

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



INFORME TECNICO

**APLICACIÓN DE REOSTATO LÍQUIDO (LRS) PARA ARRANQUE DE LOS
MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR BOBINADO DE 8000kW DEL MOLINO
SAG EN LA U.M. CONSTANCIA – HUBBAY PERU SAC**

PRESENTADO POR:

Br. FREDY BEJAR VEGA CENTENO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA
EN LA MODALIDAD POR SERVICIOS A
NIVEL PROFESIONAL**

CONSEJERO:

Dr. DONATO MAMANI PARI

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "Aplicación de reostato líquido (LRS) para arranque de los motores de inducción de rotor bobinado de 8000KW del molino SAG en la U.M. Constancia - Hudbay Peru SAC"

presentado por: Fredy Béjar Vega Leutero con DNI Nro.: 70441172 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electricista.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 25 de Julio de 2024

Firma
Post firma Dr. Donato Mamani Pari

Nro. de DNI 23876507

ORCID del Asesor 0000-0002-0998-3424

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:369950002

NOMBRE DEL TRABAJO

1. Informe técnico Aplicación de Reóstat o líquido (LRS) para arranque de los motores del molino SAG_

AUTOR

FREDY BÉJAR

RECUENTO DE PALABRAS

19953 Words

RECUENTO DE CARACTERES

107151 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

143 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

12.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 25, 2024 7:25 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 25, 2024 7:27 AM GMT-5**● 7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Fuentes excluidas manualmente
- Bloques de texto excluidos manualmente

RESUMEN

La Unidad Minera Constancia es una mina de tajo abierto, que explota mineral de cobre y molibdeno mediante una planta concentradora. La unidad minera se encuentra en la región de Cusco, en la provincia de Chumbivilcas, en los distritos de Velille y Chamaca.

El mineral proveniente de mina llega al área de Chancado primario, el mineral chancado pasa al área de Molienda para luego ser transferido al área de Flotación, de aquí parte del mineral pasa al área de filtrado de cobre y otra parte va hacia la planta de Molibdeno, finalmente el proceso termina en el área de Relaves donde se colecta el desmonte, el material sin contenido de mineral y residuos de aguas con reactivos químicos.

El desarrollo de cada una de las áreas indicadas demanda el uso estricto de motores eléctricos de inducción, por ello se puede afirmar que las cargas principales en las instalaciones eléctricas industriales, para nuestro caso las instalaciones del proceso minero, es el motor de inducción con rotor del tipo jaula de ardilla o de rotor bobinado tanto en baja y media tensión, el cual representa un 90% de la carga total de la planta. Los motores de inducción de rotor bobinado accionan a los molinos SAG y molinos de bolas para la conminución del mineral mediante una combinación de esfuerzos de impacto y abrasión. La operación de la unidad de molienda reduce el tamaño del mineral preparándolo para los procesos de clasificación y/o separación de sólidos/líquidos.

La máxima demanda de energía eléctrica se da en el área de Molienda, este representa un aproximado del 80% del consumo de toda la Mina, los equipos principales y críticos para la producción son los molinos SAG y Bolas, estos equipos son de gran envergadura y requieren accionamiento a través de dos motores de MT con potencias de 8000kW en 13.8kV, ahora el arranque de estos motores de inducción requieren un sistema de arranque especial enfocado a proteger las partes mecánicas del motor – molino y estabilidad del sistema eléctrico de la Planta Concentradora. Por lo descrito, el presente trabajo tiene por finalidad principal describir el proceso de funcionamiento, operación y mantenimiento del arrancador de resistencias líquidas

LRS de los motores de inducción de rotor bobinado que accionan a los molinos tipo SAG de la planta concentradora de la Unidad Minera Constancia, aquí se identificará y describirá el funcionamiento de cada componente del LRS, así como la explicación de la filosofía de control y arranque de los motores, se abordará en los planes de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivos que se aplican al arrancador de resistencias líquidas.

Palabras clave: Motor de inducción, rotor bobinado, arrancador de resistencias líquidas, molino SAG.

ABSTRACT

The Constancia Mining Unit is an open pit mine, which exploits copper and molybdenum ore through a concentrator plant. The mining unit is located in the Cusco region, in the province of Chumbivilcas, in the districts of Velille and Chamaca.

The ore from the mine arrives at the primary crushing area, the crushed ore goes to the Grinding area and then is transferred to the Flotation area, from here part of the ore goes to the copper filtering area and another part goes to the Molybdenum plant. Finally, the process ends in the Tailings area where the waste material, the material without mineral content and water residues with chemical reagents are collected.

The development of each of the indicated areas demands the strict use of induction electric motors, therefore it can be stated that the main loads in industrial electrical installations, in our case the mining process installations, is the induction motor with rotor. of the squirrel cage or wound rotor type in both low and medium voltage, which represents 90% of the plant's total load. Wound rotor induction motors drive SAG mills and ball mills for ore comminution through a combination of impact and abrasion stresses. The operation of the grinding unit reduces the size of the ore preparing it for the classification and/or solid/liquid separation processes.

The maximum demand for electrical energy occurs in the Grinding area, this represents approximately 80% of the consumption of the entire Mine, the main and critical equipment for production are the SAG and Ball mills, these equipment are large in size and require drive through two MV motors with powers of 8000kW at 13.8kV, now the starting of these induction motors requires a special starting system focused on protecting the mechanical parts of the motor - mill and stability of the electrical system of the Concentrator Plant . As described, the main purpose of this work is to describe the process of operation, operation and maintenance of the LRS liquid resistance starter of the wound rotor induction motors that drive the SAG type mills of the concentrator plant of the Constancia Mining Unit. , here the operation of each component of the LRS will be identified and described, as well as the explanation of the control and starting

philosophy of the motors, which will be addressed in the preventive, predictive and corrective maintenance plans that are applied to the liquid resistance starter.

Keywords: Induction motor, wound rotor, liquid resistance starter and SAG mill.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	III
TABLA DE CONTENIDO	V
CAPITULO I:.....	1
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Descripción de la Empresa	1
1.1.1 Ubicación geográfica	1
1.1.2 Datos de la Empresa	2
1.1.3 Misión y Visión de la Empresa.....	2
Misión	2
Visión.....	2
1.1.4 Estructura Organizacional	2
1.2 Descripción general de experiencia	4
1.2.1 Experiencia lograda en el rubro minero	4
1.2.2 Descripción de las funciones asignadas en el puesto	6
1.3 Descripción del informe.....	8
1.3.1 Objetivos del informe	8
1.3.2 Alcances del informe	8
1.3.3 Limitaciones del informe	8
CAPITULO II:.....	9
2. SISTEMA ELÉCTRICO DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA U.M CONSTANCIA ..9	
2.1 Introducción	9
2.2 Subestación Principal 220kV (5761-SS-001).	10
2.3 Chancado primario (Sala eléctrica 3100-SS-100).	13
2.4 Pila de acopio y recuperación (Sala eléctrica 3210-SS-150).....	15

2.5	Molienda (Salas eléctricas SS-200/205 y SS-250/255)	17
2.6	Remolienda y planta de Cal (Sala eléctrica 3260-SS-400).....	19
2.7	Flotación de cobre (Salas eléctricas 3250-SS-300 y SS-301)	20
2.8	Filtrado de cobre (Sala eléctrica 3280-SS-500).....	22
2.9	Planta molibdeno (Sala eléctrica 3300-SS-700).....	22
2.10	Relaves (Sala eléctrica 3290-SS-600)	23
CAPITULO III:.....		25
3.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MOLIENDA.....	25
3.1	Proceso de Molienda	25
3.1.1	Línea de molienda 1.	27
3.1.2	Línea de molienda 2.	27
3.2	Sistema Eléctrico de Molienda.	27
3.2.1	Sistema eléctrico línea 1.....	29
3.2.2	Línea de Molienda 2	37
3.3	El Molino SAG	44
3.4	El Molino de Bolas	47
CAPITULO IV:.....		50
4.	ACCIONAMIENTO DEL MOLINO SAG.	50
4.1	Principio de funcionamiento del molino SAG.....	50
4.2	Componentes del molino SAG	53
4.2.1	Alimentación de carga al molino	55
4.2.2	Estructura de molino SAG.	55
4.2.3	Sistema de Accionamiento	55
4.2.4	Descarga del molino	56
4.3	Motor de inducción de rotor bobinado.	56
4.3.1	El estator del motor de 8000kW.....	58

4.3.2	El rotor del motor de 8000kW	58
4.3.3	Sistema de anillos rozantes	59
4.4	Sistema de arranque del molino SAG	60
4.4.1	Arrancador de resistencia líquida (LRS)	61
4.4.2	SER Drive.....	62
4.5	Secuencia de arranque del molino SAG	63
CAPITULO V:		65
5.	EL ARRANCADOR DE RESISTENCIAS LÍQUIDAS (LRS).	65
5.1	Introducción.	65
5.2	Principio de funcionamiento del arrancador de resistencias líquidas LRS.	66
5.2.1	Curvas características de arranque.	69
5.2.2	Sistema eléctrico del arrancador LRS.....	74
5.2.3	Componentes del arrancador LRS.....	75
5.2.4	Composición del electrolito.....	82
5.3	Operación del arrancador de resistencias líquidas LRS.	83
5.3.1	Operación modo LRS	83
5.3.2	Operación modo SER Drive.....	84
5.4	Mantenimiento del arrancador de resistencias líquidas LRS	88
5.4.1	Enfoque de gestión de mantenimiento.....	88
5.5	Desarrollo del mantenimiento del arrancador LRS	90
5.5.1	Estructura exterior y cubiertas de compartimientos de potencia.	91
5.5.2	Tanques de electrolito	92
5.5.3	Electrodos fijos y móviles	92
5.5.4	Sensores de posición y fines de carrera	94
5.5.5	Contactores de potencia para corto circuito.....	96
5.5.6	Bomba de recirculación de electrolito	98

5.5.7 Motor de accionamiento de electrodos	99
5.5.8 Lista de componentes del arrancador LRS.....	100
CONCLUSIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS.....	105

CAPITULO I:

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Descripción de la Empresa

Hudbay Perú S.A.C., es una empresa privada, subsidiaria de Hudbay Minerals cuya base se encuentra en Canadá. Hudbay Perú S.A.C, en adelante Hudbay, es una empresa dedicada a la explotación de minerales metálicos y actualmente es titular del proyecto “Unidad Minera Constanca” donde viene operando desde el año 2014 explotando los metales de cobre y molibdeno. Hudbay adquirió Constanca a inicios del año 2011 de la Empresa Norsemont y desde entonces viene administrando y operando de manera continua la Unidad Minera. Hudbay Minerals posee tres unidades mineras polimetálicas, una planta de producción de zinc en el norte de Manitoba y Saskatchewan (Canadá), una planta de producción de cobre y molibdeno en Cusco (Perú), y proyectos de cobre en Arizona y Nevada (Estados Unidos).

1.1.1 Ubicación geográfica

La U.M Constanca se encuentra ubicado en la sierra Sur del Perú, en el departamento del Cusco, Provincia de Chumbivilcas, en los distritos de Velille y Chamaca, a 4200 m.s.n.m y a una distancia de 256 km de la ciudad del Cusco, 343 km de la ciudad de Arequipa y 480 km del Puerto de Matarani.

Figura1

Ubicación geográfica de la U.M Constanca.



