con la solución lixiviante Intermedia resultante de la lixiviación en Botaderos y lixiviación de segunda etapa de las pilas más antiguas con refino acidificado, la cuales utilizan agua de pozo como complemento de las soluciones lixiviantes.

El mineral de baja ley es acarreado en camiones directamente a los Botaderos para su lixiviación. Al comienzo de cada ciclo de lixiviación, los Botaderos son irrigados con una solución de curado formada por refino altamente acidificado. De allí en adelante la lixiviación continúa con el refino, la solución de lixiviación en Botaderos se incorpora dentro de la solución de alimentación de primera etapa de la lixiviación en pilas.

La solución que proviene de la etapa de lixiviación (PLS) es enviada a la planta de extracción por solventes que consiste en un tren sencillo comprendiendo por dos etapas de extracción, una etapa de lavado y la otra de re-extracción.

Se incluyen instalaciones auxiliares para el tratamiento de borra de la extracción por solventes y el tratamiento del orgánico con arcilla, el refino de la extracción por solvente se reincorpora dentro del operario de lixiviación.

La etapa de lavado del orgánico, juntamente con los coalescedores acuosos y el diseño del estanque de orgánico cargado, aseguran el control de arrastres de cloruro desde el circuito de lixiviación hacia las soluciones electrolíticas de electro obtención.

El electrolito rico producido en las etapas de re-extracción es limpiado mediante la flotación con aire y filtración, para luego calentarse antes de llevarse a las celdas de electro obtención. Una cantidad de electrolito pobre proveniente de electro obtención y retorna a las etapas de re-extracción de la extracción por solvente.

El proceso de electro obtención incorpora la tecnología de cátodos permanentes con la correspondiente maquinaria de manejo y despegue de cátodo.

3.1.1 Planta

La planta se puede dividir en 5 áreas:

- Chancado.
- Aglomeración.
- Lixiviación.
- extracción por solvente
- Electro obtención.

La planta de chancado, así como también el sistema de aglomeración y lixiviación en pilas tiene una capacidad promedio de 30.000 toneladas métricas de mineral por día, con una ley media de 0.81 % de cobre total.

La capacidad de la nave electro obtención es de 60.000 toneladas al año de cobre fino.

Diagrama de proceso de planta sulfuros y óxidos

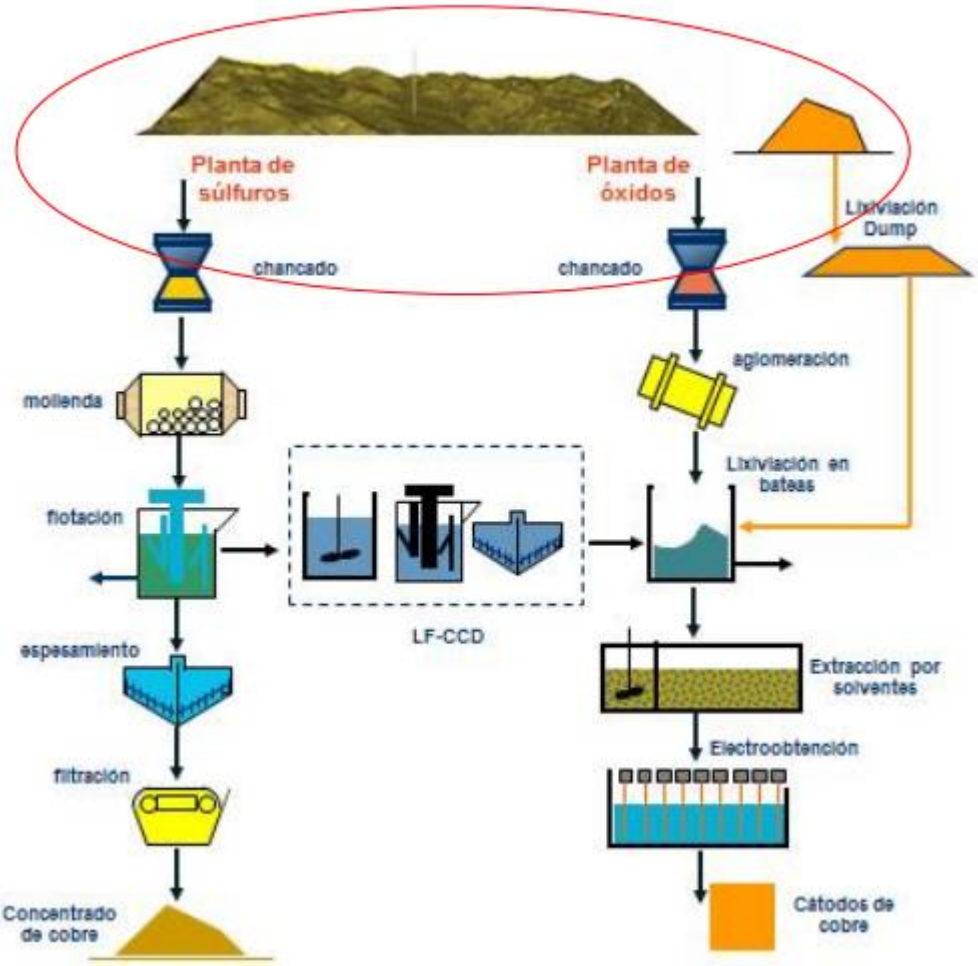

Figura N° 3.2: Proceso de planta de sulfuros y óxidos.

3.1.2 Proceso del material

El proceso de la planta se inicia con la extracción del mineral, el cual se lleva por medio de camiones de 120 toneladas al chancado primario las 24 horas del día. Allí las rocas se reducen a un tamaño máximo admisible de 700 mm, y es alimentado a una tolva de recepción, de 180 toneladas de capacidad.

El chancador es de tipo giratorio de 1070mm x 1680mm (42” x 66”) y 300Kw (400hp) de potencia instalada.

El producto del chancado descarga en una recamara de recepción de 180 toneladas, se transporta el material mediante un alimentador de correa de velocidad variable, luego el alimentador descarga el material obtenido del chancado a la correa de transporte (CT-10) de 342 metros de largo hacia un acopio grueso, de una capacidad de 5.000 toneladas vivas cubierto con acero estructural y provisto de supresores de polvo de proyección Atomizada.

En la figura N° 3.3, se observa foto de la correa CT10 y el acopio de material grueso.

Figura N° 3.3: Acopio de grueso y la correa transportadora CT10.

El acopio grueso descarga mediante tres buzones a los alimentadores (CA- 20, CA-30 y CA-40) de 7 metros de largo y 22 kW. Luego la cinta transportadora CT-20 de 194 metros de largo y 250 HP es la encargada de transportar el material a la etapa de chancado fino. En la figura N° 3.4, se observa un esquema sobre el chancado primario utilizado en el proceso del material.

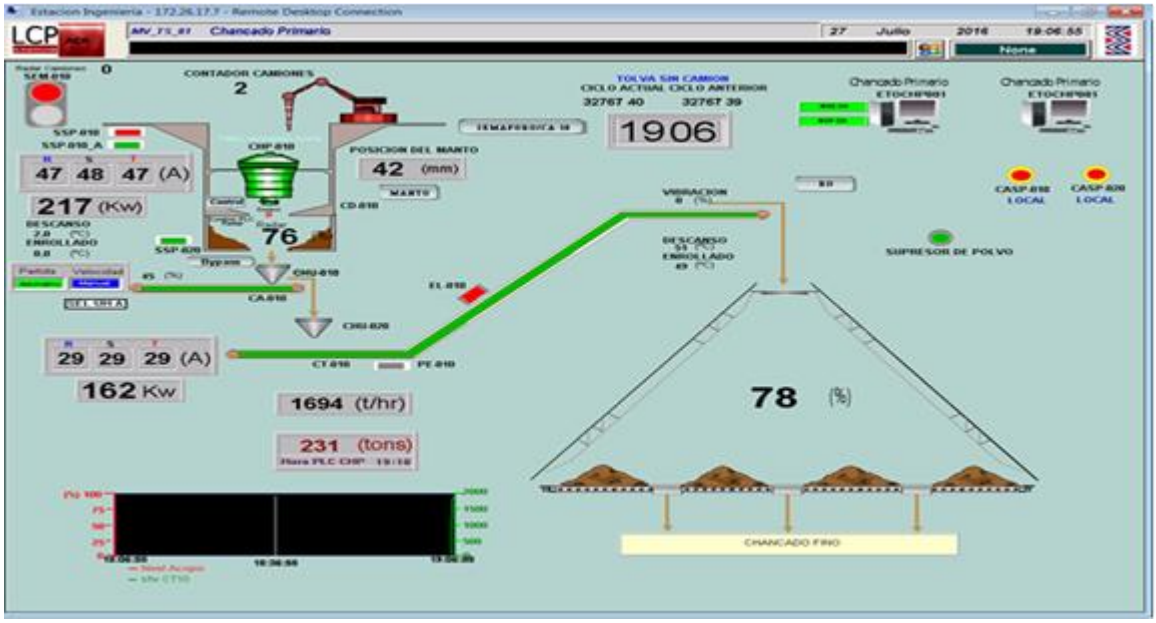

Figura N° 3.4: Esquema general planta de chancado primario.

El material que proviene de los alimentadores del acopio grueso cae a la correa recolectora de acopio grueso CT 20 de 1.070mm (42”) de ancho el cual alimenta a un harnero primario Osborn, de doble bandeja, de 25m x 7.3 m (8” x 24”), de abertura de malla superior de 100x 100 (malla de goma) e inferior de 65 x 65 (malla de goma).

El bajo tamaño del harnero primario es conducido a la tolva de alimentación de harneros secundarios, de 1000 toneladas de capacidad viva, mediante las correas de traspaso CT 30 de 70 metros de largo Y 75 HP, CT 40 de 34 metros de largo Y 60 HP y está a la CT 50 de 120 metro de largo y 330 HP.

Por su parte, el sobre tamaño del harnero primario es alimentado a un chancador secundario de tipo estándar, tamaño 2 m (7”) de 500HP, el cual opera en circuito abierto y que también es enviado a la planta de harnero como se muestra un esquema de la planta de Chancado Fino y la planta de Harneros. (Ver la figura N° 3.5)

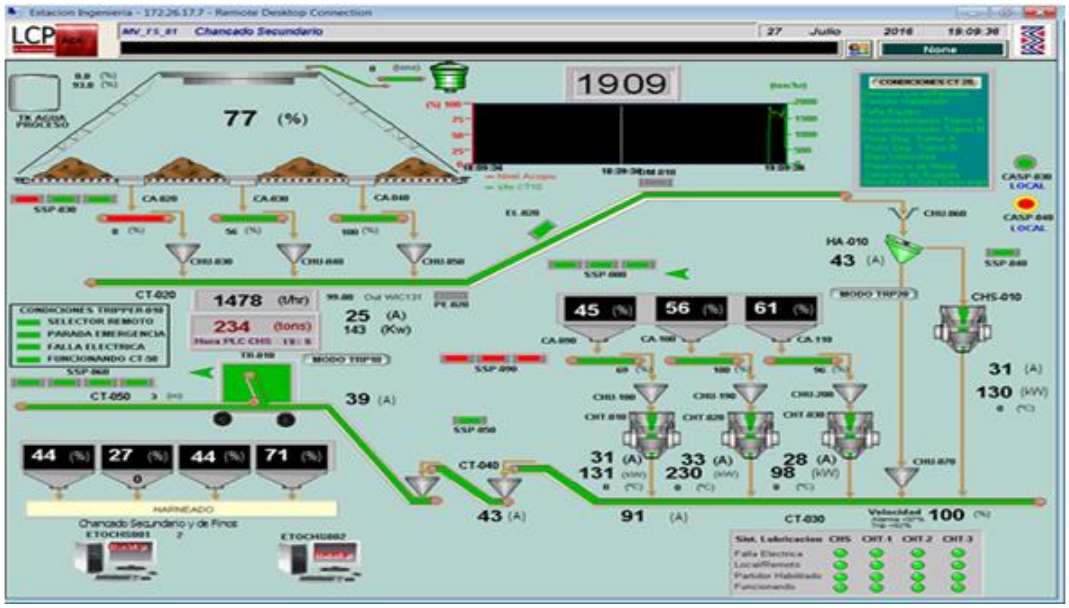

Figura N° 3.5: Esquema planta de chancado fino y planta de aglomerado.

El producto del chancado secundario se envía también a la planta de harneros se observa el esquema de la planta de chancado fino y planta de harneros utilizada en el proceso del material.

El material es extraído desde las tolvas de harnero por cuatro alimentadores de correa de velocidad variable de 6.2 metros de largo y 22kw (CA-50, CA-60, CA-70 y CA-80) los cuales alimentan a cuatro harneros vibratorios, Osborn de 25m x 7m (8”x 24”), 512 tmph y 45kw, de doble bandeja de abertura de malla superior de 20x 60 mm e inferior de 13x 13 mm, ambos con malla de poliuretano, el material correspondiente al sobre tamaño de los harneros secundarios es transportado mediante una correa de recirculación (CT-60) de 210 metros de largo y 270 hp hacia la tolva de alimentación de chancado fino de 750 toneladas de capacidad.

El cual, mediante un tripper, descarga el material a tres alimentadores variables (CA-90, CA-100 Y CA-110) de 1380 mm (54”) de ancho, 6.2 metros de largo y 22 KW hacia tres chancadores terciarios (10, 20 y 30), de 500 hp, tipo cabeza corta de 2 m (7”).

El producto de este material es enviado hacia la tolva de harneros (H-20, H-30, H-40 Y H-50). El mineral correspondiente de bajo tamaño de los harneros secundarios constituye el producto final del chancado, con 3.59 sobre 10 mm que sale de la parte inferior de la planta de harnero al acopio de silo fino (aglomerado) a través de la correa transportadora CT-70 de 182 metros de largo y 260 hp. La figura N° 3.6muestra un esquema de aglomerado utilizado en el proceso del material proveniente de la planta de chancado y harneros.