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

1.1.2 Datos de la Empresa

- Razón Social: HUDBAY PERU S.A.C.
- RUC: 20511165181
- Nombre Comercial: Hudbay
- Fecha Inicio Actividades: 12 / Julio / 2005
- Página Web: <http://www.hudbayminerals.com>
- Actividad Comercial: Extracción de minerales metalíferos no ferrosos
- Dirección Legal: Av. Jorge Chavez Nro. 235 Dpto. 701
- Distrito / Ciudad: Miraflores
- Departamento: Lima, Perú

1.1.3 Misión y Visión de la Empresa

Misión

Crear valor sostenible para nuestros accionistas a través de la adquisición, el desarrollo y la operación de yacimientos de alta calidad y larga vida con un potencial de exploración en jurisdicciones que apoyan la minería responsable. Asegurar que las regiones y comunidades donde operamos se benefician de nuestra presencia.

Visión

Nuestra visión es ser una operación minera de primer nivel, de larga duración y de bajo costo de producción en América.

1.1.4 Estructura Organizacional

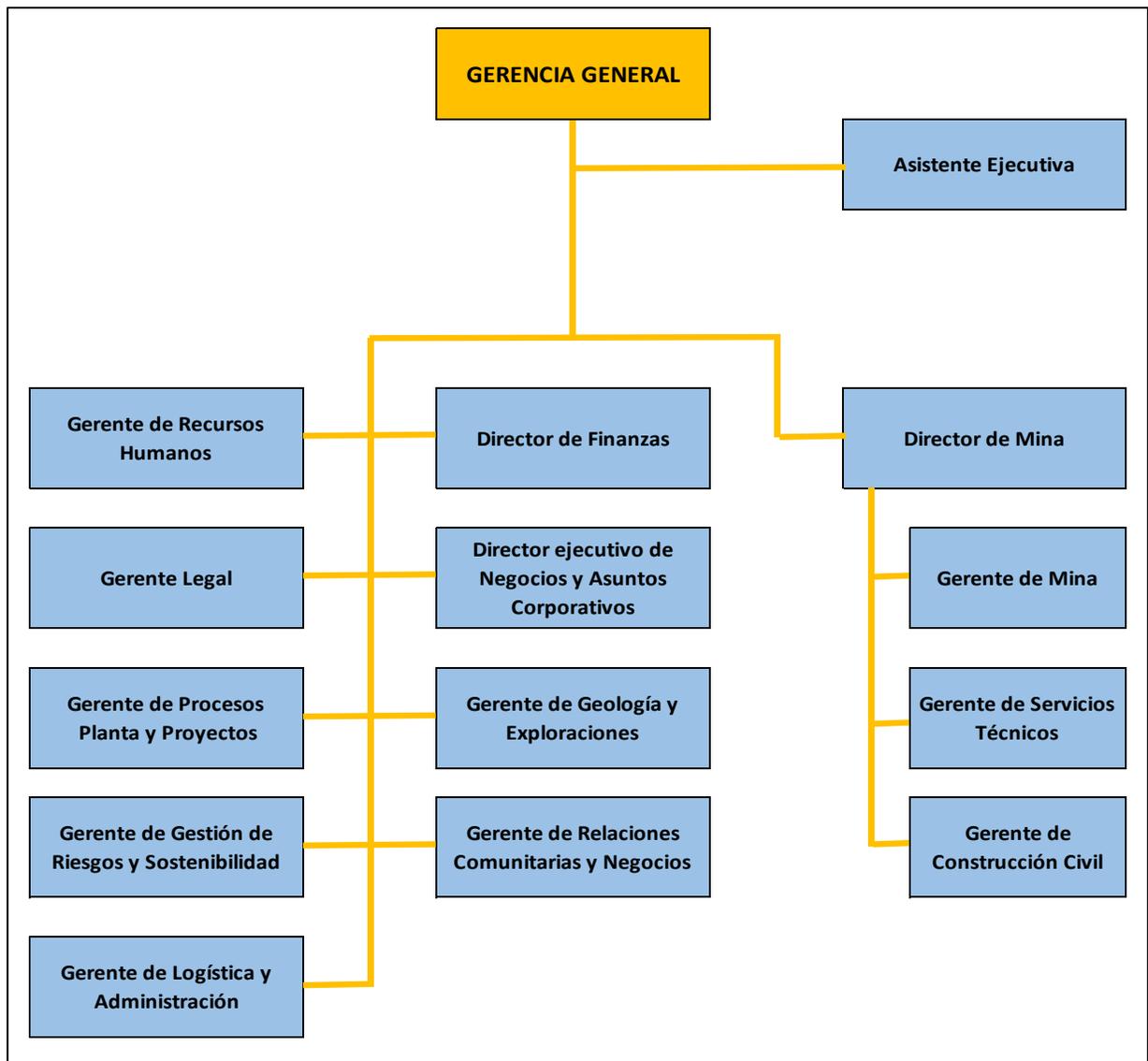
La estructura organizacional de Hudbay Perú SAC es del tipo vertical, en la figura 2 se muestra el organigrama general.

La gerencia de Procesos Planta y Proyectos ve toda la operación de la Planta Concentradora liderado por un sólo Gerente y seguido de sus Superintendentes por áreas.

Para nuestro caso de, sub área de Mantenimiento eléctrico, se va a desarrollar a detalle el área de la superintendencia de electricidad e Instrumentación tal como se muestra la figura 3.

Figura 2

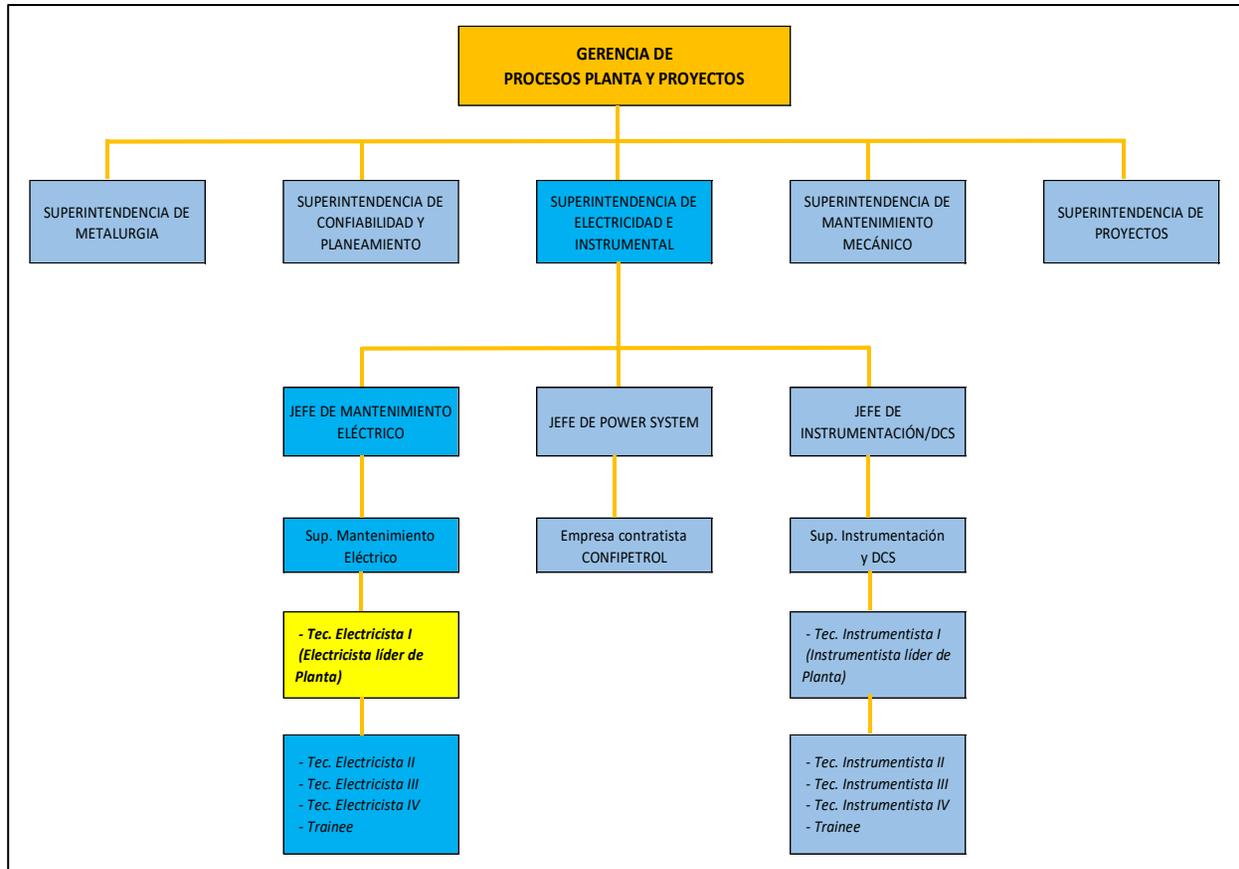
Organigrama General de Hudbay Perú SAC.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Organigrama de la Gerencia de Procesos Planta.



Fuente: Elaboración propia

1.2 Descripción general de experiencia

Mi cargo desempeñado dentro de la Empresa Hudbay Perú S.A.C en las instalaciones de la Unidad Minera Constanza dio inicio con el puesto de Trainee de electricidad, luego fue el de Técnico electricista I y finalmente ahora en proceso de promoción como Supervisor Electricista, el puesto desempeñado se encuentra dentro del área de Electricidad e Instrumentación, liderado por un Superintendente, y esta área pertenece a la vez a la Gerencia de Procesos Planta y Proyectos. En el organigrama presentado en la figura 3 se resaltó la ubicación del cargo desempeñado.

1.2.1 Experiencia lograda en el rubro minero

A lo largo de mi desarrollo profesional en los diferentes puestos que tuve en el rubro industrial, tanto como en empresas contratistas como en la empresa minera directa, logré desarrollar las siguientes aptitudes:

- Amplia experiencia en mantenimiento y operación de variadores de velocidad en MT y BT SIEMENS, celdas de potencia tipo GIS SIEMENS, Filtros de Armónicos, Sistemas de compensación de energía reactiva, automatismos con protocolo IEC61850, Sistemas Eléctricos de control para accionamiento de molinos SAG y Bolas.
- Conocimientos plenos de Operación, funcionamiento, mantenimiento, lectura de planos e interpretación de troubleshooting del SER Drive y arrancadores LRS de Molinos, con participación dinámica y comunicación permanente con especialistas ELECTRODRIVES.
- Gestión y manejo de activos, aseguramiento de operación segura y confiable, aplicación de mejora continua para lograr cumplir los KPI's MTBF / MTTR y objetivos establecidos por la Supervisión y Jefatura de Electricidad Planta.
- Buen manejo de herramienta ERP SAP (creación, seguimiento, notificación, cierre de OT's y gestión de materiales/repuestos).
- Manejo proactivo de Maletas de pruebas on-line y off-line de equipos eléctricos de Planta, entre los principales; Análisis dinámico con equipo SKF BAKER EXP4000 (Certificado), Pruebas estáticas con equipo BAKER AWA IV, Descargas parciales en cables y motores de MT con equipo MPD800 OMICRON, prueba de Interruptores y relés con inyección de corrientes primarias y secundarias con equipo OMICRON CMC 356 y CPC100.
- Configuración, revisión, descarga de back up y análisis de fallas con software de relés de protección en MT/BT Siemens (Simocode Pro, Siprotec) y variadores de velocidad en MT y BT SIEMENS (Sinamics G120/S150 y Robicon GENIIIe/GENIV).
- Liderazgo en el control de recursos materiales y de personal para una buena performance del área, apoyando en conseguir los resultados dentro del presupuesto establecido.

- Planteamiento y ejecución de mejoras en la operación, con el objetivo de optimizar el proceso de mantenimiento y operatividad de los activos, procedimientos y seguridad.

1.2.2 Descripción de las funciones asignadas en el puesto

- Manejo de herramienta ERP SAP; transacciones de creación, seguimiento, notificación y cierre de OT's, así como gestión de materiales, repuestos y EPP's.
- Utilización de técnica de análisis predictivo y data histórica para revisar las estrategias de mantenimiento de los principales equipos de planta, así como identificación de fallas incipientes que pueden poner en riesgo la operación, por medio de uso de los equipos y herramientas del área
- Identificación y análisis de modos de fallas de los equipos eléctricos de Planta a través de análisis CMR, herramientas informáticas implementadas en el área, tales como Servidor SIMOCODE, SICAMPASS, PI Vision y Scada Eléctrico, así como de resultados obtenidos y procesados con maletas de pruebas on-line y off-line (Pico Scope, CompactRio, SKF Baker EXP 4000, Descargas parciales MPD800 OMICROM, OMICRON CMC 356 y CPC100, Baker AWA).
- Acceso mediante software a relés de media tensión Siprotec SIEMENS, relés de BT Simocode, variadores de velocidad en baja (SIEMENS – Sinamics G120/S150) y media tensión (SIEMENS – Robicon GEN III y GENIV) para descarga, procesamiento y análisis de data.
- Ejecución de planes de mantenimiento programados en Paradas de Planta, tales como mantenimiento de Variadores de Velocidad SIEMENS de MT y BT, Sistema SER Drive de los Molinos SAG, arrancadores LRS de los Molinos de Bolas y SAG, arrancadores de B.T, sistema de anillos rozantes/carbones de los motores de 8000kW de los Molinos, y elaboración de informes técnicos de fallas y mantenimientos.

- Participación activa en iniciativas de mejoras en las instalaciones de Planta. Elaboración, seguimiento y control de TDR para Servicios especializados bajo coordinación con Supervisión.
- Brindar soporte técnico a personal contratista Power System en maniobras de la S.E Principal.
- Levantamiento de información, modificación y actualización de planos eléctricos de fuerza, de control y de protección de arrancadores DOL de motores en BT y MT, variadores de velocidad en BT y MT, SER Drive, Celdas de MT tipo GIS y otros.
- Brindar soporte a los Supervisores de Mantenimiento Eléctrico, Confiabilidad y Power Systems en Análisis de Causa Raíz, Análisis de Modos de Falla y Efectos FMEA, así como implementación de planes de mejora.
- Elaboración de planos de ingeniería de detalle, metrado y memorias de cálculos para implementación de mejoras en equipamiento de B.T y M.T de la Salas eléctricas y Subestaciones Off Plots, tales como propuesta de Bypass entre Celdas de MT en caso de contingencias, acondicionamiento y mejora del sistema de control, medición y protección de las celdas de MT tipo GIS de Molinos SAG y Bolas, planos de talleres de mantenimiento de Planta y otros.
- Actualización y modificación de Planos As-built (circuitos de fuerza, control, protección y medición) de equipos críticos de Planta Concentradora y S.E Principal de 220kV.
- Levantamiento de información en campo de circuitos de fuerza, control y protección de equipos eléctricos críticos de Planta (Celdas de MT tipo GIS - SIEMENS, Arrancador LRS y SER Drive de Molinos SAG y Bolas 8000kW/13.8kV, Variadores de velocidad SIEMENS en MT y BT).
- Apoyo en análisis de fallas a través de log de eventos, oscilografías y tendencias registradas por relés, lectura e interpretación de planos eléctricos, lectura de Troubleshooting y puesta en servicio de equipos en falla.

1.3 Descripción del informe

1.3.1 Objetivos del informe

- 1°. Describir el proceso de molienda de la Unidad Minera Constancia, principalmente la operación del molino SAG accionado por dos motores de inducción de rotor bobinado de 8000kW a 13.8kV.
- 2°. Conocer y comprender el proceso de arranque de los motores de inducción de rotor bobinado de alta potencia con aplicación de un sistema de resistencias líquidas conectadas al rotor para accionamiento del molino SAG.
- 3°. Describir el principio de funcionamiento del reóstato líquido (LRS).
- 4°. Describir la operación y mantenimiento del reóstato líquido (LRS)

1.3.2 Alcances del informe

El alcance del informe comprende los siguientes puntos:

- Descripción del sistema eléctrico de la Planta Concentradora de la U.M Constancia.
- Descripción del proceso de funcionamiento de los molinos tipo SAG.
- Descripción del motor de inducción de rotor bobinado de 8000kW en 138kV, hoja técnica de motor.
- Operación y mantenimiento del arrancador de resistencias líquidas LRS.

1.3.3 Limitaciones del informe

Los siguientes puntos quedan fuera del alcance del presente informe:

- Cálculos y diseño del sistema eléctrico de la Planta Concentradora de la U.M Constancia.
- Presupuesto de Operación, mantenimiento de los activos de la empresa.
- Identificación y gestión de variables de operación de los molinos SAG. (Alimentación de agua, tonelaje de mineral, tipo de mineral, bolas de acero, velocidad).
- Identificación y descripción de sistemas auxiliares del molino SAG (Bomba de lubricación de alta y baja presión, interlock, sistema de comunicación).

CAPITULO II:

2. SISTEMA ELÉCTRICO DE PLANTA CONCENTRADORA DE LA U.M CONSTANCIA

2.1 Introducción

Hudbay Perú SAC tiene como único proveedor de energía eléctrica a la empresa Enel Generación Perú S.A.A el cual viene suministrando energía a la U.M Constancia desde la etapa de proyecto en el año 2010 hasta la fecha, sin embargo, el contrato será hasta diciembre del 2025. A partir de enero del 2026 el nuevo proveedor de energía para la U.M Constancia será la Empresa Engie quien asegurará el suministro de 100MW.

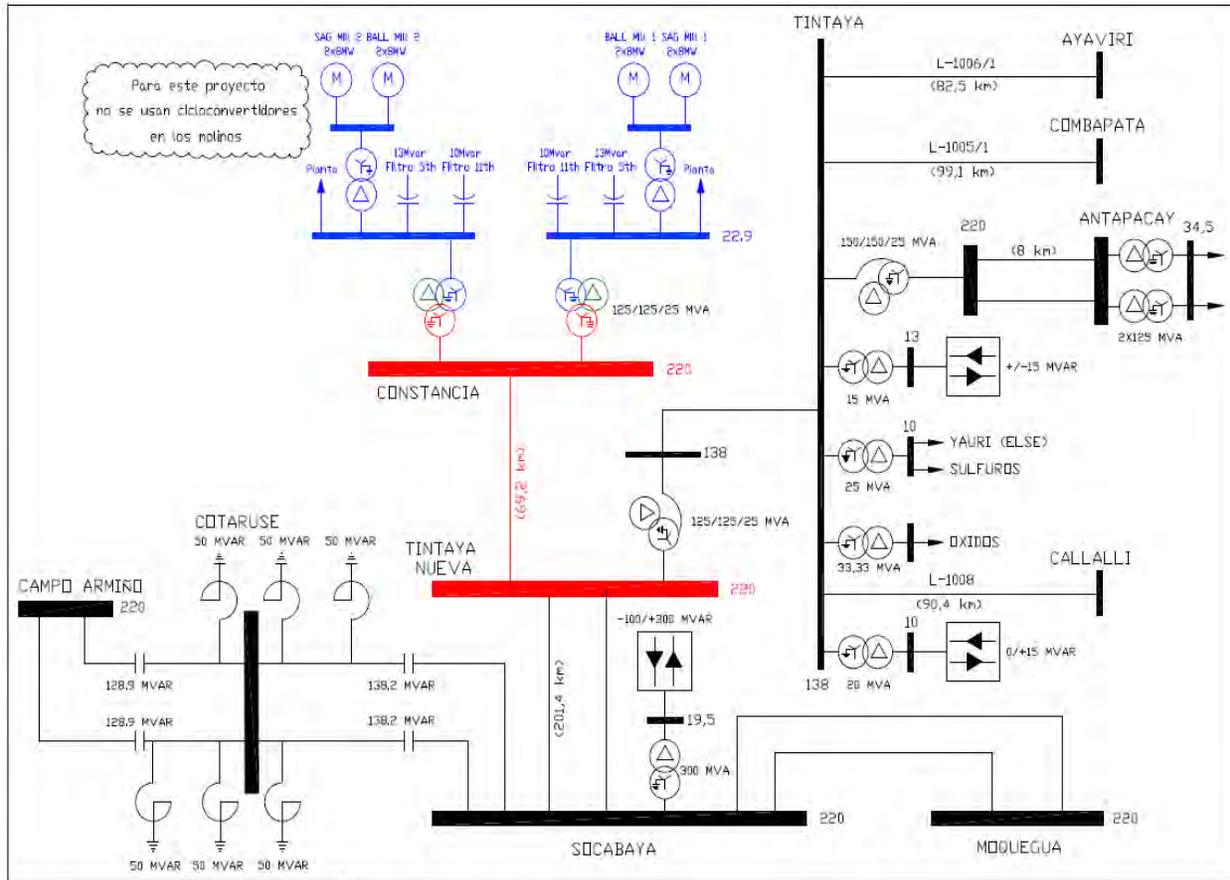
La energía eléctrica llega a la S.E Principal de Hudbay (S.E Constancia), desde la S.E Nueva Tintaya a través de una línea de transmisión de 220kV con longitud de 69km. La S.E Constancia y la línea de transmisión de 220kV son de propiedad de Hudbay, sin embargo, Hudbay tiene un contrato de 15 años con la Empresa Abengoa para que estos se encarguen de la operación y mantenimiento de dichas instalaciones. La S.E Constancia se interconecta con el SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) desde la S.E Tintaya, representando así una carga más en el sistema el cual está regulado por el COES.

El consumo promedio de energía de la U.M Constancia para este 2024 fue de 60GWh, con una potencia máxima promedia de 85MW registrados en la subestación Principal. Al inicio del arranque de la Operación de la Planta Concentradora y área de Minado, se tenía un consumo máximo de potencia promedio de 70MW sin embargo, por optimización del proceso de producción la alta gerencia vino dando la consigna para procesar mayor mineral en las áreas de Molienda, Flotación, filtros y en consecuencia en el área de relaves, lo que conllevó a sobrecargar o poner al límite las capacidades de algunos motores eléctricos tanto en MT como en BT, así mismo para el cumplimiento de tales objetivos se vino implementando mejoras en las instalaciones de la planta concentradora, tales como repotenciación de motores – bombas, instalación de nuevas bombas, implementación de variadores de velocidad, nuevos sistemas de enfriamiento y entre otros.

A continuación, en la figura 4 se muestra parte del diagrama unifilar de la zona Sur, identificándose la interconexión de la S.E Constanca con el SEIN mostrándose sus cargas principales que son los molinos.

Figura 4

Diagrama unifilar de la S.E Constanca dentro del SEIN



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

En el anexo 1 se adjuntan los diagramas unifilares de toda la planta concentradora, estos diagramas están organizados por las barras A y B que salen de la S.E Principal hacia las salas eléctricas en 22.9kV.

2.2 Subestación Principal 220kV (5761-SS-001).

La Subestación Principal de la Unidad Minera está reconocido en el SEIN con el nombre de S.E Constanca. La línea de transmisión de alta tensión 220kV llega al patio de llaves a la bahía de 220kV en barra simple, a partir de esta barra se distribuye a dos transformadores idénticos de potencias de 75 / 125 MVA (ONAN/ONAF), con relación de transformación de 220kV/22.9kV, los que alimentan a los interruptores principales de la sala eléctrica principal de 22.9kV (5761-SS-001) de las barras 5761-LC-001A y 5761-LC-001B respectivamente en 22.9kV. Estas dos barras estarán conectadas por un interruptor de acoplamiento, el que en condiciones normales debe estar abierto y en condición de falla de un transformador de 75/125 MVA estará cerrado. Los transformadores de 75/120MVA presentan regulación automática de tap bajo carga en el lado primario.

La figura 5 muestra una vista general de la subestación principal en 220kV, esta se encuentra ubicada a un costado de la Planta concentradora.