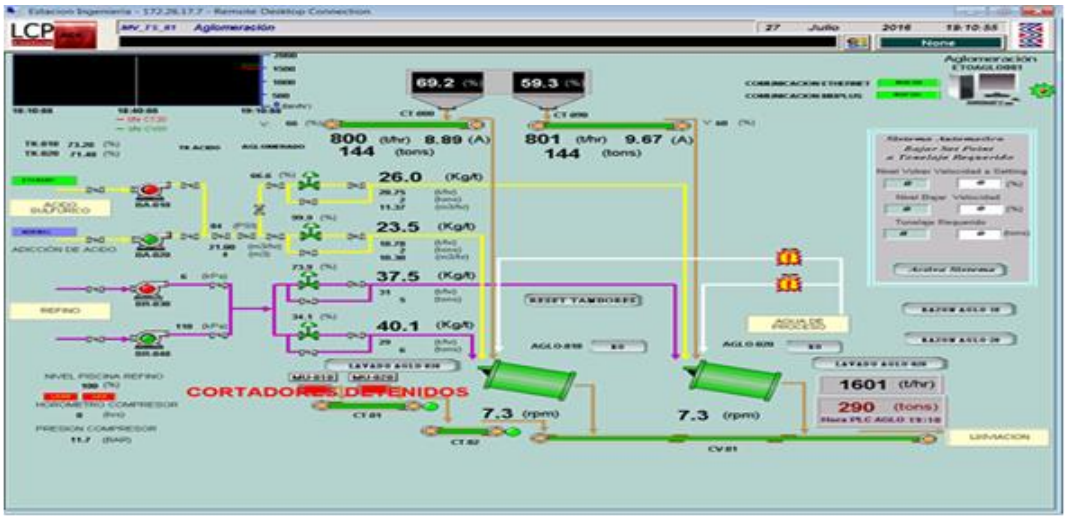

Figura N° 3.6: Esquema Planta de Aglomerado.

El material almacenado en el silo finos descarga en dos correas transportadoras CT-80 Y CT-90 de 27 metros de largo y 11 kW, las cuales conducen hasta dos tambores rotatorios de 9.0 metros de largo, 2.9 metros de diámetro a una razón total de 1373 TPH, y un motor de 110 kW, las tazas de tonelajes seco son 446 TPH y 519 TPH nominal (ver la figura N° 3.7). La aglomeración se realiza en cada tambor rotatorio mediante la adición de ácido sulfúrico, y solución de refino recirculada de las etapas posteriores.

El mineral aglomerado descarga sobre un sistema de dos correas transportadoras fijas CV- 01 con un largo de 1660 pies, ancho de 42 pulgadas, y una capacidad de transporte de 1984 TPH y la CV-02 de 2954 pies de largo, ancho de 42 pulgadas y una capacidad de

transporte de 1994 TPH y finalmente a las correas móviles que lo conducen a la etapa de apilamiento para posteriormente iniciar la etapa de lixiviación.

Figura N° 3.7: Imagen de la planta de aglomerado.

3.1.3 Lixiviación en pilas

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua, este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas.

En este proceso, el mineral es dispuesto en pilas sobre una superficie plana, donde una solución ácida de agua con ácido sulfúrico aplicada por aspersores riega las superficies de las pilas, esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente, la solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados formando una solución de cobre la que es recogida por el sistema de drenaje y llevada fuera del sector de las pilas, en canaletas impermeabilizadas.

La lixiviación se realiza mediante la adición de ácido sulfúrico, un 80% en la etapa de aglomeración y el 20 % restante en las pilas.

3.1.4 Construcción de las pilas

El área seleccionada para la lixiviación de las pilas está ubicada al noreste de la planta y comprende aproximadamente 3,4 millones de m², incluyendo caminos de acceso, piscinas y canaletas de conducción de soluciones.

El terreno ha sido dividido en tres sectores que tienen por vida útil unos 4,4 y 8 años respectivamente.

La figura N° 3.8 muestra las pilas de lixiviación.

Figura N° 3.8: Pilas de lixiviación.

La lixiviación comienza en el sector 1 que comprende 6 pilas de 750 metros de largo por 120 metros de ancho, cada una de las cuales puede contener el mineral procesado en 33 días de operación, el sistema de carguío de pilas consiste en una serie de correas transportadoras fijas seguido por un sistema de correas móviles y un apilador radial. (Ver las figuras N° 3.9 y 3.10).

Figura N° 3.9: Correas móviles.

Figura N°3.10: Apilador radial.

El terreno es nivelado a una pendiente máxima de 5 %. El sistema comienza con una correa fija, de 227 m, que recibe el aglomerado descargando el mineral en una correa de 690 m de largo, equipada con un distribuidor de carga móvil que descarga a una serie de 38 correas móviles.

Cada correa móvil de 38 m de largo, se desplazan sobre neumáticos y pueden ser separadas del resto con facilidad.

Las series de las correas móviles, termina descargando el mineral en un apilador, que es capaz de elevar o bajar el punto de descarga, gracias a un brazo retráctil de 6 m de largo, el permite reducir el número de movimientos al momento de construir la pila.

Este apilador está montado sobre orugas lo que puede cubrir un ángulo de 180º construyendo una pila de 95mt de ancho en la base y de 10mts en la cima.

Además, puede moverse hacia a tras o hacia delante a lo largo del eje de la correa que lo alimenta, logrando así construir hasta 42 m de pila antes de necesitar retirar una de las correas portátiles de la línea.

3.1.5 Extracción por solventes

Consiste en un proceso de purificación y concentración de soluciones basada en la separación del elemento de interés en este caso el cobre desde las soluciones de lixiviación de las pilas. Para ello, se utiliza un medio extractante también líquido de alta especificidad al elemento a separar, pero que al mismo tiempo es inmiscible en dicha solución.

En el proceso global de la extracción por solvente se distinguen tres momentos fundamentales que consisten en: El líquido extractante se agrega a la solución primaria, y se conecta con el ion metálico, el que queda formando parte del extractante.

En seguida, este complejo extractante - ion metálico es separado de la solución y llevado a una solución secundaria pobre con el ion metálico. En esta solución secundaria se produce la re-extracción. Es decir, el elemento de interés es nuevamente devuelto a la solución, la que al estar exenta de impurezas es óptima para el proceso siguiente de EO.

En general, en el proceso de extracción por solvente se reconocen dos etapas fundamentales: la etapa de extracción propiamente tal y la de re-extracción o stripping. En la figura N° 3.11, se ve una foto de la planta de extracción por solvente.

Figura N° 3.11: Planta de extracción por solventes.

3.1.6 Electro obtención

Para realizar el proceso de electro obtención tiene instalaciones especializadas llamadas celda electrolíticas equipadas con sistema de circuitos eléctricos para hacer circular una corriente eléctrica continua de alta intensidad, para que el proceso se realice eficientemente se requiere considerar los siguientes aspectos**:**

- **Características de las conexiones eléctricas**

Las conexiones eléctricas de las celdas de electro obtención, intenta disminuir los trayectos, en corriente continua y baja tensión, desde los rectificadores de corriente hasta los bancos de celdas electrolíticas.

Barras conductoras de cobre de sección rectangular: la conexión se hace con paquetes de estas barras, apernadas y con distanciadores que permitan la circulación interna de aire para la mejor refrigeración, estas son conocidas con su nombre en inglés: bus-bars.

- **Configuración de los circuitos**

Para proveer de la corriente continua que requiere el proceso de electrolisis en la nave de EW, se utilizan dos equipos rectificadores de corriente que mantienen constantes las características del flujo eléctrico.

La tecnología de los rectificadores ha evolucionado siendo actualmente la norma del uso de rectificadores con tiristores, lo que ha hecho a estos equipos más accesibles y económicos. Los requerimientos de filtros para el control de corrientes armónicas constituyen en la actualidad los mayores factores del aumento de costos de estos rectificadores.

En esta etapa el electrólito cargado con cobre es enviado a la planta de electro obtención, a través del par ánodo/cátodo inmerso en electrolito, donde se produce la depositación de cobre metálico en el cátodo (polo de carga negativa) y las impurezas quedan disueltas en el electrolito, se utilizan ánodos insolubles de plomo-calcio-estaño y cátodos permanentes de acero inoxidables y por medio de la aplicación de corriente continua de alta intensidad se extrae el cobre.

3.1.6.1 El proceso de electro obtención (EW) del cobre

Es una técnica utilizada en la industria minera para la obtención de metales como el cobre a partir de soluciones acuosas que contienen iones metálicos.

A continuación, se explica el proceso de EW de manera general:

- **Preparación de la solución electrolítica:** Se prepara una solución electrolítica que contiene iones de cobre disueltos, generalmente obtenidos de la lixiviación de minerales de cobre.

- **Celdas de electro obtención:** La solución electrolítica se introduce en celdas electrolíticas donde se lleva a cabo el proceso de electro obtención.

- **Electrodos en la celda:** En la celda electrolítica, se colocan dos electrodos: el ánodo (generalmente de plomo) y el cátodo (que puede ser una lámina de cobre o acero inoxidable).

- **Reacciones en la celda:** Al aplicar una corriente eléctrica a la celda, los iones de cobre presentes en la solución electrolítica son atraídos hacia el cátodo, donde se reducen y se depositan como cobre metálico puro. Al mismo tiempo, los iones de cobre en el ánodo se oxidan y pasan a la solución.

- **Desprendimiento de cátodos:** Una vez que se ha depositado una cantidad suficiente de cobre en el cátodo, se procede al desprendimiento de los cátodos de la plancha madre mediante una máquina despegadora especializada.

- **Procesamiento de los cátodos:** Los cátodos desprendidos se corrugan, se apilan y se preparan para su posterior procesamiento, que puede incluir el refinado adicional del cobre.

- **Recirculación de la solución:** La solución electrolítica se recircula en el proceso para mantener la concentración de iones de cobre necesaria para la electro obtención.

3.1.6.2 Ventajas del Proceso de Electro obtención

- **Alta pureza:** Permite obtener cobre de alta pureza (99.99 % o más).

- **Eficiencia energética**: Es un proceso relativamente eficiente desde el punto de vista energético.

- **Recuperación de metales**: Permite la recuperación de metales valiosos de soluciones acuosas.

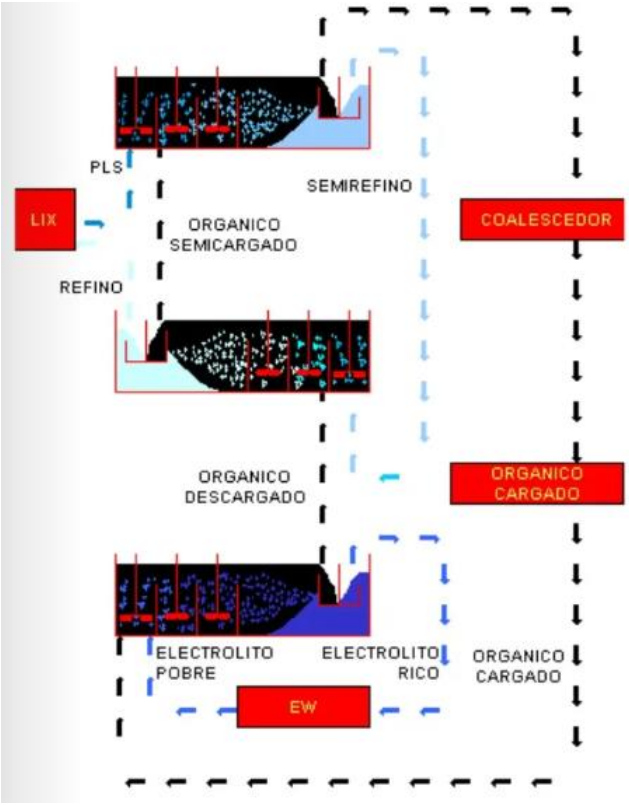

Figura N° 3.12: Proceso general de SX – EW.

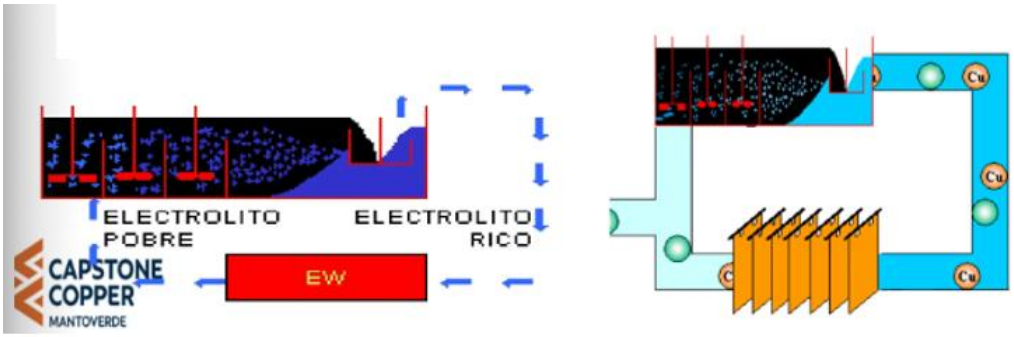

Figura N° 3.13: Proceso general, extracción por solvente electro obtención.

3.1.6.3 Equipo y circuitos

Las principales instalaciones y componentes de EW pueden considerarse las siguientes:

- Celdas.
- Circuitos del electrolito.
- Circuito eléctrico.
- Electrodos.
- Grúas para el transporte de cátodos.
- Maquina preparadoras de láminas iniciales (planchas convencionales).
- Equipo lavador de cátodos.
- Maquina lavadora y despegadora de planchas (planchas con cátodos permanentes.