Figura 5

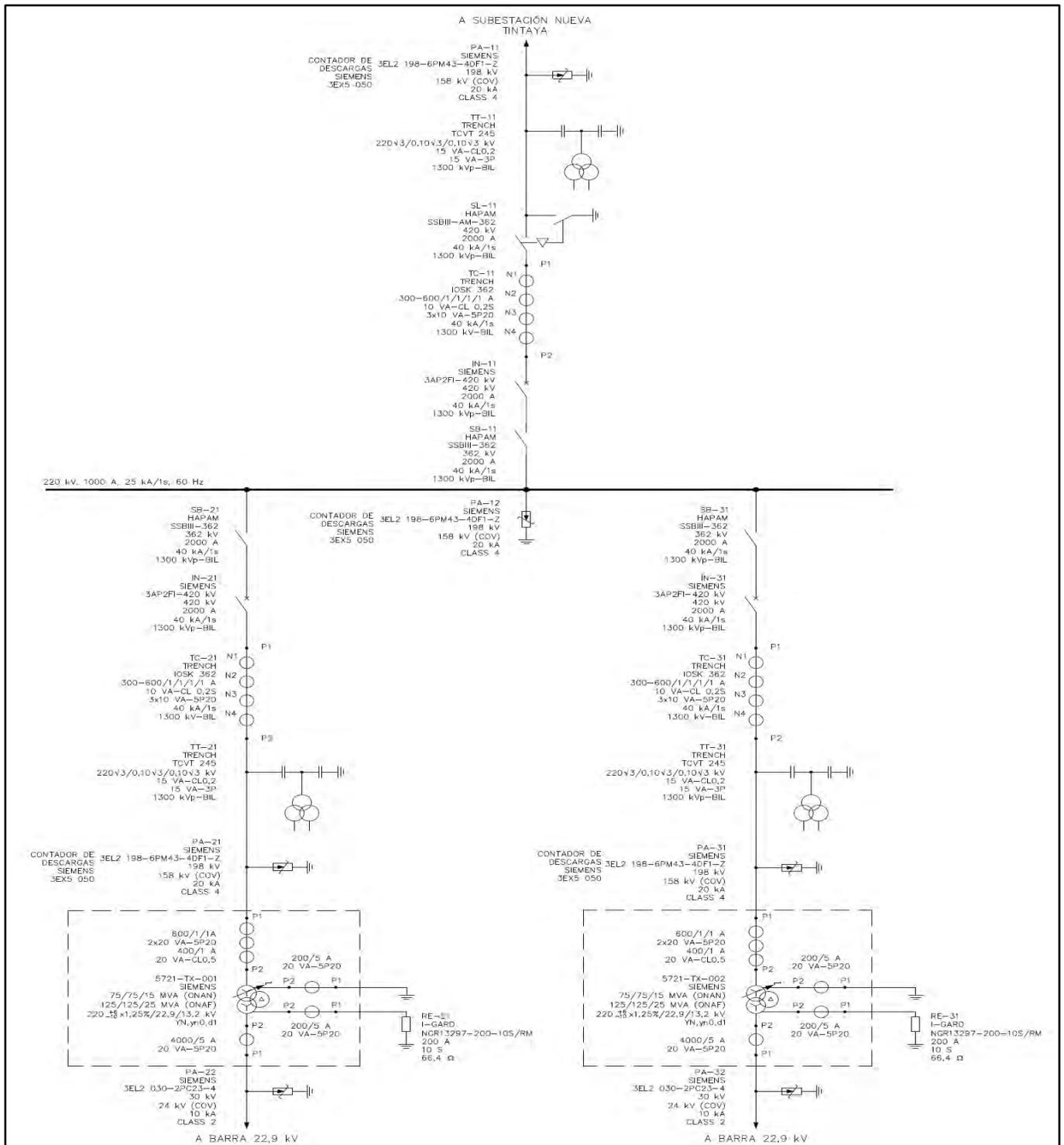
S.E Constanca – Patio de llaves en 220kV



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

Figura 6

Diagrama unifilar de la Subestación principal



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

2.3 Chancado primario (Sala eléctrica 3100-SS-100).

Esta primera etapa del proceso de obtención del mineral, tiene la función principal de reducir el tamaño del mineral proveniente del minado, con un tamaño de roca normalmente 450 mm hasta un máximo de 1000 mm y un tamaño característico de salida 115 mm, con una capacidad de 99,000 t/d. Cuando el tamaño de roca sea superior a los 450 mm, se utilizará el rompedor de rocas (3111-BK-001); el cual se encuentra montado sobre un soporte de concreto entre los puntos de descarga de los camiones de acarreo. La figura 6 muestra en general el área de Chancado, aquí en el nivel 0 se puede identificar la sala eléctrica y los transformadores de potencia, también parte de la faja transportadora del mineral, luego en los niveles superiores, dentro de las estructuras metálicas y de hormigón, se encuentra propiamente los componentes de la chancadora (motor eléctrico, la chancadora, la sala de control de chancado y bahía de descarga de mineral).

Figura 7

Vista general de la bahía de chancado



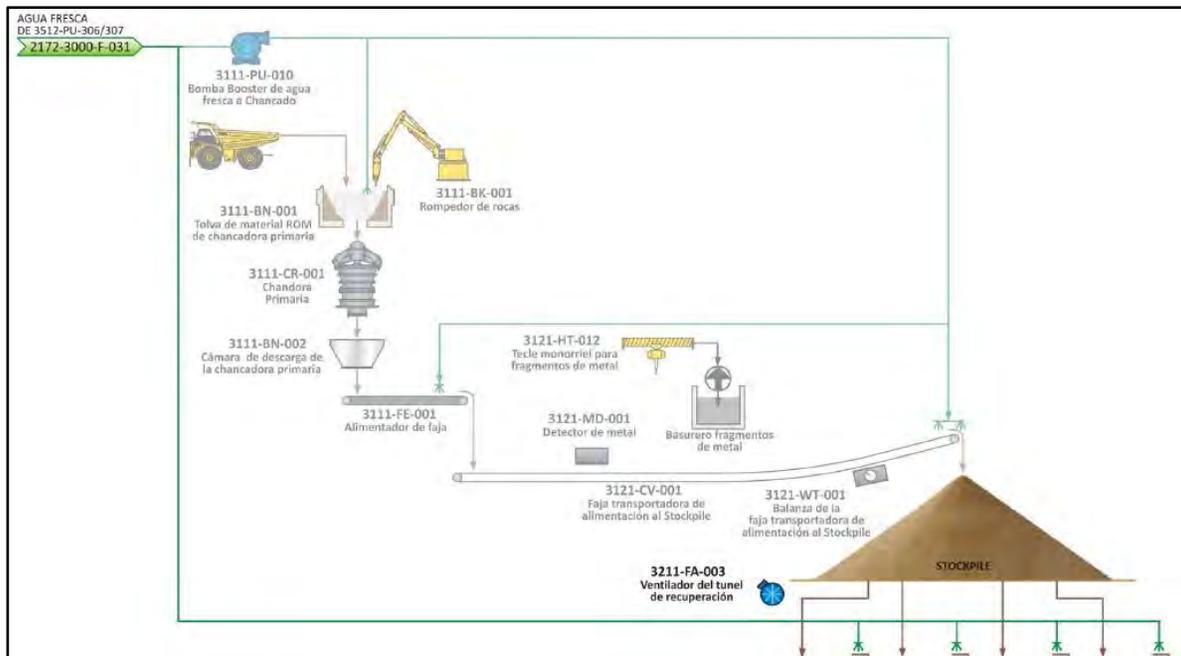
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

El proceso de Chancado Primario está conformado propiamente por una chancadora primaria, el rompedor de roca, un alimentador del material chancado, una faja transportadora de acopio de gruesos sobre la pila de acopio. Todo este proceso cuenta con un sistema eléctrico en BT y MT, tanto protección, control y fuerza, y todo ese sistema eléctrico es gestionado desde la sala eléctrica SS-100, aquí llega la energía eléctrica en un nivel de tensión de 22.9 KV y a partir de ello se reduce a 4.16kV, a 460V y 380/220V. A continuación, se listan los equipos más importantes que forman parte del área de Chancado.

- Chancadora (3111-CR-001): Conformada por un motor de inducción de rotor bobinado de 1000kW a 4.16kV con un sistema de arranque de reóstato líquido.
- El rompe rocas (3111-BK-001): Es accionado por un sistema de lubricación, este contiene un motor en BT.
- El alimentador de faja (3111-FE-001): Es un alimentador de mineral tipo faja, este es accionado por un motor de 460V controlado por un VFD Sinamics S150 – Siemens.
- La faja Transportadora (3121-CV-001): Transporta el mineral hacia la pila de acopio, este es accionado por 2 motores de 4.16kV estos motores son controlados por variadores MT Robicon – Siemens.

Figura 8

Diagrama de flujo Chancado primario



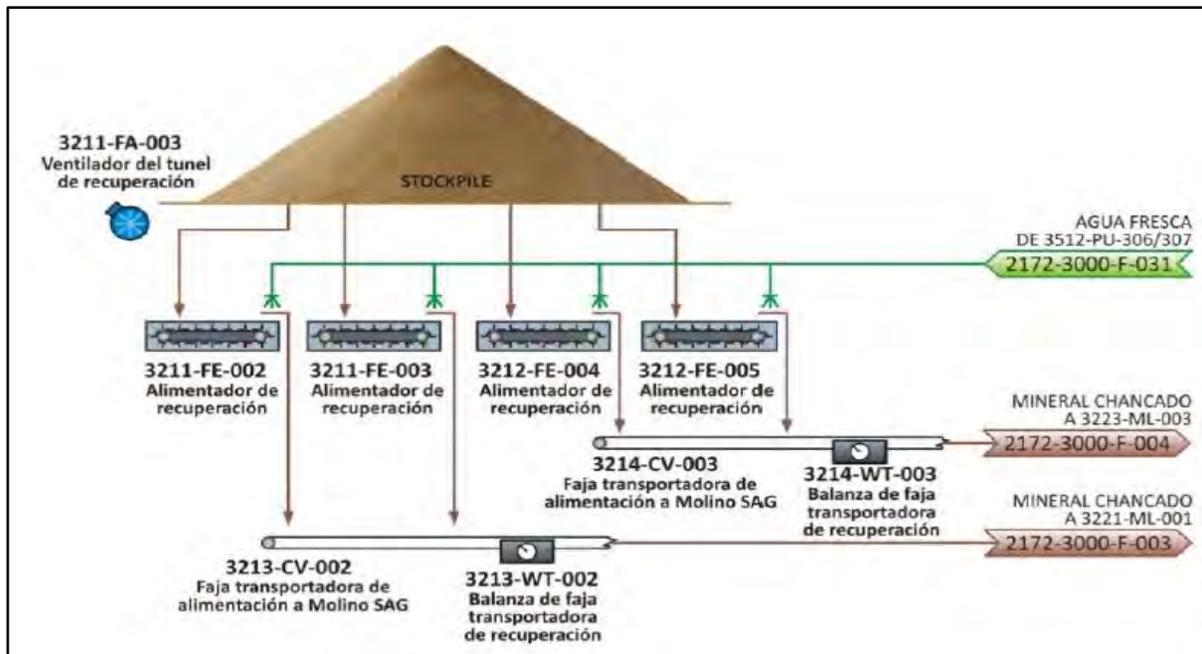
Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

2.4 Pila de acopio y recuperación (Sala eléctrica 3210-SS-150)

El mineral proveniente del área de chancado primario es apilado en un stockpile, que es del tipo cónico abierto simple posee una capacidad viva equivalente de 50 000 toneladas que permite soportar 16 horas de alimentación continua al área de molienda, lo que representa el 25 % de la capacidad total de apilamiento (200 000 toneladas).