3.1.6.4 Celdas

Las celdas son las unidades básicas para la EW y debido a las características del proceso y sus limitaciones, se requiere disponer un alto número de ellas de acuerdo a la producción deseada (alrededor de 1,2 celdas por una tonelada de cátodos por día). Convencionalmente, las celdas se han construido de hormigón armado moldeado y revestidos interiormente con materiales plásticos.

En los últimos años el empleo de las celdas poliméricas se generaliza como equipo estándar en las nuevas instalaciones. Estas celdas son monolíticas y para una capacidad de 60 cátodos miden 6,5 x 1,15 x 1,4 metros y una capacidad de 6 m^3.

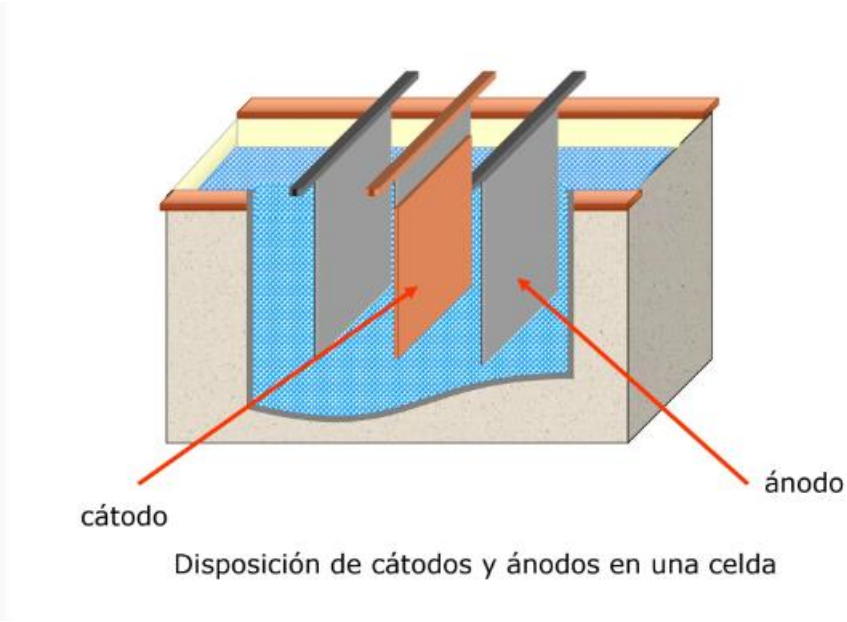

Figura N° 3.14: Disposición de cátodos y ánodos en una celda

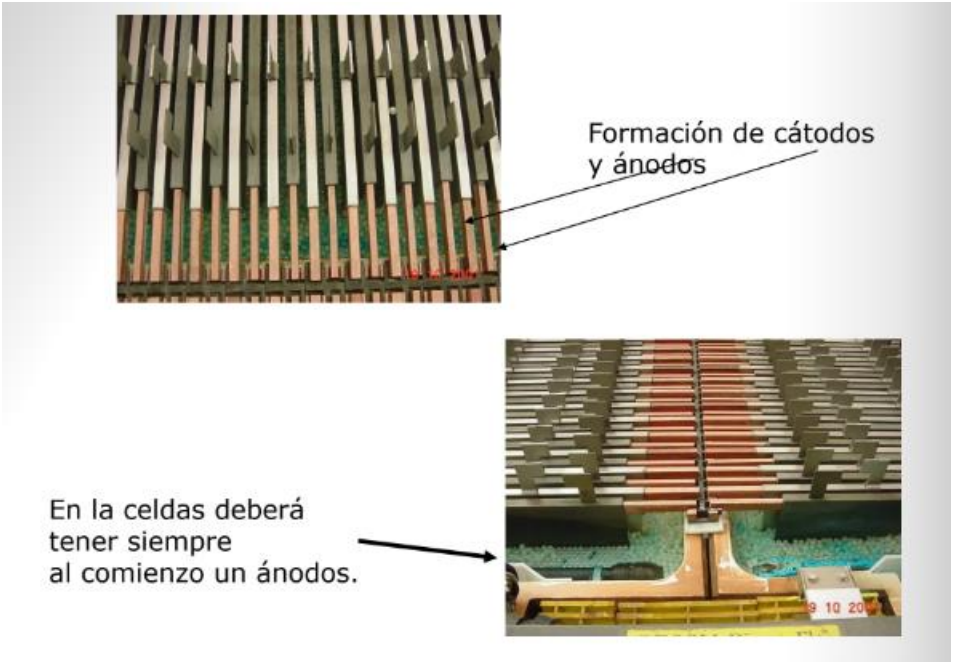

Figura N° 3.15: Formación de cátodos y ánodos.

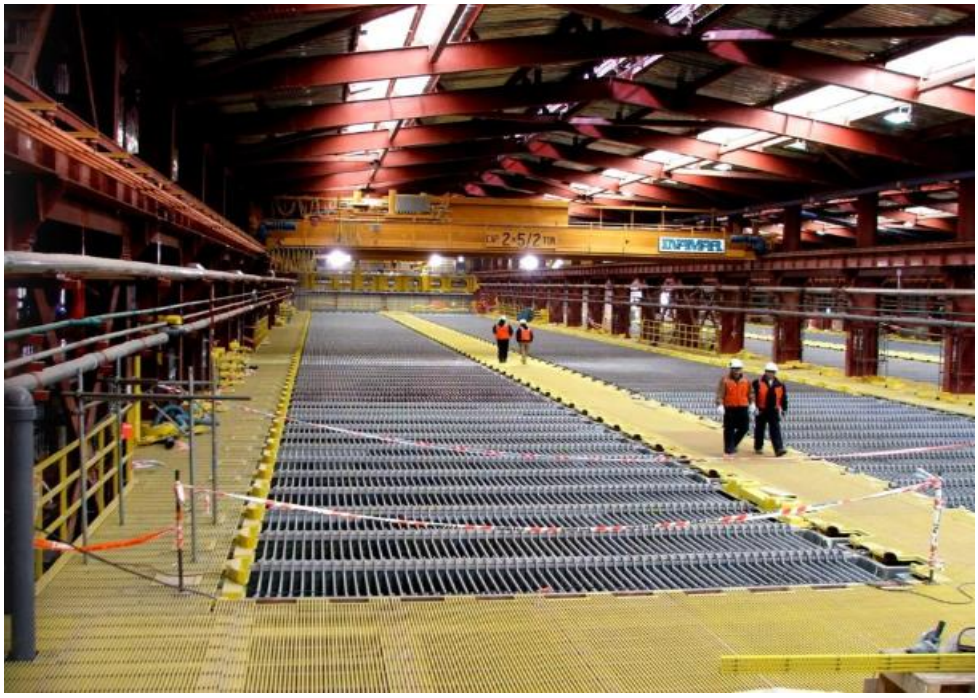

Figura N° 3.16: Nave electro obtención.

3.1.6.5 Proceso de cosecha de cátodos

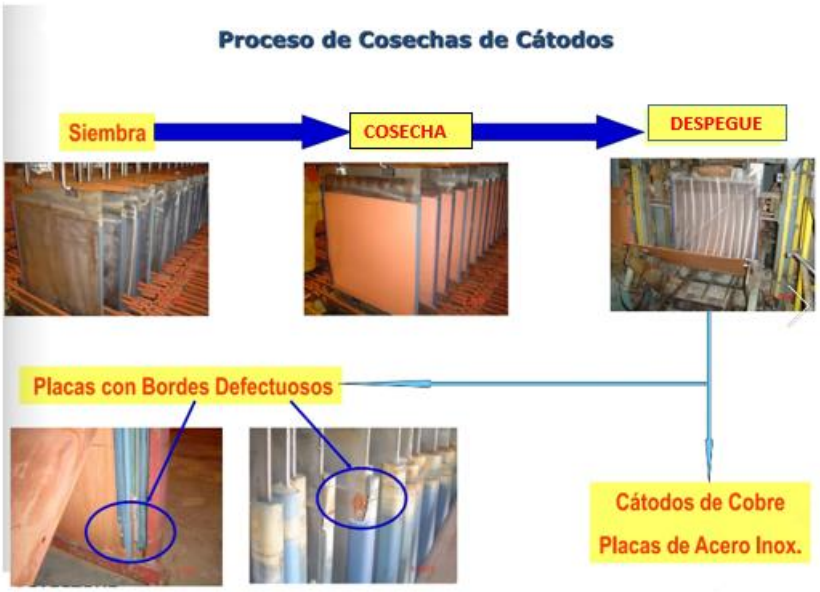

Figura N°3.17: Proceso de cosecha de cátodos.

El proceso de cosecha de cátodos es una etapa crucial en la producción de cobre mediante electro obtención. A continuación el Proceso de cosecha de cátodos:

1. **Recepción de cátodos**: Los cátodos, que son planchas de cobre depositadas en las celdas durante el proceso de electro obtención, son retirados y depositados en una cadena de recepción para su posterior manipulación.

2. **Lavado de cátodos:** Los cátodos pasan por una cámara de lavado que consta de secciones de lavado y enjuague. En esta etapa, se elimina el electrolito residual y se limpia la superficie de los cátodos para extraer impurezas. Se utiliza vapor y agua para este proceso.

3. **Transporte de cátodos:** Los cátodos lavados son transportados por una transportadora transversal hacia la etapa de despegado. Se utilizan dispositivos de transferencia para mover los cátodos de una etapa a otra de manera segura.

4. **Despegue de cátodos:** En esta etapa, los cátodos son despegados de las planchas madre. Existen máquinas despegadoras automatizadas que realizan este proceso de manera eficiente. Dependiendo del diseño de la máquina, puede ser en forma radial o lineal.

5. **Corrugado, pesaje y etiquetado:** Una vez despegados, los cátodos pueden ser corrugados para facilitar su manipulación. Luego son pesados, etiquetados y enzunchados para su posterior distribución.

6. **Preparación de planchas madre:** Las planchas madre, de las cuales se desprendieron los cátodos, son preparadas para su retorno al proceso de electro obtención. Esto puede implicar inspección, reparación y limpieza de las planchas.

El proceso de cosecha de cátodos involucra la recepción, lavado, despegue, corrugado, pesaje, etiquetado y preparación de los cátodos y las planchas madre para su posterior distribución y retorno al proceso de electro obtención. Es un proceso crucial para garantizar la calidad y pureza del cobre producido.

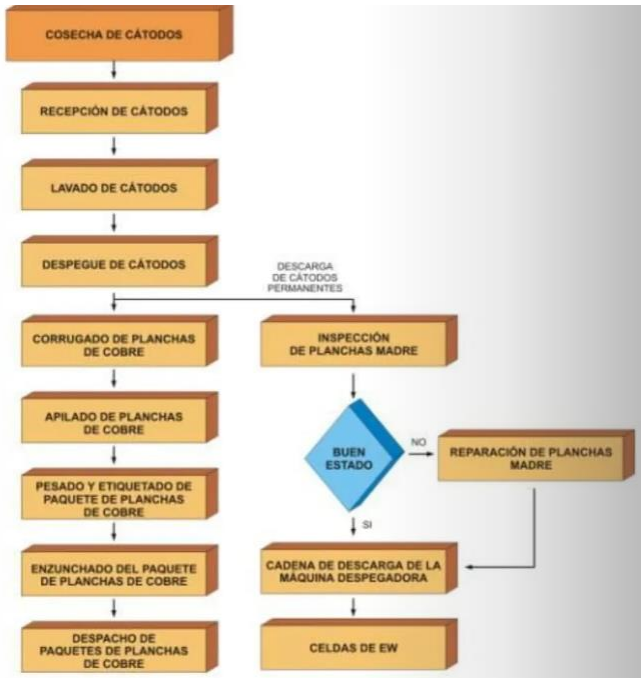

Figura N° 3.18: Proceso cosecha de cátodos.

3.1.6.6 Proceso del despegue de cátodo

El proceso de despegue de cátodos se desarrolla en un equipo especifico que sigue una secuencia de pasos una vez realizada la cosecha estos equipos son automatizados.

Estos equipos se ubican convencionalmente en el centro de la nave de electro obtención (EW). Existen en la actualidad dos tipos de máquinas despegadoras:

- Despegadora en forma radial (llamada tipo carrusel).
- Despegadora en forma lineal.

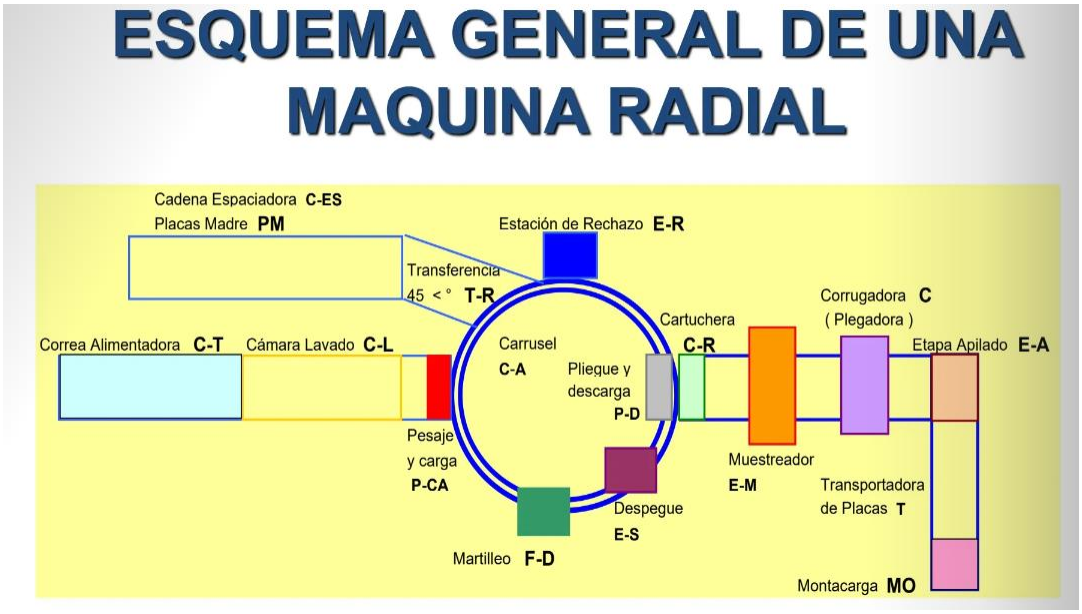

Figura N° 3.19: Esquema general de una maquina radial.