Figura 9

Diagrama de flujo en pila de acopio y recuperación



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

La recuperación de mineral se da por medio de cuatro alimentadores de recuperación de placas accionados por motores en BT, estos alimentan a las dos líneas del área de molienda, la distribución de los alimentadores es la siguiente:

- Alimentadores de recuperación (3211-FE-002/003) alimentan mineral a la Línea N° 1 del área de molienda.
- Alimentadores de recuperación (3212-FE-004/005) alimentan mineral a la Línea N° 2 del área de molienda.

Figura 10

Vista general de la Pila de acopio y recuperación



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

2.5 Molienda (Salas eléctricas SS-200/205 y SS-250/255)

El mineral grueso es recuperado desde el stockpile mediante cuatro alimentadores del tipo cadena, y estos abastecen el mineral a las fajas de alimentación del molino SAG. Ahora, el área de molienda está constituido principalmente por 4 molinos, dos molinos del tipo SAG y dos molinos del tipo bolas, ambos molinos accionados de forma simultánea por dos motores de inducción de rotor bobinado. La potencia de cada motor es de 8000kW a 13.8kV.

Figura 11

Vista general de la Molienda



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

El circuito de molienda consta de dos líneas paralelas idénticas, la línea 1 y línea 2, ambas líneas contienen principalmente un molino SAG y un molino de bolas, ambos de igual potencia. Bajo esta condición fue necesario que el sistema eléctrico de molienda se divida en 2 sistemas independientes pero idénticos.

En la figura 10, lado izquierdo, se muestra la línea de molienda 1; Aquí el suministro y control energía eléctrica según nivel de tensión es desde la sala eléctrica SS-200 (13.8kV) y sala eléctrica SS-205 (460V). En esta línea se tiene principalmente el molino SAG 1 (ML-001), el molino de Bolas 2 (ML-002), una bomba de ciclones (PU-001) y 3 fajas de mineral (CV-002, CV-004 y CV-006).

Por otro lado, en la figura 10, lado derecho, se muestra la línea de molienda 2; Aquí el suministro y control energía eléctrica según nivel de tensión es desde la sala eléctrica SS-250 (13.8kV) y sala eléctrica SS-255 (460V). En esta línea se tiene principalmente el molino SAG 3 (ML-003), el molino de Bolas 4 (ML-004), una bomba de ciclones (PU-002) y 3 fajas de mineral (CV-003, CV-005 y CV-007).

Las salas eléctricas de media tensión SS-200 y SS-250, son alimentados de forma independiente por transformadores de potencia de 45MVA, 22.9kV/13.8kV. Dentro de las salas poseen un sistema de celdas de MT tipo GIS y a partir de ellas hacen la distribución de la energía en 13.8kV para los distintos equipos ya mencionado.

Las salas eléctricas de baja tensión SS-205 y SS-255 representan a la alimentación en 460V a todo el sistema auxiliar de los molinos y equipamiento en general de molienda.

2.6 Remolienda y planta de Cal (Sala eléctrica 3260-SS-400)

La remolienda está conformada principalmente por un motor de 3000kW a 4.16kV, este motor acciona al molino ISA Mill, y una serie de motores en 460V para sistema de bombeo de mineral y agua de proceso. Estas instalaciones se encargan de optimizar la recuperación del mineral que pasó por la Molienda, aquí ingresa el mineral que no fue reducido completamente en los molinos de bolas.

La planta de Cal es toda una instalación de equipos netamente en 460V los cuales producen un agente reactivo necesario para el proceso de la recuperación del mineral, este es agregado en el proceso de molienda y la flotación.

Aquí en esta área el sistema eléctrico de todos los equipos está gestionado desde la sala eléctrica SS-400, en la sala eléctrica tenemos celdas de MT en 22.9kV y 4.16kV, así como MCC's en 460V. La alimentación eléctrica viene desde la S.E principal en 22.9kV desde las celdas +H03 y +H04, uno para equipos en 4.16kV y el otro para los MCC's en 460V.

Figura 12

Vista general de Planta de Cal y Remolienda



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

2.7 Flotación de cobre (Salas eléctricas 3250-SS-300 y SS-301)

En este proceso se logra separar el mineral de la tierra, esto se logra al principio de flotación del mineral y la depresión de la tierra. Para el desarrollo de este proceso es requerido equipos eléctricos en baja y media tensión. A continuación, se detallan los equipos distribuidos en las dos salas eléctricas del área.

Sala eléctrica 3250-SS-300: Esta sala es para alimentación de motores eléctricos en 4.16kV, se tienen un total de 9 celdas de MT en 4.16kV y 5 celdas de MT en 22.9kV para transformadores de potencia. La alimentación en 22.9kV viene desde la S.E Principal desde la celda +H02. Las cargas alimentadas de esta sala eléctrica son:

- Sopladores de Aire (BL-001): Motores de 680kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Sopladores de Aire (BL-002): Motores de 680kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Sopladores de Aire (BL-003): Motores de 680kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Compresor de Aire (CP-003): Motores de 386kW a 4.16kV, con arranque directo.

- Compresor de Aire (CP-004): Motores de 386kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Compresor de Aire (CP-005): Motores de 386kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Compresor de Aire (CP-012): Motores de 450kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Compresor de Aire (CP-013): Motores de 450kW a 4.16kV, con arranque directo.
- Transformador (TX-301): Alimentador a transformador de 5MVA, 22.9kV/4.16kV.
- Transformador (TX-302): Alimentador a transformador de 3MVA, 22.9kV/0.48kV.
- Transformador (TX-303): Alimentador a transformador de 4MVA, 22.9kV/0.48kV.
- Transformador (TX-304): Alimentador a transformador 3.5MVA, 22.9kV/0.48kV.

Sala eléctrica 3250-SS-301: Esta sala es para alimentación de motores eléctricos en 460V y todos los sistemas auxiliares en 380/220V. La distribución se da a partir de 03 centros de control de motores (MCC's) en 460V, la alimentación a estos MCC's viene desde los transformadores de potencia de 22.9kV/0.48kV, estos son TX-302, TX-303 y TX-304.

Figura 13

Vista general de Flotación



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

2.8 Filtrado de cobre (Sala eléctrica 3280-SS-500)

El sistema eléctrico del área es netamente en baja tensión de 460V y 380/220V, para este fin, la alimentación viene de la S.E principal en 22.9V desde la celda +H09 el cual llega al transformador de potencia TX-501 de 3000KVA, 22.9kV/0.48kV y a partir de este se hace la distribución a los MCC's de la sala eléctrica para finalmente hacer la distribución a los motores de campo.

2.9 Planta molibdeno (Sala eléctrica 3300-SS-700)

El sistema eléctrico es en baja y media tensión, dentro de la sala eléctrica se tiene un compartimiento de celdas de MT 22.9kV y otro compartimiento para los MCC's en 460V. La alimentación llega en 22.9kV a la sala eléctrica desde la S.E Principal, celda +H32, mediante un transformador de potencia de 3000kVA, 22.9kV/048kV se alimenta a los MCC's de 460V para finalmente distribuir a los motores de planta. La planta es completamente independiente del resto de la planta, esta planta tiene su propio sistema de aire, flotación, filtrado y secado de mineral.

Figura 14

Vista exterior de sala eléctrica SS-700



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

2.10 Relaves (Sala eléctrica 3290-SS-600)

Este es la última etapa de la planta concentradora, aquí se junta y se gestiona el relave generado en la planta, es decir la tierra sin mineral, así como parte del agua utilizado en el proceso, agua combinada con agentes químicos reactivos.

El sistema eléctrico es gestionado desde la sala eléctrica 3290-SS-600, aquí llega la energía en 22.9kV desde la S.E Principal mediante la celda +H33. La sala eléctrica tiene un lado de media tensión en 22.9kV/4.16kV y un lado de baja tensión 460V.

En el lado de 22.9kV / 4.16kV se tienen los siguientes equipos:

- Motor de bomba de agua de proceso (PU-300): Motores de 895kW a 4.16kV, arranque directo.
- Motor de bomba de agua de proceso (PU-301): Motores de 895kW a 4.16kV, arranque directo.
- Motor de bomba de agua de proceso (PU-302): Motores de 895kW a 4.16kV, arranque directo.
- Motor de bomba de agua de proceso (PU-303): Motores de 895kW a 4.16kV, arranque directo.
- Motor de bomba de relaves (PU-060): Motores de 1380kW a 4.16kV, con aplicación de variador de velocidad marca Siemens – Robicon.
- Motor de bomba de relaves (PU-061): Motores de 1380kW a 4.16kV, con aplicación de variador de velocidad marca Siemens – Robicon.
- Motor de bomba de relaves (PU-073): Motores de 1380kW a 4.16kV, con aplicación de variador de velocidad marca Siemens – Robicon.
- Motor de bomba de relaves (PU-074): Motores de 1380kW a 4.16kV, con aplicación de variador de velocidad marca Siemens – Robicon.
- Motor de bomba de relaves (PU-075): Motores de 1380kW a 4.16kV, con aplicación de variador de velocidad marca Siemens – Robicon.

En lado de baja tensión, se tienen los MCC's y variadores de velocidad en 460V, así como alimentación a todos los servicios auxiliares de sala y equipos de campo.

Figura 15

Vista general de relaves – sala SS-600



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

CAPITULO III:

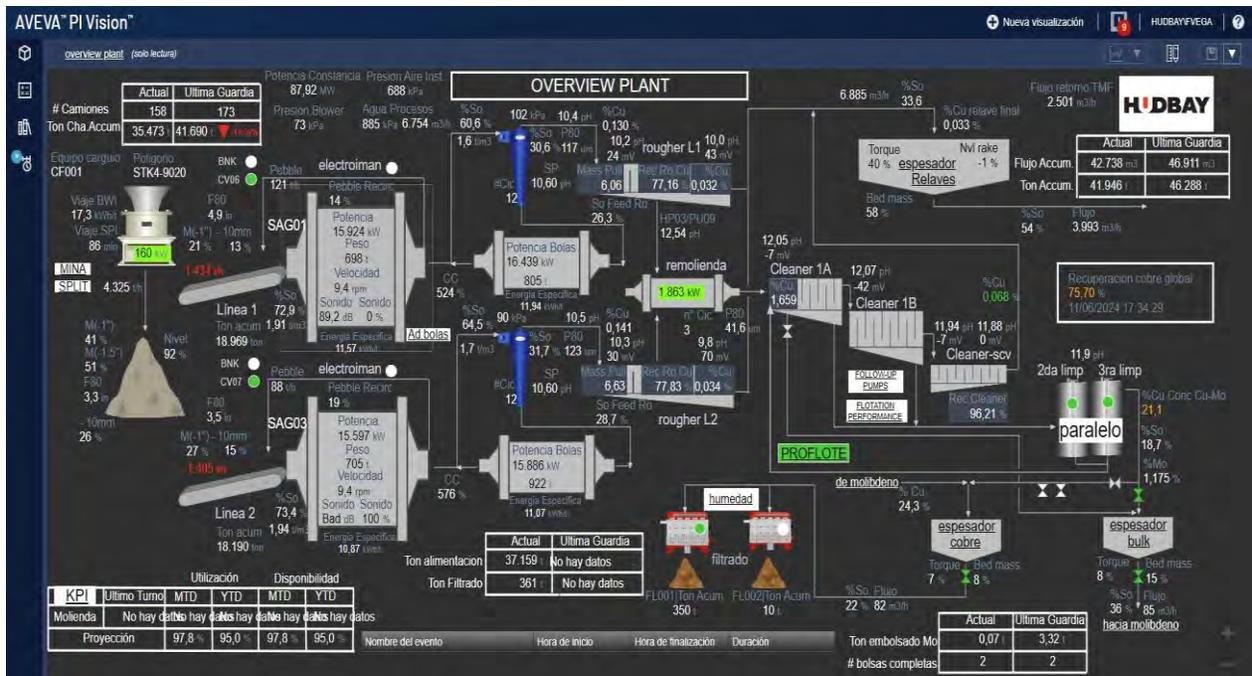
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MOLIENDA

3.1 Proceso de Molienda

El área de molienda es la última etapa de reducción de tamaño que permite obtener la liberación de partículas útiles del tajo de la mina, necesaria para la posterior concentración del mineral por flotación. Esta área está dividida en dos líneas de producción que trabajan en paralelo, línea 1 y línea 2, cada una está diseñada para trabajar con un molino SAG, una bomba de ciclones de pulpa, una batería de hidrociclones (16 unidades) y un molino de bolas. La capacidad de molienda por línea según el criterio de diseño es de 38 000 t/d o 1 584 t/h (seco). El circuito de molienda reduce el mineral desde un tamaño de alimentación de 115 mm hasta un tamaño deseado de alimentación para flotación 106 μm . En esta etapa se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de impacto y abrasión dentro de los molinos.