Este esquema se detallará en el capítulo siguiente para verlo en más detalle, ya que la maquina despegadora es de tipo radial (tipo carrusel).

La máquina procesadora de cátodos se ubica convencionalmente en el centro de la nave electrolítica, tiene como misión efectuar las operaciones consecutivas de:

- Lavado cátodos.
- Separación.
- Inspección óptica.
- Muestreo.
- Corrugado.
- Desembalaje y pesaje.

CAPITULO IV
MAQUINA DESPEGADORA DE CÁTODOS

4.1 Puente grúa (P&H)

Este equipo auxiliar, es el encargado de alimentar desde las celdas electrolíticas con cátodos de cobre, a la maquina despegadora de cátodos "Stripping Machine" a través de una araña porta cátodos (Ver la figura N° 4.1).

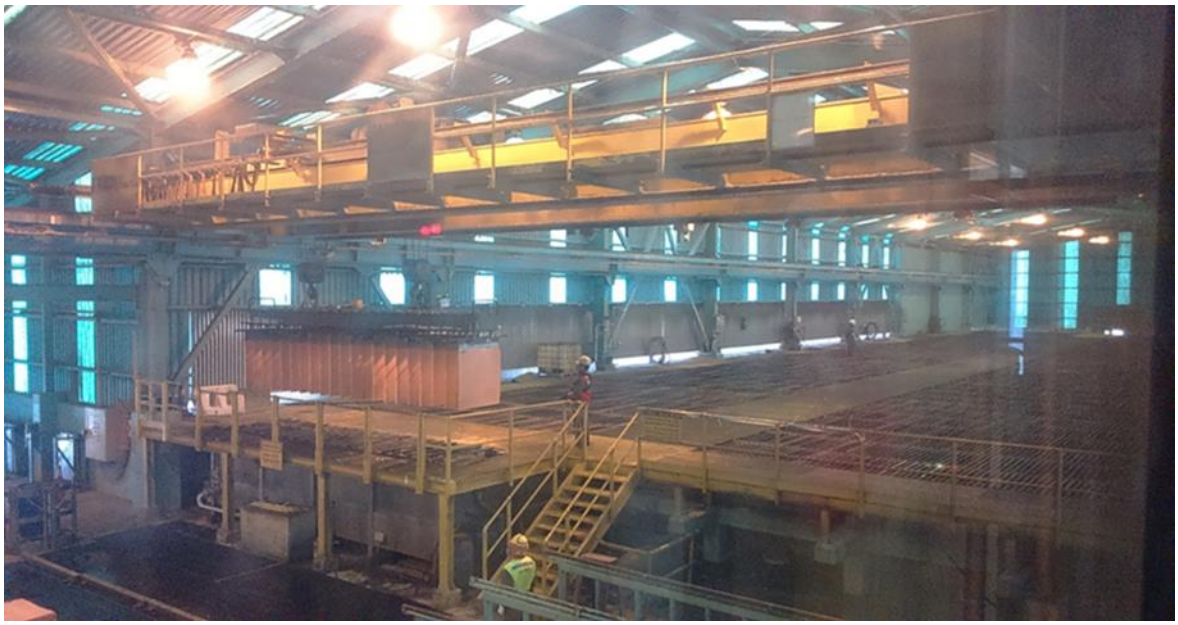

Figura N° 4.1: Puente grúa (P&H).

4.2 Accionador araña porta cátodos

Este equipo de igual forma auxiliar es el encargado de estrobar y retirar los cátodos de cobre desde las celdas electrolíticas y en conjunto al puente grúa y son llevados a la maquina despegadora para comenzar el plan de cosechas de cobre en Manto Verde. La figura N° 4.2 muestra el actuador araña porta cátodos.

Figura N° 4.2: Actuador Araña Porta Cátodos.

4.3 Máquina despegadora de cátodos “Stripping Machine”

Una máquina despegadora de cátodos de forma radial, también conocida como tipo carrusel, es un equipo utilizado en el proceso de electro obtención del cobre para despegar los cátodos de las planchas madre de manera automatizada y eficiente. Este tipo de máquina despegadora opera en un movimiento circular o radial, lo que le permite despegar múltiples cátodos de forma simultánea.

Las máquinas despegadoras de cátodos de forma radial tipo carrusel suelen tener las siguientes características y funciones:

- **Operación automatizada:** Estas máquinas están diseñadas para realizar el proceso de despegue de cátodos de manera automatizada, lo que aumenta la eficiencia y reduce la intervención manual.

- **Movimiento circular:** El diseño en forma de carrusel permite que los cátodos sean despegados en un movimiento circular, lo que facilita el manejo de múltiples cátodos al mismo tiempo.

- **Capacidad de procesamiento:** Las máquinas tipo carrusel pueden manejar una cantidad significativa de cátodos en cada ciclo de despegue, lo que las hace ideales para plantas de electro obtención con altos volúmenes de producción.

- **Seguridad:** Estas máquinas suelen contar con medidas de seguridad para proteger a los operarios durante el proceso de despegue de cátodos, como sistemas de detección de fallas y protecciones físicas.

- **Eficiencia energética:** Al operar de forma automatizada y procesar múltiples cátodos a la vez, las máquinas tipo carrusel pueden contribuir a la eficiencia energética de la planta de electro obtención.

Una máquina despegadora de cátodos de forma radial tipo carrusel es un equipo especializado utilizado en la industria minera para el despegue automatizado de cátodos de cobre de las planchas madre, contribuyendo a la eficiencia y seguridad del proceso de electro obtención.

La máquina despegadora de cátodos de forma radial tipo carrusel es un equipo especializado utilizado en la industria minera para el despegue automatizado de cátodos de cobre de las planchas madre. A continuación, se detalla el funcionamiento, proceso, partes y la etapa de martilleo de esta máquina:

4.3.1 Funcionamiento y proceso

1. **Recepción de cátodos:** Los cátodos provenientes de las celdas son depositados en la máquina despegadora en la etapa de recepción.

2. **Lavado de cátodos:** Los cátodos pasan por una cámara de lavado para eliminar residuos e impurezas de la superficie.

3. **Despegue de cátodos:** En la etapa de despegue, los cátodos son separados de las planchas madre mediante un proceso automatizado.

4. **Martilleo de cátodos**: Durante la etapa de martilleo, se utiliza un mecanismo de martilleo para golpear suavemente los cátodos y facilitar su desprendimiento de las planchas madre.

5. **Corrugado y apilado:** Una vez despegados, los cátodos pueden ser corrugados para facilitar su manipulación y apilados para su posterior procesamiento.

4.3.2 Partes de la máquina despegadora de cátodos

- **Sistema de recepción:** Donde se depositan los cátodos para su procesamiento.
- **Cámara de lavado:** Para limpiar los cátodos y eliminar impurezas.
- **Mecanismo de Despegue:** Encargado de separar los cátodos de las planchas madre.
- **Martillo de desprendimiento:** Parte clave en la etapa de martilleo para golpear suavemente los cátodos.
- **Sistema de corrugado:** Para dar forma a los cátodos desprendidos.
- **Sistema de apilado:** Para organizar y apilar los cátodos despegados.

Figura N° 4.3: Máquina despegadora de cátodos tipo radial.

Máquina robotizada compuesta por 10 etapas y encargada de despegar los cátodos de cobre de alta pureza y apilarlos en paquetes de 2500 kg. Aproximadamente. (Ver la Figura N° 4.4).

Figura N°4.4: Máquina despegadora de cátodos.

4.3.3 Esquema de las etapas de la máquina despegadora de cátodos destacando la etapa a optimizar

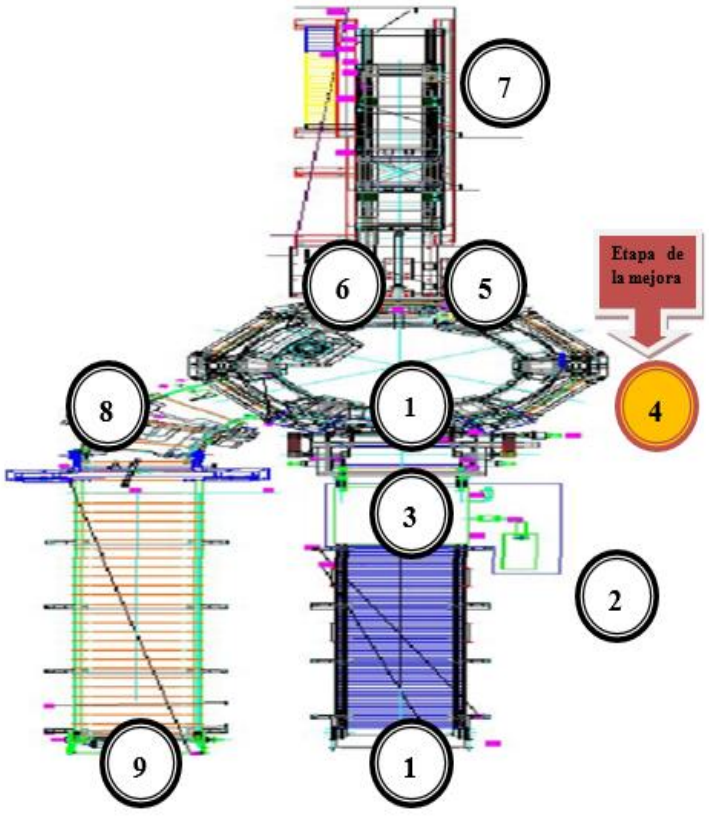

Figura N°4.5: Esquema de las Etapas de la "Stripping Machine" Destacando etapa a mejorar.

Etapa 1: Transportador de entrada: Esta es una cadena transportadora, donde se almacenan los cátodos a través del puente grúa y araña porta cátodos.

Etapa 2: Lavado de cátodos: En esta etapa que es una cámara, consta de una serie de inyectores instalados dentro para ser irrigados los cátodos para liberarlos de impurezas como sulfatos del cobre, azufre y plomo.

Etapa 3: Brazos cargadores: Esta etapa va retirando desde la cadena de entrada los cátodos de cobre y cargados en uno de los marcos del carrusel, siempre y cuando lo detecte vacío.

Etapa 4: Martilleo: Esta etapa es la encargada de despegar el cátodo de cobre de la placa madre y dejarla en condiciones para ir a la siguiente etapa.

Durante la etapa de martilleo, el martillo de desprendimiento golpea suavemente los cátodos para ayudar en su desprendimiento de las planchas madre. Este proceso se realiza con cuidado para evitar dañar los cátodos y garantizar un despegue efectivo. El martilleo se controla de manera precisa para asegurar que los cátodos se desprendan correctamente sin causar deformaciones o daños en el material.

Etapa 5: Separado y pliegue: Se separa de la placa madre de acero inoxidable del cátodo de cobre.

Etapa 6: Descarga y apilamiento: A través de esta etapa bajan desde el separado y pliegue ambos cátodos de cobre que serán apilados por la cartuchera.

Etapa 7: Transportador de salida de paquetes: Es el encargado de ir retirando los paquetes de cátodos de cobre una vez alcanzado su peso o altura.

Etapa 8: Transferidor de 60°: Este es el encargado de ir retirando las placas madre de acero inoxidable de los marcos del carrusel para ser almacenados en transportador de salida.

Etapa 9: Transportador de salida: Es el que trabaja en conjunto al carro transferidor y va almacenado las placas vacías para ser llevadas nuevamente a las celdas de electro obtención para comenzar nuevamente con el proceso de depositario.

Etapa 10: Carrusel: Este Interactúa con las etapas de: (Brazos cargadores, Martilleo, Separado y pliegue, transferidor de 60°) y su nombre es referido a los juegos mecánicos porque tiene la forma circular y gira como ellos.

La máquina despegadora de cátodos de forma radial tipo carrusel opera mediante un proceso automatizado que incluye etapas de recepción, lavado, despegue, martilleo, corrugado y apilado. La etapa de martilleo es crucial para facilitar el desprendimiento de los cátodos de las planchas madre de manera controlada y eficiente.

Figura N° 4.6: Máquina despegadora de cátodos.

4.4 Antecedentes de mejoras a la máquina despegadora

La puesta en marcha de este equipo fue en 1995 y a la fecha, se le han realizado varias modificaciones, con el paso de casi tres décadas todo proceso industrial con tecnología de punta como es la industria actual en Chile, involucra cambio tecnológico en sus distintas áreas de la planta y este equipo en especial las ha tenido en todo ámbito, desde un control HMI, para mejorar los tiempos de salida del operador a los distintos tableros de control

local, mejorando de esta manera la operación en el reposicionamiento inicial de las distintas etapas, ante detenciones inesperadas de fallos ya que el operador desde la sala y un HMI realiza los movimientos necesarios, además también se le han implementado caza fallas en el programa PLC/HMI para minimizar los tiempos de reparación ante posibles averías, aislamientos, fallos erróneos, etc. Con el fin de mejorar el tiempo de respuesta ante este tipo de situaciones.

Con respecto a sus sensores en sus diferentes etapas, estos no han sufrido cambios ya que en el tiempo se ha mantenido el estándar de fabricación.

El escenario actual la mina, es que se encontraron reservas hasta 2037 de extracción de mineral oxidado y de forma paralela pasa a un nuevo proceso que es una planta de sulfuros. Por lo cual se necesita tener la maquina disponible para cumplir las metas propuestas, por esta razón se han ido priorizando equipos de mayor a menor criticidad con el propósito optimizar su rendimiento.

Esto ha llegado a tomar tanta importancia que actualmente se trabaja en el mejoramiento continuo para darle continuidad a la planta.

CAPITULO V
PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN

5.1 Contexto del proyecto

El proyecto esta contextualizado en el área húmeda de Manto Verde de la empresa minera "Capstone Copper", específicamente en la maquina despegadora de cátodos ubicada en la nave de electro obtención, donde existen dos puentes grúas electrónicos que alimentan este equipo "Stripping machine" encargada de despegar y apilar en paquetes el producto final que son los cátodos de cobre de alta pureza 99.999 %, para ser comercializados y enviados al cliente en el mercado extranjero.

5.2 Descripción del problema

El problema está en la maquina despegadora de cátodos, específicamente en la etapa de martilleo según un análisis efectuado, este arroja que los eventos relacionados con la caída de cátodos de esta etapa "martilleo" presenta el mayor tiempo en horas, de equipo fuera de servicio.

En la etapa de martilleo de la máquina, existen una serie de sensores de tipo inductivo y retro reflectivos los cuales cumplen la función de detectar y enviar información al PLC para ejecutar la lógica de control correcta y segura para su funcionamiento y detención.

Dada esta información, cabe destacar que existe un sensor del tipo retro reflectivo Marca: Pepperl+Fuchs, Modelo: MPP1 HD que está ubicado en la salida de esta etapa de martilleo específicamente en la guía mecánicas del carrusel, para detectar el cátodo fuera de posición a la salida de esta etapa, como entrada (I: 3217) al Ladder del PLC "Controlador Lógico Programable" dicho sensor no cumple la función de detener de manera segura, el equipo cuando los cátodos pierden la posición normal en la salida de esta estación, por ende cuando se producen posiciones anormales de los cátodos, estos impactan la guía mecánica produciéndose eventos no deseados en las cosechas de cobre, para la cual fue diseñada esta máquina.

Ya que las detenciones y daños producidos producto de una mala técnica de detección de este dispositivo retro reflectivo antes mencionado, hace que los costos de reparación por parte de mantención más la productividad y calidad del producto final sean afectados.

5.3 Problemas generados por la técnica de detección del sensor retro reflectivo en la salida de etapa martilleo en M.D.C

Este sensor actualmente instalado en la salida de la etapa de martilleo, por su disposición de medición por ser retro reflectivo hace que los cátodos cuando salen levantados de la etapa de martilleo golpean contra la guía porta cátodos, provocando las caídas de cátodos, placas de acero y atrapamientos, ya que como se puede ver en la imagen su reflector está instalado en la guía misma por donde pasan a la siguiente etapa de descarga y apilamiento, ver la figura N° 5.1 y 5.2.

Figura N° 5.1: Sensor retro reflectivo instalado en la máquina y su forma de medir en la guía con un espejo reflector.

Figura N° 5.2: Cátodos impactando guía en salida de su etapa de martilleo.

5.3.1 Mayor tiempo de detención por reparación o cambio de guías.

Los eventos provocados por impactos no deseados, en la etapa de salida de martilleo tienen como consecuencia un tiempo mayor de reparación de guías porta cátodos, debido a los impactos generados en la operación actual. (Ver la figura N° 5.3)

Figura N° 5.3: Proceso de reparación a daños mayores provocados por impactos a las guías.

5.3.2 Mantener stock de guías en bodega planta

Toda esta problemática generada, significa mantener una mayor cantidad de repuesto disponible de guías mecánicas porta cátodos en bodega planta, esto significa costo de fabricación y envió, esto para darle continuidad de operación a la maquina despegadora de cátodos "Stripping Machine". (Ver la figura N° 5.4).

Figura N° 5.4: Stock de guías.

Muestra una cantidad importante de stock de guías porta cátodos en bodega, para absorber los reemplazos provocados por los daños en la etapa salida de martilleo.

5.3.3 Placas de acero inoxidable

Daños generados a las placas de acero inoxidable 316 L, producto de la misma situación, impactos no deseados, esto es una seguidilla de consecuencias producto del mal funcionamiento de esta etapa a mejorar, estas reparaciones también tienen un costo considerable de reparación que están clasificada como: reparación menor y mayor las cuales se juntan en lotes de alrededor de 100 unidades para mandarse a reparar. (Ver la figura N° 5.5).

Figura N° 5.5: Placas de acero inoxidable con daños por impactos.

5.3.4 Cátodos de cobre de alta pureza rechazados

De igual forma el cátodo de cobre, que es el producto final del proceso de la maquina despegadora "Stripping machine" es rechazado por daños físicos provocados por los impactos en esta etapa a mejorar que es la salida de martilleo.

Cabe señalar como se menciona anteriormente, estos cátodos no satisfacen las necesidades del cliente por ende son comercializados a menor costo en un mercado menos exigente. (Ver la figura N° 5.6).

Figura N° 5.6: Cátodos de cobre con daño físico.

5.4 Sensor retro reflectivo instalado en la guía de cátodos salida etapa de martilleo

Sensor retro reflectivo Marca: Pepperl+Fuchs modelo: MPP1 HD instalado en la guía porta cátodo de la maquina despegadora. Ver la figura N° 5.7 y N° 5.8.

Figura N° 5.7: Sensor retro reflectivo utilizado junto a su espejo reflector.

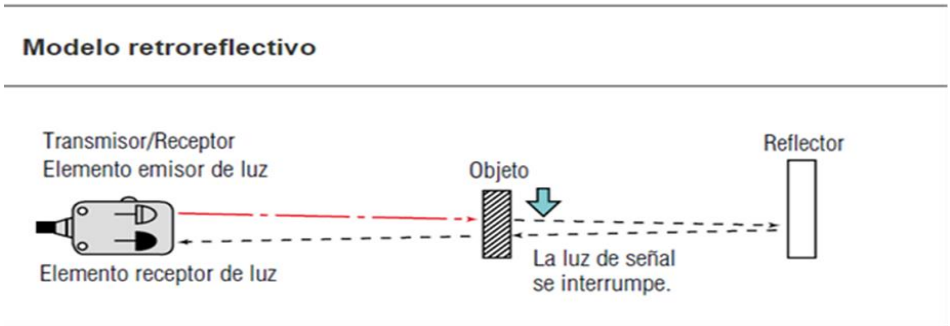

Figura N° 5.8: Esquema de funcionamiento sensor retro reflectivo instalado.

Dado estos antecedentes, este tipo de sensor retro reflectivo no está cumpliendo eficientemente con el propósito que es detectar adecuadamente y detener la maquina con los cátodos fuera de posición en la salida de la etapa de martilleo, además el espejo reflector está instalado en arco mismo de la guía, por ende, cuando estos salen mal posicionados como se menciona anteriormente, se producen levantamientos y posteriores impactos no deseados.

Por consiguiente se tiene una estimativa perdida de dinero, causado por estos eventos de caídas de cátodos en esta etapa, que se detallan más adelante, Si bien este proyecto de

mejorar el equipo por mal funcionamiento de detección de esta etapa, en la "Stripping Machine", no presenta grandes dificultades del punto de vista de ingeniería, ya que sé buscara otro dispositivo electrónico sensor en el mercado, para mejorar el control requerido, y obtener resultados positivos para la empresa a través de optimización de la etapa de martilleo de la máquina despegadora.

5.4.1 Modos de detención de la despegadora

En la tabla N° 5.1 se muestran los modos de detención de la maquina despegadora de forma combinada y que (MDD) domina en las diferentes etapas, siendo la etapa de martilleo con 178 horas destacadas, para controlar.

Tabla N° 5.1: Modos de detención despegadora.

MDD	Hr	F/S Colación	F/S Mantención Programada	F/S Estación de Martilleo	F/S Desenergización	F/S Charla de Seguridad	F/S Estación de Separado y Pliegue	F/S Estación de Cartuchera	F/S Estación Carrusel	F/S Caída de Planta	F/S Estación de Lavado	F/S Estación Trasportador de 60°	F/S Estación Trasportador de paquete	F/S Mantención No programada	F/S Estación Conveyor de Descarga	F/S Espera Conveyor de carga	F/S Ajuste de Sensor	F/S Falla en Brazos Cargadores	F/S Termino de cosecha	F/S Movimiento puente grúa	F/S Espera Conveyor de Descarga	F/S Caída de Catodos	F/S Movimiento de Desborre	F/S Cambio en Puente Grúa	F/S Estación Conveyor de Carga	F/S Espera de Eléctricos	F/S Reposición Cabeza Martillo	F/S Retiro de cátodos de S, machine
BAJO PESO	162,1	0	6,5	0	92	0	0	0	0	0	0	0	0	12	13	18	12	0	0	0	3,8	0	0	0	2,9	0	0	0
CAE CATODO	159,23	0	0	92	0	0	15	3,9	2,5	0	16	5,7	7	0	0	0,3	0,3	4,9	0	0	0	12	0	0	0,7	0	0	0
ATRAPAMIENTO CATODO	85,22	0	0	58	0	0	13	5,7	2,9	0	1,4	2,5	0,2	0	0	0	0,1	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0
AJUSTE SENSOR	75,98	0	0	8,4	1,6	0	13	7,9	0,5	0	4,8	9,3	10	0	4,6	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0
CORTE ENERGIA	61,23	0	0	0	18	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1	0	0	0	0	0	0	0
FALTA AGUA	61	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LINEA AGUA	43	0	13	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SENSOR	42,96	0	0	2,3	0	0	5	4	6,4	0	5,2	6,9	1,3	2	2,7	0,9	2,3	0	0	0	0	0	0	0	3,9	0	0	0
CAE PLACA	39,25	0	0	34	0	0	1,5	0,3	2	0	0	0	0	0	0,4	0	0,2	0,6	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0
CAMBIO CARTUCHERA	32,91	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CATODO TRABADO	32,89	0	0	5,2	0	0	20	5,1	1,5	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIVELA MARCO	30,66	0	0	0,6	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RETIRO CATODO	30,5	0	0	8,5	0	0	5,8	2,9	2,9	0	2,1	0	4,4	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	2,9
REPONE MARTILLO	23,33	1	0	19	0	0	0	0,7	0,3	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0
ROTURA LINEA	22	0	19	0	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAE PAQUETE	19,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIVELA BRAZOS CARGADORES	18,39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0
BAJA TEMPERATURA	18,01	0	0	0	7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	9,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.2 Análisis N° 1 Pareto de detención de la maquina despegadora

Este Pareto indica donde ocurren las detenciones en horas en la maquina despegadora de cátodos, mostrando que como etapa, la estación de martilleo presenta una gran cantidad de horas de equipo fuera de servicio. (Ver la figura N° 5.9).

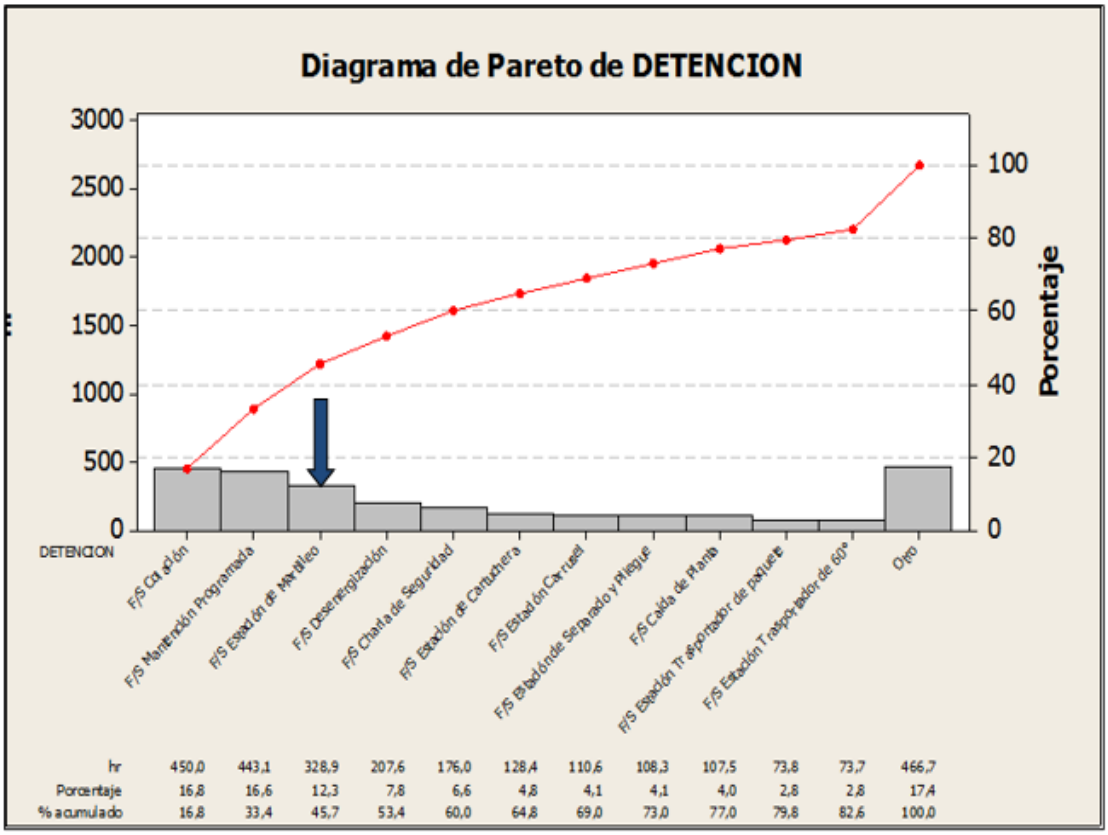

Figura N° 5.9: Pareto de detenciones “Despegadora”.

5.4.3 Análisis N° 2 Pareto de modo de detención de la despegadora

Este Pareto muestra los modos de detención, de la maquina despegadora que aportan más horas y están relacionadas con la etapa de martilleo como se puede observar. (Ver Figura N° 5.10), Pareto de modo de detención.