Figura 16

Vista general del proceso con las dos líneas de molienda



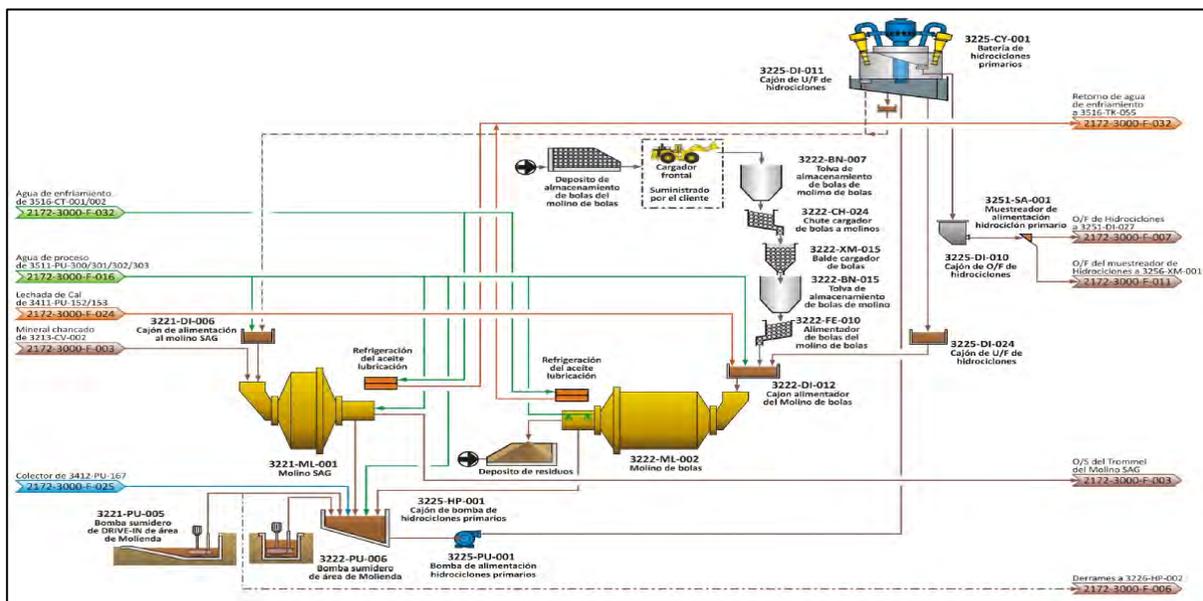
Fuente: PI Vision - Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

El mineral es recuperado del stockpile por 4 alimentadores de velocidad variable, dos por cada línea de molienda que descarga el mineral en las fajas de alimentación de cada molino SAG. El agua de proceso se agrega al cajón de alimentación del molino SAG en proporción con la tasa de alimentación del mineral para asegurar que se mantenga la densidad de pulpa de operación en el molino SAG que corresponde a 72 % de sólidos. El oversize del trommel de los molinos SAG es enviado hacia el área de manejo de pebbles, en tanto, el undersize es enviado a los cajones de bombas de hidrociclones primarios el cual recibe además la descarga del molino de bolas, agua de proceso y reactivo colector, para luego ser impulsado por las bombas de alimentación a hidrociclones para su clasificación. El overflow de las baterías de hidrociclones es enviado al área de flotación rougher de cobre, y el underflow fluye a los cajones de alimentación de los molinos de bolas, donde se agrega agua de proceso y lechada de cal, el producto del molino de bolas es descargado en los cajones de bombeo que alimentan a las baterías de los hidrociclones para nuevamente ser clasificado hasta alcanzar la granulometría adecuada.

La Figura 17 muestra el diagrama de flujo de una línea de molienda, aquí se identifica el molino SAG, el molino de Bolas y la bomba de ciclones.

Figura 17

Diagrama de flujo de molinos y bomba de hidrociclones - línea 1



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

3.1.1 Línea de molienda 1.

La faja transportadora de alimentación al molino SAG 01 (3213-CV-002) es un equipo utilizado para transporte de mineral grueso proveniente de los alimentadores de recuperación (3211-FE-002, 3211-FE-003). Adicionalmente la faja transportadora recibe bolas del alimentador de bolas al molino SAG (3213-FE-008) y pebbles de la faja transportadora de pebbles (3243-CV-006). La descarga de la faja transportadora es derivada al molino SAG 01 (3221-ML-001).

3.1.2 Línea de molienda 2.

La faja transportadora de alimentación a molino SAG 02 (3214-CV-003) es un equipo utilizado para transporte de mineral grueso proveniente de los alimentadores de recuperación (3212-FE-004, 3212-FE-005). Adicionalmente la faja transportadora recibe bolas del alimentador de bolas al molino SAG (3214-FE-009) y pebbles de la faja transportadora de pebbles (3244-CV-007). La descarga de la faja transportadora es derivada al molino SAG 03 (3223-ML-003).

Las fajas transportadoras hacia los molinos SAG presentan una dimensión de 1,60 m de ancho x 650 m de longitud total (vuelta completa) y de 252 m de longitud entre centros de poleas, a su vez cada una es accionada por un motor eléctrico con una potencia de 200 kW con variador de velocidad.

Cada una de las fajas transportadoras recibe el flujo de mineral a razón de 1 656 t/h (tonelaje húmedo) el cual es descargado por dos alimentadores de recuperación. Este flujo es medido por las balanzas de las fajas transportadoras de recuperación instaladas en las fajas transportadoras. Su función es pesar y registrar el tonelaje de mineral que circula a través de las fajas transportadoras.

3.2 Sistema Eléctrico de Molienda.

El sistema eléctrico del área de molienda está conformado por equipos eléctricos en MT y BT, en media tensión se tienen a 13.8kV con equipamiento de celdas tipo GIS y para baja tensión en 460V y 380/220V.

Los equipos en 13.8KV son exclusivamente para los Molinos SAG, Molinos de bolas y bombas de ciclones, mientras que los equipos en 460V corresponden a todo el equipamiento de servicios auxiliares de los molinos, de las bombas de ciclones, y en general para todos los arrancadores de motores en BT, estos son en su mayoría bombas de lubricación, bombas de sistema de enfriamientos, heaters de aceite, alimentadores, ventiladores, fajas de alimentación de mineral y sistema de aire acondicionado de salas eléctricas, todos estos con arranque directo, o con variador de velocidad.

En la tabla 1 se muestra el detalle de las potencias de todos los equipos principales de potencia considerable.

Tabla 1

Consumo nominal del área de Molienda

Sistema / Equipo	Nivel de tensión	Potencia
Molino SAG 1 (ML-001)	13.8kV	16 MW
Molino SAG 3 (ML-003)	13.8kV	16 MW
Molino de Bolas 2 (ML-002)	13.8kV	16 MW
Molino de Bolas 4 (ML-004)	13.8kV	16 MW
Bomba de Ciclones 1 (PU-001)	13.8kV	2 MW
Bomba de Ciclones 2 (PU-002)	13.8kV	2 MW
Sistemas auxiliares 1 (SS-205)	460/380/220V	1.5 MW
Sistemas auxiliares 2 (SS-255)	460/380/220V	1.5 MW
Potencia total:		71 MW

Datos obtenidos de placa de equipos.

Tal como se detalló en el Proceso de molienda en el ítem 3.2, el área de molienda está conformada por dos líneas que trabajan en simultáneo, ambas de características idénticas tanto metalúrgicamente como eléctricamente.

3.2.1 Sistema eléctrico línea 1.

Esta línea de molienda está compuesta por un molino SAG (ML-001), un molino de bolas (ML-002), una bomba de ciclones (PU-001) y todo un sistema de servicios auxiliares en BT. Todos estos equipos mencionados están centralizados desde la etapa de fuerza, control y protección por salas eléctricas según nivel de tensión, para el caso de la línea 1 las salas eléctricas que gestionan la energía son la SS-200 y SS-205.

Figura 18

Línea 1, Molinos SAG 1 y Bolas 2



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Sala eléctrica 3220-SS-200:

Esta sala eléctrica es exclusivamente para la administración de energía de todos los equipos de media tensión en 13.8kV. Los equipos en media tensión son los molinos SAG, molinos de bolas, bombas de ciclones y transformador de servicios auxiliares de sala eléctrica.

Figura 19

Exteriores de la sala eléctrica SS-200



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Para este nivel de tensión es necesario precisar que, el conjunto de interruptores y seccionadores de potencia serán denominados celda de MT, estas celdas de MT tienen tecnología GIS y son de la marca Siemens NXPLUS. La figura 20 muestra el conjunto de celdas de MT que se tienen en el interior de la sala eléctrica SS-200.

Figura 20

Celdas de 13.8kV, sala eléctrica SS-200



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

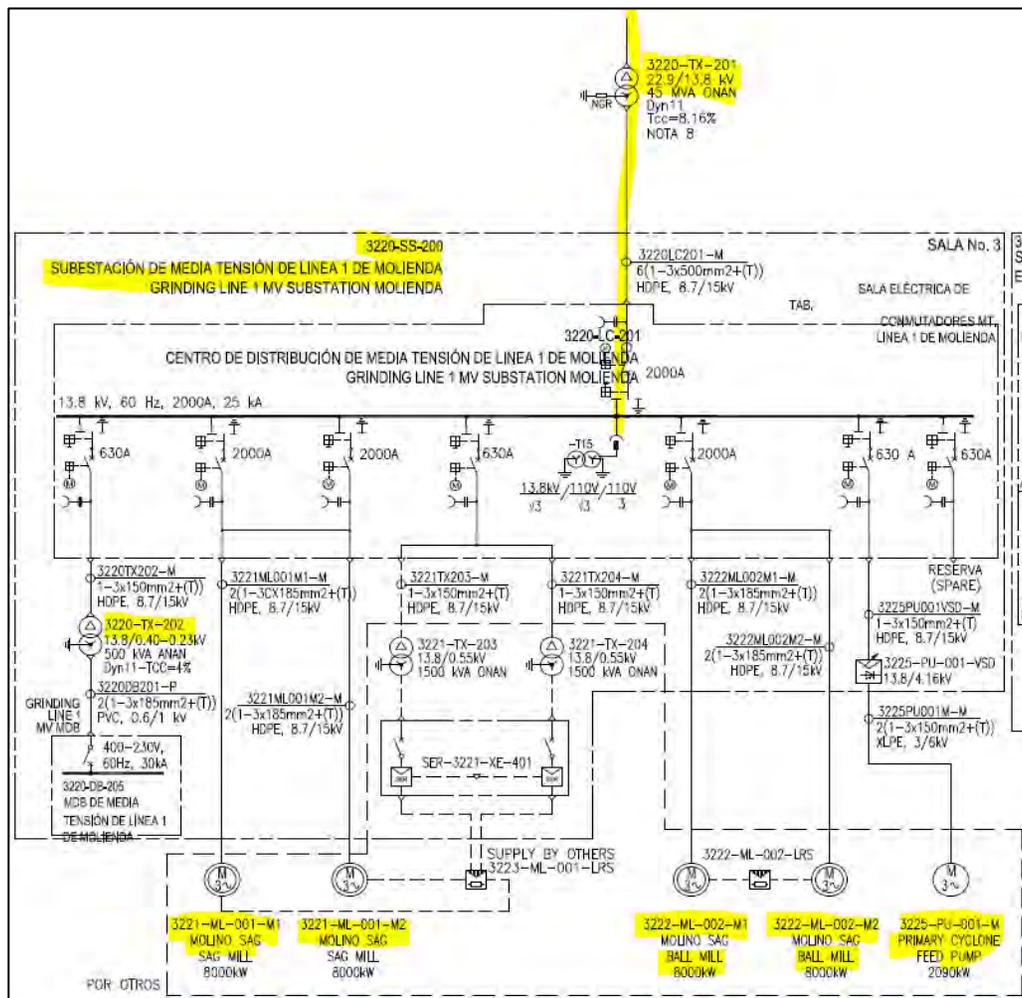
La alimentación de energía hacia la sala eléctrica viene de la S.E Principal en 22.9kV desde el alimentador +H27, el alimentador es una celda de MT, de aquí a través de cables de MT tipo XLPE alimentan un transformador de potencia (TX-201) de 45MVA, 22.9kV/13.8kV, a partir de este transformador se energiza la sala eléctrica SS-200 en 13.8kV mediante una celda Incoming (+k05). En la sala eléctrica se tiene un total de 8 celdas de MT tipo GIS, todas estas celdas conectadas mediante una barra común en 13.8kV, el detalle de la designación de las cargas de cada celda de MT es:

- Celda de MT (+k01): Alimentador de 630A para el transformador (TX-202) de 500KVA, 13.8kV/0.40-0.23kV, SS.AA de sala eléctrica.
- Celda de MT (+k02): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino SAG 1 (ML-001) – modo Forward.
- Celda de MT (+k03): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino SAG 1 (ML-001) – modo Reverse.
- Celda de MT (+k04): Alimentador de 630A para los transformadores de recuperación (TX-203/TX-204) del sistema SER Drive del Molino SAG 1 (ML-001).

- Celda de MT (+k05): Alimentador principal de 2000A para la barra de 13.8kV, Incoming de las celdas de MT.
- Celda de MT (+k06): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino Bolas 2 (ML-002).
- Celda de MT (+k07): Alimentador de 630A para el variador de velocidad de la bomba de ciclones 1 (PU-001).
- Celda de MT (+k08): Alimentador de 630A spare para instalaciones futuras.

Figura 21

Diagrama unifilar de sala eléctrica SS-200



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Sala eléctrica SS-205:

Esta sala eléctrica es exclusivamente para la administración de energía de todos los equipos de baja tensión en 460V y 380/220V. Esto incluye sistema de arranque de motores de 460V y sistemas auxiliares 380/220V de sala eléctrica y exteriores del área de molienda (Iluminación, tomacorrientes, sistemas UPS)

Figura 22

Exteriores de sala eléctrica SS-205.

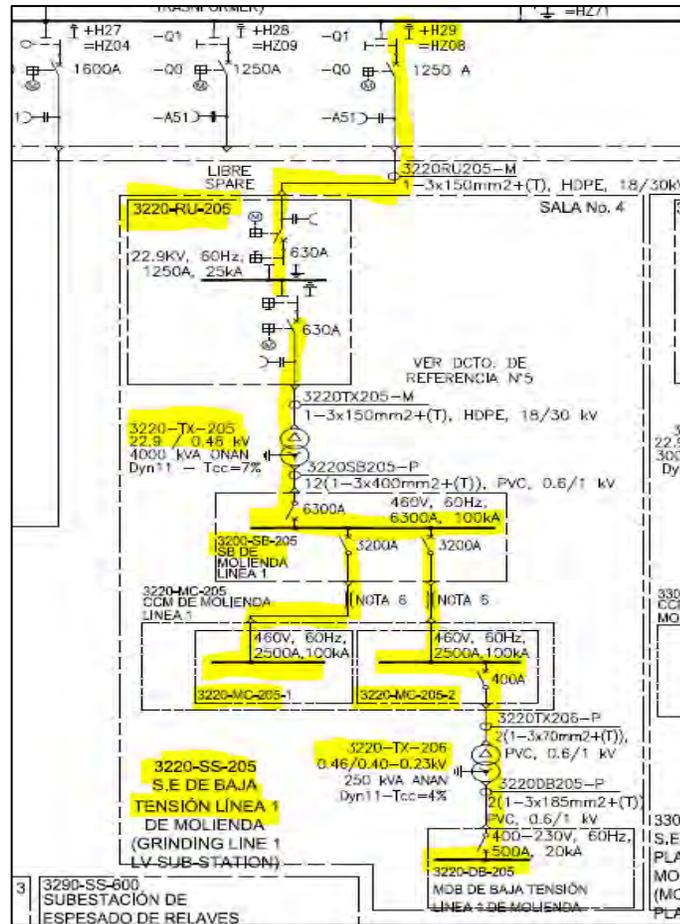


Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

La alimentación eléctrica hacia la sala eléctrica viene de la subestación Principal en 22.9kV desde el alimentador +H29, el alimentador es una celda de MT, de aquí a través de cables de MT tipo XLPE que van por bando de ductos, alimentan un transformador de potencia (TX-205) de 4000kVA, 22.9kV/0.40kV, a partir de este transformador se alimenta la sala eléctrica SS-205 en baja tensión 460V, la energía llega a un switchboard principal de 6300A (SB-205), este reparte a dos switchboard de 3200A para finalmente distribuirse en los MCC (Centro de Control de Motores) 3220-MC-205-1 y 3220-MC-205-2.

Figura 23

Diagrama unifilar de sala eléctrica SS-205



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

Los switchboard son interruptores de potencia en aire de baja tensión con relés inteligentes programables. Las certificaciones de fabricación de los switchboard son:

IEC 61439-1&2 – Certificación de diseño de tableros de Baja tensión y ensambles para tensiones que no excedan los 1000VAC a frecuencias no mayores a 1000 Hz, o para 1500 V DC.

IEC TR 61641 – Certificación de resistencia contra arco interno, como mínimo Clase C.

IEC 60068-3-3 – Certificación de resistencia sísmica garantizando el buen performance del tablero trabajando en ambientes declarados como Zona 2.

Ahora, un sistema de MCC está compuesto por varios cubículos arrancadores y alimentadores en 460V, en caso de arrancadores pueden ser del tipo DOL (Direct On Line) en marca SIEMENS o variadores de velocidad del tipo Sinamics G120 de la marca SIEMENS, y para el caso de cubículos alimentadores estos traen ensamblados interruptores termomagnéticos de caja moldeada que alimentan en 460V a variadores de velocidad con tablero auto soportado dentro de sala eléctrica, para el caso puntual de la línea 1 son para el accionamiento de las fajas de alimentación de mineral (CV-002 y CV-004), a sistema de auxiliares del SER Drive y reóstato líquido de los Molinos. En la figura 24 se muestran los cubículos arrancadores y alimentadores que se tiene en sala eléctrica, estos son de distintas dimensiones y capacidades eléctricas.

Figura 24

Interior de sala eléctrica SS-205.

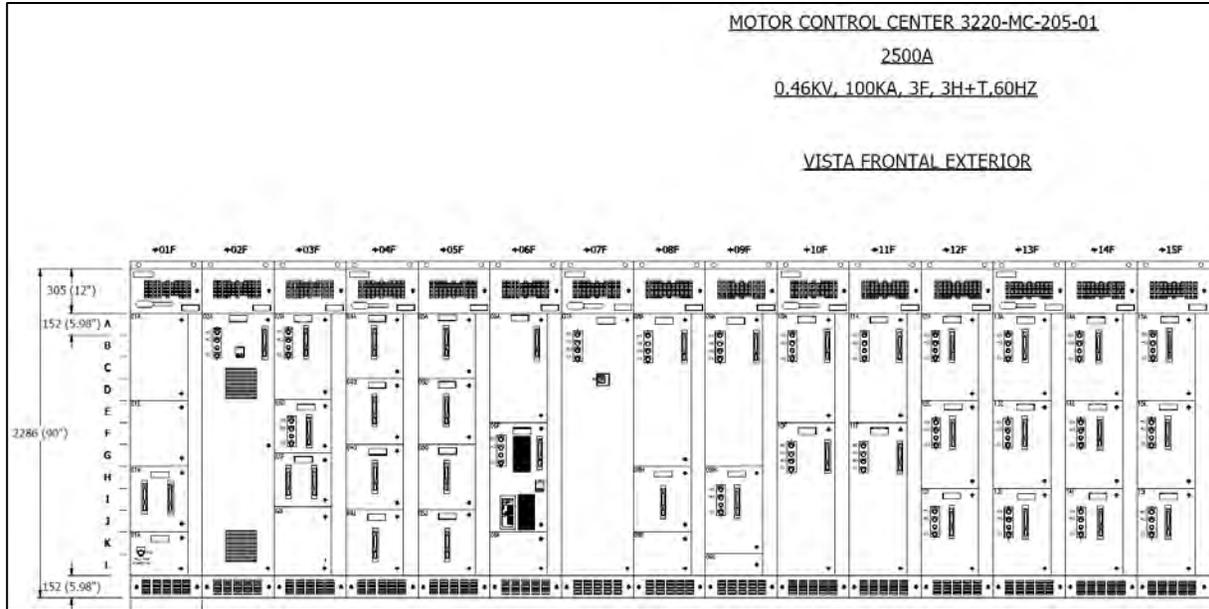


Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

En las figuras 25 y 26, se presentan parte de los planos as built de fabricación y ensamble de los MCC's, la primera figura es la vista frontal de los cubículos mientras que la segunda es el diagrama unifilar de todo el MCC.