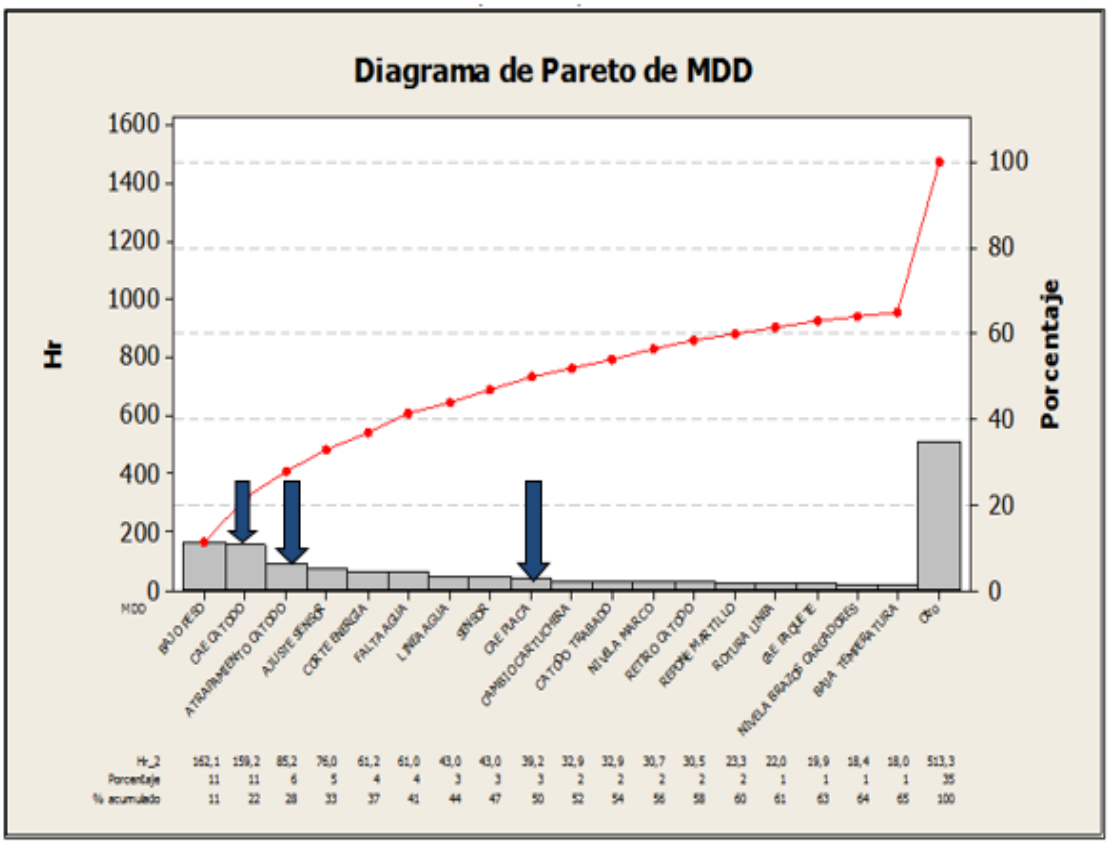

Figura N° 5.10: Pareto de modo de detención “Despegador”.

CAPITULO VI
IMPLEMENTACIÓN Y PROPUESTA EN MARCHA

6.1 Mejora propuesta

Por todo lo expuesto en los puntos anteriores, mediante este proyecto se pretende mejorar dicha situación y de esta manera evitar los daños provocados por mala detección, instalando un sensor de tipo infrarrojo marca: SICK Modelo. W27-3, para mejorar la técnica de censado en la salida de la estación de martilleo y generar detenciones con menor tiempo de reposición del servicio.

Ya que como se expuso anteriormente, el otro dispositivo sensor retro reflectivo hace control con su espejo reflector que por disposición y espacio va montado en el arco mismo de la guía no permitiendo una distancia segura de detección.

La nueva disposición sensor SICK Modelo: W27-3 se anticipará censando directo al objeto, que es el cátodo en movimiento ya que permite ajustar y dirigir su láser infrarrojo en espacios reducidos y móviles que existen en la etapa de martilleo de la máquina, para controlar la detención que significara menor tiempo de detención.

En donde el operador podrá acomodar o retirar los cátodos, mejorando el tiempo de reposición de servicio del equipo.

6.2 Dispositivo sensor foto eléctrico a utilizar en la mejora de la etapa de martilleo de la maquina despegadora

El sensor fotoeléctrico emite un haz de luz (visible o infrarrojo) desde su elemento emisor de luz. Un sensor fotoeléctrico de tipo reflectivo se utiliza para detectar el haz de luz reflejado desde el objeto.

El dispositivo sensor que se utilizará en este proyecto es el sensor fotoeléctrico marca: SICK. (Ver la figura N° 6.1).

Figura N° 6.1: Sensor fotoeléctrico marca Sick modelo W27-3.

6.3 Sensor fotoeléctrico marca Sick modelo (W27-3) seleccionado para la optimización

Solución precisa, duradera y potente para una amplia gama de aplicaciones. La familia W27 está diseñada para entornos industriales duros donde se puede manejar fácilmente con fuertes vibraciones, choques y fluctuaciones extremas de temperatura. El sensor de proximidad fotoeléctrico es un líder en su clase, especialmente a través de su detección fiable a largas distancias.

Un sensor con LED PinPoint o un sensor de proximidad fotoeléctrico láser están disponibles para la detección de blancos pequeños.

Una amplia gama de características mejora aún más la funcionalidad específica de la aplicación, incluyendo el ajuste Teach o potenciómetro, retrasos de tiempo, con voltaje universal DC o AC / DC. Ver la figura N° 6.2.

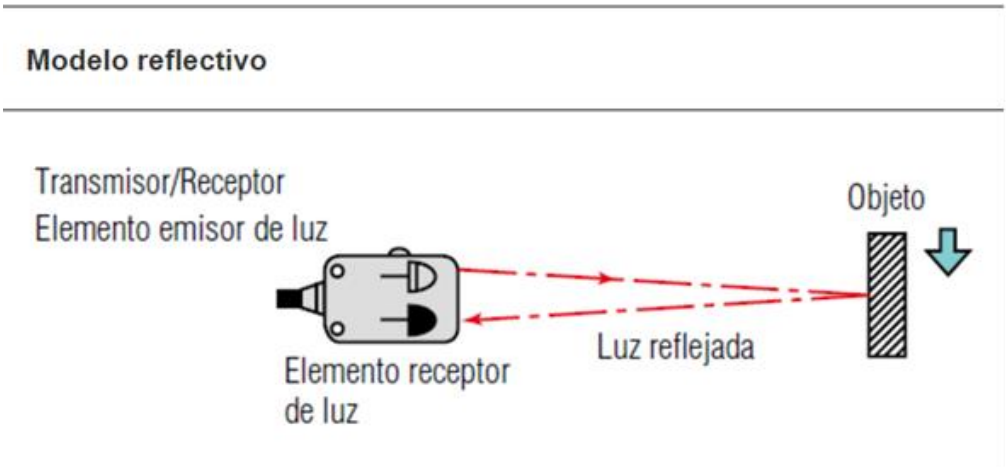

Figura N° 6.2: Esquema de sensor foto reflectivo.

Este sensor tiene la particularidad de usar el objeto para realizar el control de detección eso lo hace que cumpla a la perfección el propósito de la mejora buscada y se está regulando su medición de forma manual a punto de medir la mano como se observa en la figura N° 6.3 y medición de sensor en la figura N° 6.4.

Figura N° 6.3: Sensor Sick instalado por fuera de la guía con control energizado led verde activo.

Figura N° 6.4: Sensor Sick simulado activo de forma manual con el de color ámbar activo.

6.4 Puesta en marcha del sensor Sick

Sensor SICK instalado de en la etapa de martilleo para conseguir los objetivos de este proyecto. (Ver la figura N° 6.5).

Figura N° 6.5: Sensor Sick montado en la etapa de martilleo en una nueva posición ya no en la guía.

6.4.1 Sensor Sick ejecutando la lógica de detención

En esta imagen se puede observar como el nuevo sensor y la dispocion de montaje realiza de forma exitosa, el control de detencion del equipo sin generar daños y de esta manera minimizar los tiempos de reposicion del sistema. (Ver la figura N° 6.6).

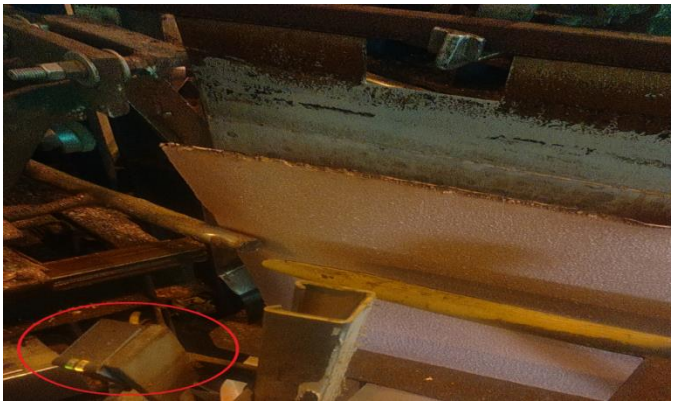

Figura N° 6.6: Sensor Sick controlando la detención.

6.4.2 Restauración del sistema por detección de cátodo fuera de posición en la guía

En esta imagen se puede apreciar como el operador de la maquina despegadora Puede restaurar el servicio sin la intervención de mantención por reparación de guías mecánicas optimizando los tiempos de producción. Ver las figuras N° 6.7 y N° 6.8.

Figura N° 6.7: Operador retirando cátodos caídos.

Figura N° 6.8: Operador retirando la placa y los cátodos con grúa timo mono riel.

6.5 Ladder de detención en PLC (I: 3217) cátodos fuera de posición guía salida etapa de martilleo en M.D.C

Esta es la entrada que detecta cátodos fuera de posición en la guía, (I: 3217) mantiene energizada la bobina que permite el giro del carrusel (O: 1604). Esta va a un contacto negado del último ladder para hacer la detención de producción en automático deteniendo la máquina. (Ver la figura N° 6.9).

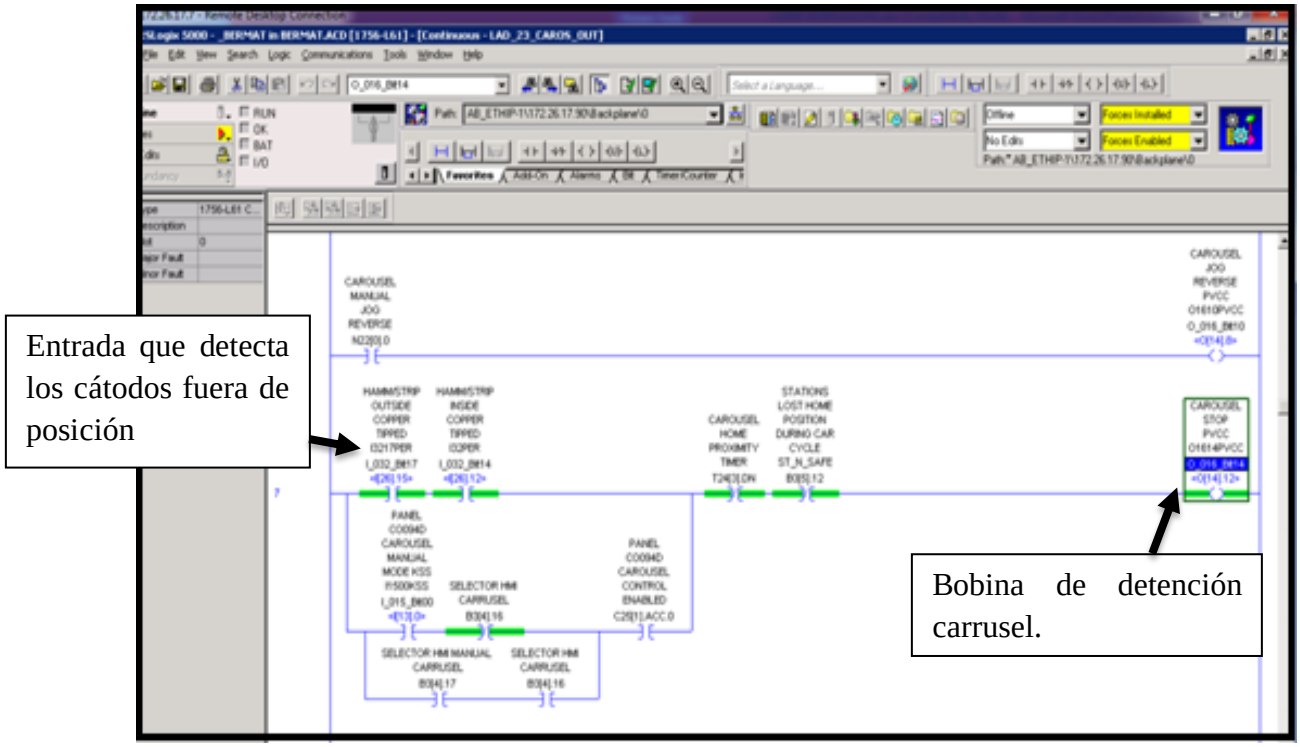

Figura N° 6.9: Lógica N°1 de detención maquina despegadora.

Esta bobina genera la alarma en la etapa de martilleo, es decir detiene la maquina despegadora.

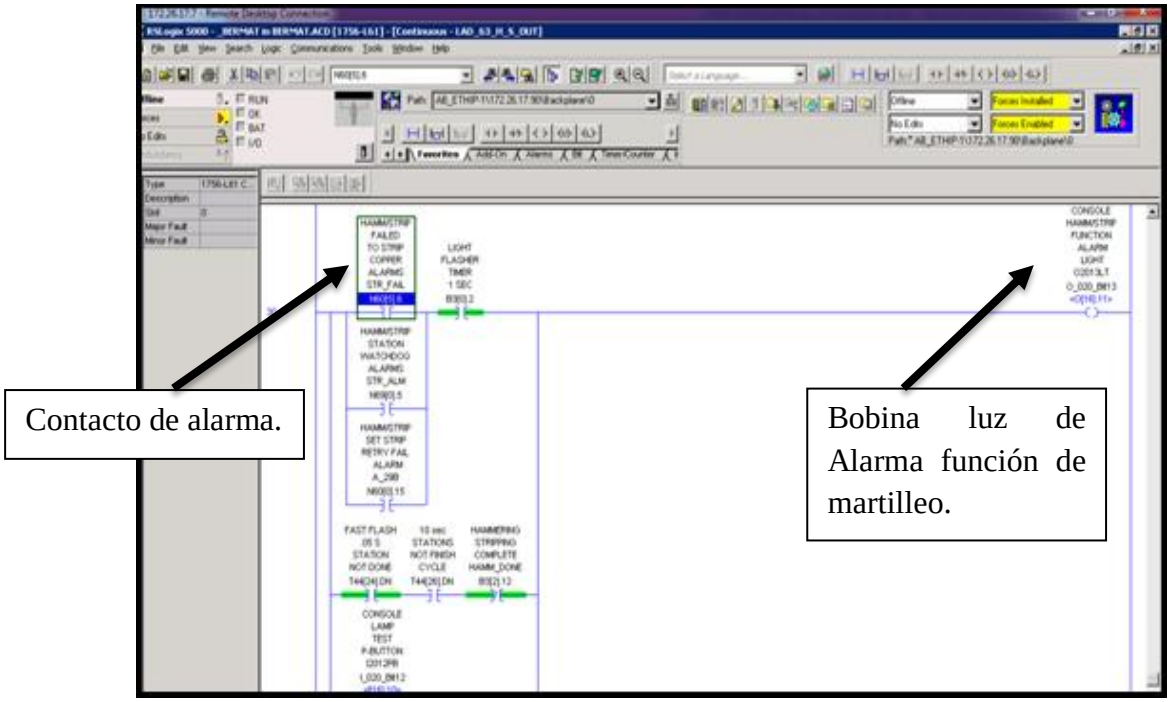

Figura N° 6.10: Lógica N°2 de Detención Maquina Despegadora.

Contacto negado de la bobina (O: 1604) cuando se desenergiza la bobina (O: 1604) este contacto energizará la bobina de detención de producción.

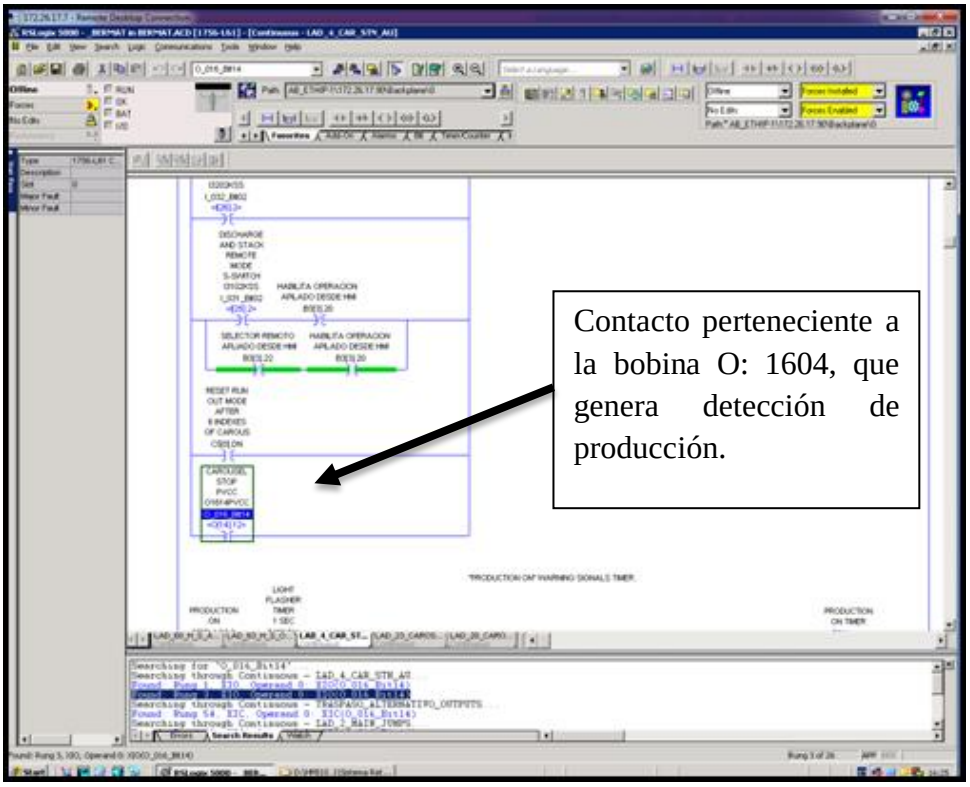

Figura N° 6.11: Lógica N°3 de detención máquina despegadora.

6.6 Principales ventajas al implementar el proyecto

- Optimizar la producción.
- Reducir los costos de mantención por reparaciones e insumos.
- Mejorar la utilización del equipo.

CAPITULO VII
ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 Evaluación del proyecto

La tabla N° 7.1 muestra los costos relacionados, para ejecutar este proyecto de mejorar la técnica utilizada para detectar la caída de cátodos en la etapa de martilleo, en la Maquina Despegadora.

Tabla N° 7.1: Costos asociados al desarrollo del proyecto.

Costos Asociados al Desarrollo del Proyecto	
Dispositivo Sensor $235.843 x 10 C/U	$1,601,376
Fabricacion de Soporte (HH)	$ 180,00
Material Acero Inox	$ 450,00
Total + IVA al 19%	$ 2,231,376 +IVA= $2,655,337

7.1.1 Costos asociados a los daños de guías

Costo C/U = $ 250.000

$$\text{costo asociado a daño de guia} = \text{costo unitario} * \text{cantidad} \quad \textbf{(Ec. N° 7.1)}$$

Costo asociado a daño de guía = 250.000 * 2

Costo asociado a daño de guía = $ 500.000

En el mes se cambian promedio 2 guías y el valor es de $ 500.000.

$$\text{valor gasto anual} = (\text{costo asociado a daño de guia} * 12 \text{ meses}) + 19\% \quad \textbf{(Ec. N° 7.2)}$$

$$\text{valor gasto anual} = (\$500.000 * 12) = \$6.000.000 + \text{iva al } 19\%$$
$$= \text{Aproximadamente al Año se Gastan } \$7.140.000 \text{ en guías Mécanicas}$$

7.1.2 Costos asociados a reparación de placas de acero

$$\text{costos asociados a rep.} = \text{costo de reparacion} * \text{cantidad de placas por mes} \quad \textbf{(Ec. N° 7.3)}$$

- Costo de reparación menor c/u $ 6.000 (50 placas aproximadamente) por mes.
- Costo de reparación mayor c/u $.12.000 (50 placas aproximadamente) por mes.

Costos mensuales de placas Inox al mes más IVA

$$(\text{costos asociados a rep menor}) + (\text{costos asociados rep mayor}) + \text{iva} \quad \textbf{(Ec. N° 7.4)}$$

$$\$6.000 * 50 + 12.000 * 50 = \$900.000 + \text{iva}$$
$$= \$1.071.000 \text{ Costos Mensual de Reparacion de placas}$$

Costos de placas Inox al año más IVA

$$\text{costos mensuales de placas inox al mes} + \text{iva} * 12 \text{ meses} \quad \textbf{(Ec. N° 7.5)}$$

$$\$1.071.000 * 12 \text{ meses} = \$12.852.000 \text{ con iva Incluido}$$

7.1.3 Cátodos de cobre rechazados por forma física

- Un cátodo pesa aproximadamente 40 kg = 89 Lb.
- Valor del dólar Promedio en el Año: $ 787.

Calculo para fijar precio del cátodo de 89 lb

$$\text{precio cátodo} = \text{libra de cobre} * \text{peso de catodo} \quad \textbf{(Ec. N° 7.6)}$$

$$\text{Libra cobre 3.8 centavo} = \$2990 * 89 \text{ lb}$$
$$= \$266.110 \text{ Precio Aprox por Cátodo de 89 lb}$$

Costo Mensual del rechazo físico del cátodo

$$\text{rechazo mensual} * \text{precio cátodo de 89 lb} \quad \textbf{(Ec. N° 7.7)}$$

$$\text{Rechazo mensual aprox } 60 \text{ cátodos} * \$266.110 = \$15.966.600$$

Cálculo del cátodo castigado por rechazo físico

$$\text{costo mensual del rechazo fisico del catodo} - 4\% \text{ de castigo} \quad \textbf{(Ec. N° 7.8)}$$

Este Valor Total de $ 15.966.600 es Castigado en un 4% quedando en $15.327.936

Cálculo del castigo por cátodo rechazado físico al año

$$4\% \text{ del catodo castigado} * 12 \text{ meses} \quad \textbf{(Ec. N° 7.9)}$$

$$4\ \% \text{ Equivale a} = \$\ 638.664 \text{ Que se deja de Ganar por Mes}$$
$$\$\ 638.664 * 12 \text{ Meses} = \$\ 7.663.968 \text{ Que deja de ganar al año la Empresa}$$

7.2 Viabilidad del proyecto y ahorros aproximados que se pretenden obtener para el departamento de mantención con la mejora

La tabla N°7.2 muestra el ahorro del departamento de mantención aproximado que genera el proyecto al ser implementado.

Tabla N° 7.2: Ahorro anual aproximado para el departamento de mantención.

Ahorro Apróximado costos mantención al año en pesos	
Costos de Guías	$ 7,140,000
Costo de Reparacion de Placas Inox	$ 12,852,000
Costo de Rechazo fisico de cátodos	$ 4,165,200
Ahorro apróximado generado al año	$ 24,157,200

7.2.1 Viabilidad del proyecto

Este proyecto se recuperará en un mes y diez días aproximadamente, solamente con el ahorro generado en el año, por reparación y gasto de componentes, sin considerar el ahorro potencial en horas de detención de la máquina, en el cual se comprometerá un 15 % de un total de 184 horas, es decir 27.6 horas en el año que veremos a continuación.

7.2.2 Cuadro estadístico de los modos de detención de la M.D.C

Esta tabla muestra la información estadística de los modos de detención de la Maquina Despegadora de Cátodos. En los cuales nos enfocaremos tomando los datos que se encuentran dentro del recuadro negro, que contiene la mayor cantidad de horas de detención.

Con esta información se realizaron los Paretos de detención de la maquina despegadora.

Tabla N° 7.3: Estadística de (MDD), modos de detención despegadora.

MODO DE DETENCIÓN MAQ.	Días	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	365
DESPEGADORA DE CÁTODOS	AÑO	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	YTD
FUERA DE SERVICIO	HR	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembr	Octubre	Noviembr	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	HR
F/S Colación	450	43	38	37	20	49,2	37	38	37,3	39,3	39,8	34,7	36,7	450
F/S Mantención Programada	443,1	28,2	22,7	31	20	31,6	41,7	64,1	42,3	30	53,7	40,9	36,9	443,1
F/S Estación de Martilleo	328,9	26,4	22,6	40	13,7	22,9	21,6	29,3	29	32,8	31,3	30,8	28,6	328,9
F/S Desenergización	207,6	2	14,3	12,8	3	26,6	55,6	21,3	8,4	15,7	34,8	12,3	0,8	207,6
F/S Charla de Seguridad	176	13,4	13	9,8	13,4	16,3	17,3	13	14,4	19,9	16	14,2	15,4	176
F/S Estación de Cartuchera	128,4	6,5	12,3	6,4	6,8	6,3	7,3	27,4	17,4	11,8	16,1	1,7	8,5	128,4
F/S Estación de Carrusel	110,6	2,3	4,8	6,1	9,7	7,2	8,3	5,6	17,5	16,2	11,4	13,8	7,8	110,6
F/S Estación Separado y Pliegue	108,3	6,8	18,1	22	1,2	1,5	0,2	0	0	2,2	13	28	15,3	108,3
F/S Corte Energía General	107,5	0	63,1	0	0	0	0	0	22,1	1,7	6,4	7,5	6,8	107,5
F/S Estación Transportador de Paquetes	73,8	10,8	1,7	8,7	8,7	7,4	10	4,1	11,5	2	2,7	3	3,2	73,8
F/S Estación Transportador de 60°	73,7	1,6	5,1	3,6	5,6	15,1	3,7	3,9	7,4	13,3	4,1	8,3	2,1	73,7
F/S Estación de Lavado	65	7,2	1,7	2,1	0	1,3	0	8,2	11,5	2,3	0,2	23	7,5	65
F/S Mantención no Programada	59,5	3	1,1	0	0	4,9	12,4	2,5	2	2,5	19,6	1,8	9,8	59,5
F/S Estación Conveyor Descarga	54,2	5,3	0,5	4,6	10,6	6,2	5,5	13,7	0,4	0	2,7	0,8	4	54,2
F/S Espera Conveyor de Carga	42,6	13,8	0	0,2	0	7	0,9	0,8	3,8	9,2	0	0	7	42,6
F/S Ajuste de Sensores	39,6	0,7	2,9	0,8	2,2	4	2	0,7	20	1,2	0,2	2	3	39,6
F/S Falla en Brazos Cargadores	39,1	0	0,5	0,2	0	1,7	0	6,8	4,6	2,4	1,7	10,6	10,7	39,1
F/S Término de Cosecha	36,8	0	0	0	0	0	0	0	36,8	0	0	0	0	36,8
F/S Movimiento de puente Grúa	29	4,4	5,5	1,8	1	0,7	2,8	3,7	1,8	1,8	0,8	3	1,7	29
F/S Espera Conveyor de Descarga	21,9	4,2	5	0	0	0,8	0,3	2,1	1,7	0	1,7	6,2	0	21,9
F/S Caída de Cátodos	17,1	1,6	1,4	0,8	1,2	1	1,2	3,7	1,6	0,7	1,8	0,9	1,2	17,1
F/S Movimiento de Desborre	16,4	4,9	1,2	3,6	0,5	2,9	0	0	0	0,6	1,3	0	1,4	16,4
F/S Cambio en Puente Grúa	13,7	0	0	6	0,2	0,8	0,6	0	0	0	1,7	0	4,5	13,7
F/S Estación Conveyor de Carga	9,7	4,2	0	0	0	4,7	0,3	0	0	0,5	0	0	0	9,7
F/S Espera de Eléctricos	6	1,3	0	0,2	0	2,3	0	0	0	2,2	0	0	0	6
F/S Reposición de Cabeza de Martillo	4,4	0,4	0	0,9	0	1,4	0,5	0,1	0	0	0,5	0,3	0,4	4,4
F/S Retiro de Cátodos de S. Machine	2,9	0	0	0	2,9	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9
F/S Retiro de Cátodos conveyor de 60°	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	2,3
F/S Estación Sala Hidráulica	1,8	0	0,7	0	0	0	0,3	0	0	0,8	0	0	0	1,8
F/S Caída Extractores de Gases EW	1,8	0	0,3	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8
F/S Motor hidráulico carrusel	1,5	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	1,5
F/S Espera de Mecánicos	0,7	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0,7
F/S Aseo de Equipo	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0,5
F/S Reuniones EAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Horas de Detención	2674,6	191,9	236,1	200,3	120,6	223,9	230,1	248,8	292	209,1	261,3	243,6	216,9	2674,6
Utilización		74.20%	64.90%	73.10%	83.30%	69,90%	68,00%	66,60%	60,80%	71,00%	64,90%	66,20%	70,80%	69,50%

Tabla N° 7.4: Referencia Objetivo Producto Final.

Meta en Kilos	Meta en Libras
52.000.000	115,555,556
Libra 0,45	
Valor de la Libra de Cobre 3,8 US	439,111,112 valor producción US
Valor US Hora de detencion	72,158
horas calendario	8760
horas disponibles a producir	6085,4

Cálculo del valor de la hora de detención

$$\frac{\text{valor de la libra de cobre 3,8 US}}{\text{horas d}} \quad \textbf{(Ec. N° 7.10)}$$

$$439.111.112 \text{ valor produccion US} \div 6085{,}4 \text{ horas disponibles a producir}$$
$$= 72.158 \text{ US valor hora detencion}$$

Cálculo de la producción anual de cátodos

$$\text{libra} * 3.8 \text{ US} \quad \textbf{(Ec. N° 7.11)}$$

$$115.555.556 \text{ libras} \times 3{,}8 \text{ US} = 439.111.112 \text{ US producción anual}$$

Cálculo de las horas disponible a producción en el año

$$\text{horas calendario} - \text{total horas detención} \quad \textbf{(Ec. N° 7.12)}$$

$$8760 \text{ horas calendario} - 2674 \text{ total horas detención}$$
$$= 6085{,}4 \text{ horas disponibles a producir}$$

7.2.3 Potencial ahorro (US) en horas a mejorar en la maquina despegadora

La tabla N° 7.5 muestra las horas a mejorar en la maquina despegadora, específicamente de la etapa de martilleo, en donde se resaltan 184 horas que son las más significativas y están relacionadas con el evento de caída de cátodos.

Tabla N° 7.5: Horas a mejorar MDC etapa martilleo.

Potencial horas a mejorar del MDD en la etapa de estación de martilleo	
Cae cátodos hrs	92
Atrapamiento cátodos hrs	58
Cae placa hrs	34
Total horas detención	184
porcentaje a mejorar	15%
horas a reducir	27,6
Valor hora detencion de la MDC con una utilizacion de 69,5 % (US/Hr)	72,158
Potencial ahorro (US)	13.277.072
Ahorro con porcentaje de mejora 15% (Us)	1.991.561

Cálculo de ahorro potencial con las horas a reducir con la mejora

$$\text{total horas detención} * \text{valor hora detencion de la MDC} \quad \textbf{(Ec. N° 7.13)}$$

$$(184)\text{horas detención} * (72.158\ \text{US}).\ 69{,}5\%\ \text{de utilización} = 13.277.072\ \text{potencial ahorro US}$$

Cálculo de horas a comprometer con la mejora en un 15 % en el año

$$\text{calculo de ahorro potencial con las horas a reducir con la mejora} * \text{porcentaje a mejorar} \quad \textbf{(Ec. N° 7.14)}$$

$$13.277.072\ \text{US potencial ahorro} * 0{,}15\ \text{porcentaje a mejorar} = 1.991.561\ \text{US}$$

7.2.4 Seguimiento de la mejora

La Tabla N° 7.6 se usa para realizar un seguimiento de los modos de detención de la maquina despegadora en la etapa de martilleo.

Tabla N° 7.6: Seguimiento de los MDD etapa de martilleo.

Total días del mes	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30
F/S Estación de martilleo	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023
Cae Cátodo	Abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun
	7,3	9	4,7	4,3	8,7	10	7,9	10,3	7,5	4,4	9,5	8	7,5	6,84	5
Atrapamiento Cátodo	4,7	4,2	4,8	4,5	6,1	4,2	4,7	4,6	4,5	5,4	5	5,8	4,6	4,55	3,86
Cae Placa	2,3	2,5	2,8	2,3	2,3	2,8	2,3	2,3	2,3	3,9	5,3	3,3	2,6	2,43	2,01
Periodo	pre implementacion												post implementación		

7.2.5 Estadística descriptiva

La Tabla N° 7.7 representa una estadística descriptiva del seguimiento de los modos de detención de la estación de martilleo pre y post implementación de la mejora.

Tabla N° 7.7: Representa la estadística descriptiva MDD de la etapa de martilleo.

MDD	Media Previo a la mejora	Desviación estandar periodo previo a la mejora	media post a la mejora	desviacion estandar periodo post a la mejora	% mejora media	% mejora desviacióm estandar
Cae Cátodo	7,646	2,125	6,447	1,296	15,70%	39,00%
Atrapamiento Cátodo	4,863	0,605	4,337	0,414	10,80%	31,60%
Cae Placa	2,843	0,94	2,347	0,304	17,40%	67,70%

7.2.6 Grafica del seguimiento de la mejora

En la gráfica de la figura N° 7.1 se representa la tabla N° 7.6, que muestra que la mejora implementada está dando resultados favorables en su comportamiento como mejora.

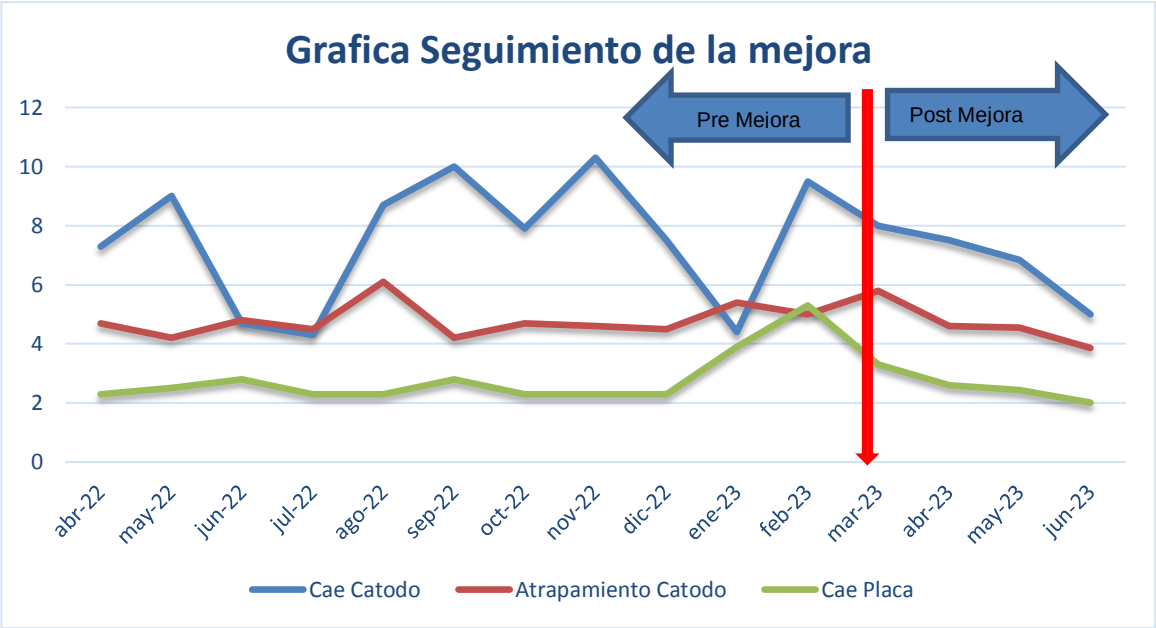

Figura N° 7.1: Gráfico de seguimiento de la mejora realizada.

Se muestra en la gráfica un año calendario como pre mejora y los últimos tres meses con la optimización de la etapa de martilleo como post mejora y claramente se pueden ver los resultados favorables en el comportamiento de la máquina despegadora.

CAPITULO VIII
CONCLUSIONES

La máquina despegadora de cátodos tipo radial mejora significativamente el proceso de separación automatizada de cátodos de cobre, optimizando tanto la eficiencia como la seguridad en la electroobtención. Su diseño en carrusel permite procesar varios cátodos simultáneamente, y la integración de tecnologías avanzadas, como el control HMI y el diagnóstico PLC/HMI, facilita una respuesta rápida ante posibles fallos. Con mejoras continuas, esta máquina garantiza un alto rendimiento y el cumplimiento de los objetivos de producción, adaptándose con éxito a los desafíos de la minería moderna.

Se logra una mejora importante en la máquina despegadora de cátodos mediante la instalación de un sensor fotoeléctrico **SICK** modelo **W27-3**, que optimiza la detección de cátodos fuera de posición en la etapa de martilleo. Esta actualización aumenta la precisión del sistema, reduce los tiempos de detención, disminuye los costos de reparación y mejora la calidad del producto final, contribuyendo de forma directa a la mayor eficiencia y productividad del equipo.

La implementación de este sensor fotoeléctrico SICK modelo W27-3 mejora considerablemente la capacidad de detección en la etapa de martilleo. Esto reduce significativamente los tiempos de detención, optimiza la producción, y disminuye los costos asociados a reparaciones. Además, la actualización mejora la eficiencia operativa, garantizando una mayor fiabilidad en el proceso de electroobtención y asegurando la continuidad y calidad de la producción.

Es importante destacar que tener los reportes operacionales fue una información clave, puesto que resultó ser fundamental para encontrar una solución. Al mismo tiempo la disponibilidad de aquella información permitió generar una visión del problema y además fue trascendental al momento de implementar la solución.

Los reportes y las entrevistas nos mostraron el problema en sí, se desarrolló un plan de trabajo que permitió obtener resultados positivos, a través de los modos de detención y los gráficos de Pareto, se consiguió recolectar la información necesaria para identificar cuáles

fueron las causas que provocaron las fallas en el funcionamiento de la Máquina despegadora de Cátodos.

En la puesta en marcha del proyecto a través de las etapas que se desarrollaron paso a paso, el tiempo de detención disminuyó en **27.6 horas** que equivale al **15 %** de **las 184 horas** en promedio anual de estas detenciones.

De igual forma gracias a esta implementación se logrará generar ahorros significativos en los costos de stock de las guías para el departamento de mantención por un total aproximado de **$ 7.140.000** de pesos al año. Además, generar ahorros en los costos de reparación de placas inoxidables por aproximadamente **$ 12.852.000** de pesos al año.

Se Generan ahorros en los rechazos físicos de los cátodos de cobre aproximadamente en **$ 24.157.000** de pesos al año.

Se obtiene como resultado una mejora en los tiempos de disponibilidad de un equipo vital, en la línea de producción de cobre fino como es la máquina despegadora de cátodos de Manto Verde, con lo cual se logrará un ahorro significativo de aproximadamente de **$ 1.991.561 (US) al año.**

BIBLIOGRAFÍA

Oficina Técnica de Manto Verde, Proyecto Santa Bárbara 1995 Stripping Machine liderado por Dan Pozobon Canadá.

Entrevistas de terreno a operadores Maq, Despegadora Luis Vega/Hendrys González/Luis Rojas/Marco Jopia, en la fecha Febrero 2023.

Manual de Referencia Allen Bradley Programación RC Logic/Estudio 5000 publicado por Rockwell noviembre 2018.

WWW.Sick.com/es/es/catalogo/archivo/W27-3/c/g197410 Hoja de Datos Del producto.

Estadística Básica por Evaristo Diz Cruz /Bogotá/ Edición 2016.

Brown, A., & Green, B. (2018). Advanced hydrometallurgical processes. Elsevier.

Davenport, J., King, M., Schlesinger, M., & Barns, R. (2020). Extractive metallurgy of copper. Elsevier.

Smith, J. (2020). Hydrometallurgy: Principles and applications. Springer.

Adams, R., & Clark, M. (2022). Industrial automation sensors: Principles and applications. TechPress.

Brown, L. (2021). Advanced optical sensors in industrial settings. SensorTech Publications.

Jones, T., & Taylor, K. (2019). Precision and reliability in proximity sensing. Automation Engineering Review, 34(2), 112-129.

Smith, J. (2020). Introduction to sensor technology. Electronics & Automation Books.

Williams, H. (2023). Versatility of optical sensors in modern industry. Modern Tech Books.