Figura 25

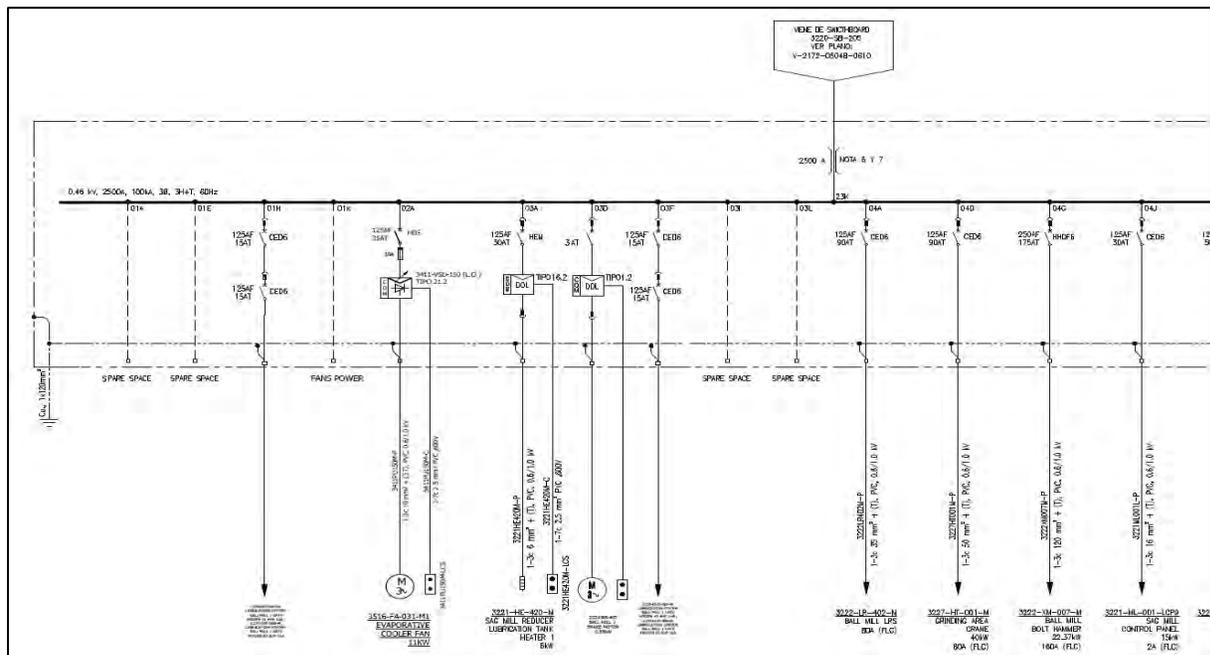
Vista frontal del MCC de sala – Planos as built



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Figura 26

Unifilar de distribución de arrancadores – Planos as built



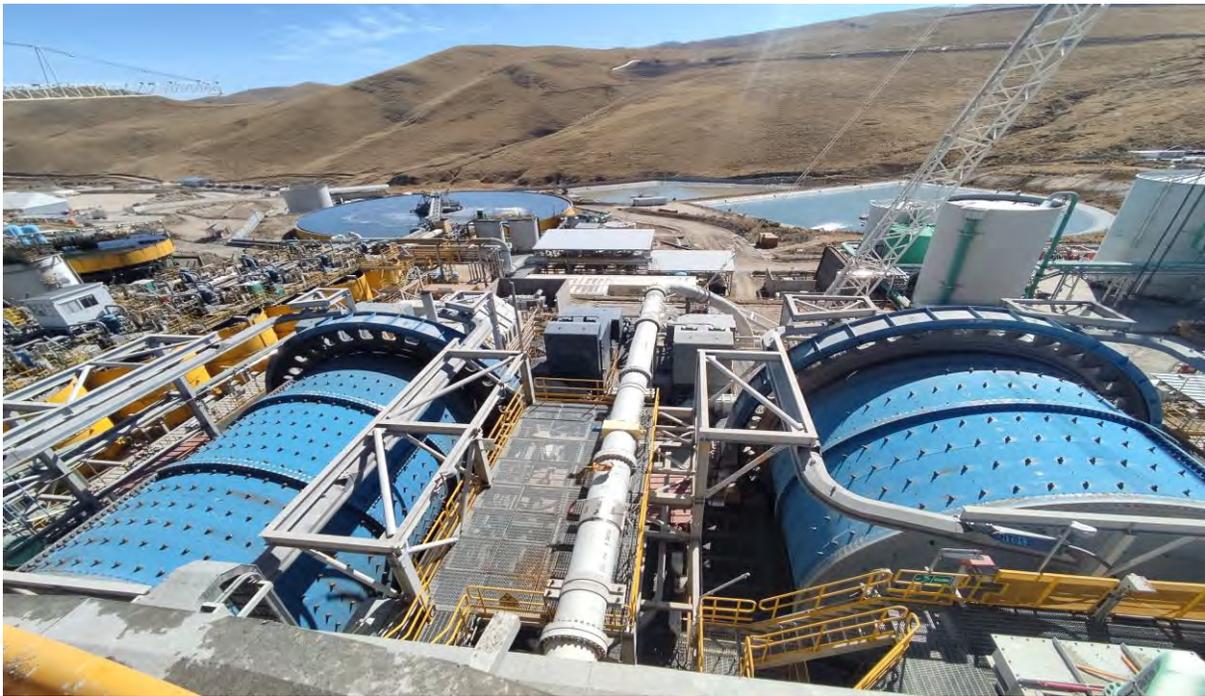
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

3.2.2 Línea de Molienda 2

Similar a la línea de molienda 1, esta línea 2 está compuesta por un molino SAG (ML-003), un molino de bolas (ML-004), una bomba de ciclones (PU-002) y todo un sistema de servicios auxiliares en BT. Todos estos equipos mencionados están centralizados desde la fuerza, control y protección por salas eléctricas según nivel de tensión, para el caso de la línea 2 las salas eléctricas que gestionan la energía son las SS-250 y SS-255.

Figura 27

Línea 2, Molinos SAG 3 y Bolas 4



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Sala eléctrica 3220-SS-250:

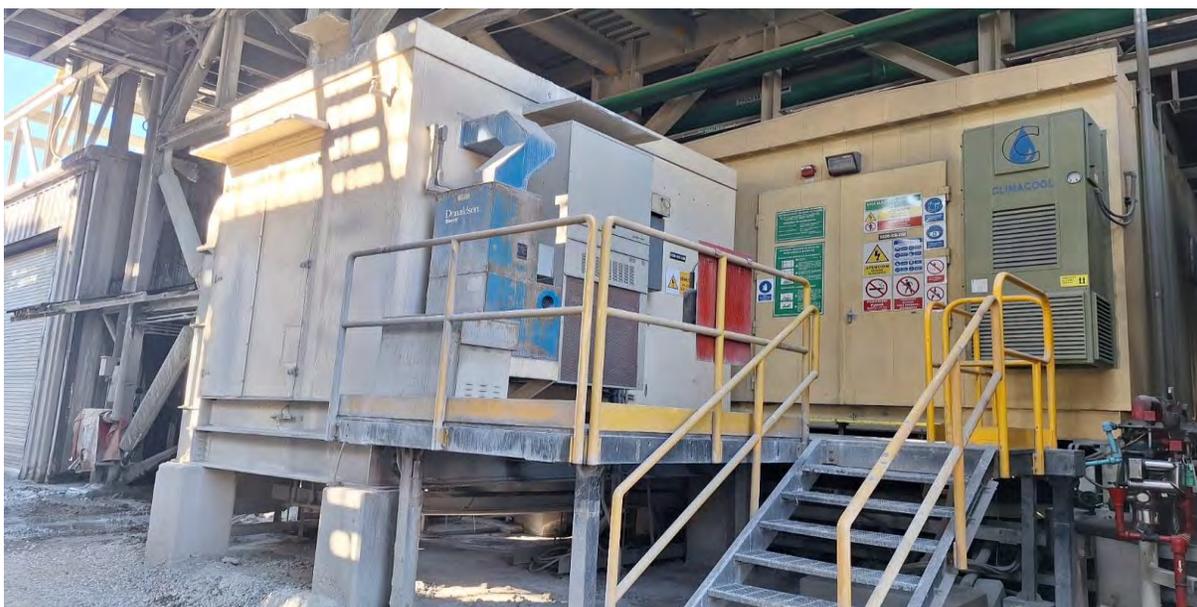
Esta sala eléctrica es exclusivamente para la administración de energía de todos los equipos de media tensión en 13.8kV.

Para este nivel de tensión de 13.8kV es necesario precisar que, el conjunto de interruptores y seccionadores de potencia serán denominados celda de MT, estas celdas de MT

tienen tecnología GIS y son de la marca Siemens NXPLUS. La figura 29 muestra el conjunto de celdas de MT que se tienen en el interior de la sala eléctrica SS-250.

Figura 28

Exteriores de la sala eléctrica SS-250



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Figura 29

Celdas de MT de sala eléctrica SS-250



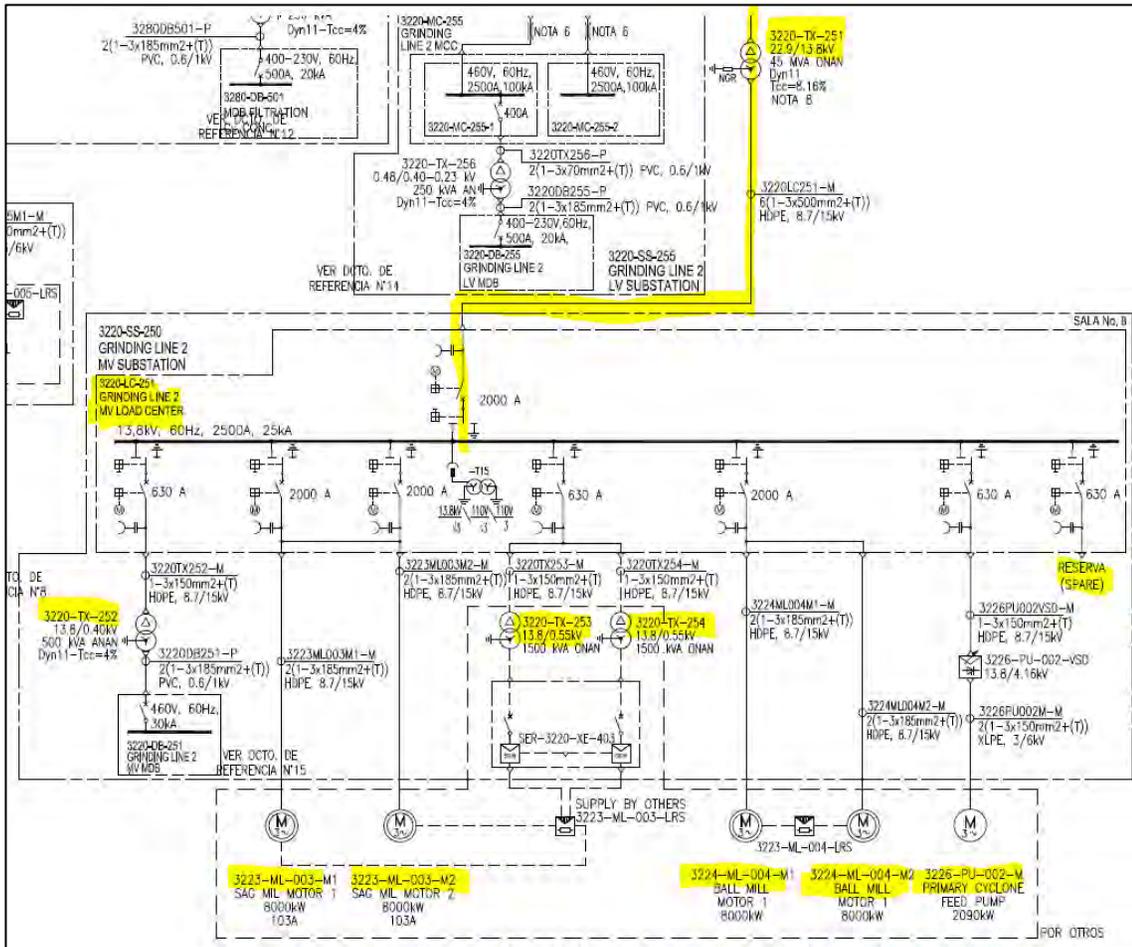
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

La alimentación eléctrica hacia la sala eléctrica viene de la subestación Principal en 22.9kV desde el alimentador +H11, el alimentador es una celda de MT, de aquí a través de cables de MT tipo XLPE se alimenta un transformador de potencia (TX-251) de 45MVA, 22.9kV/13.8kV, a partir de este transformador se energiza la sala eléctrica SS-250 en 13.8kV mediante una celda Incoming (+k05). En la sala eléctrica se tiene un total de 8 celdas de MT tipo GIS, todas estas celdas conectadas mediante una barra común en 13.8kV, el detalle de la designación de las cargas de cada celda de MT es:

- Celda de MT (+k01): Alimentador de 630A para el transformador (TX-252) de 500KVA, 13.8kV/0.40-0.23kV, SS.AA de sala eléctrica.
- Celda de MT (+k02): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino SAG 3 (ML-003) – Forward.
- Celda de MT (+k03): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino SAG 3 (ML-003) – Reverse.
- Celda de MT (+k04): Alimentador de 630A para los transformadores de recuperación (TX-253/TX-254) del sistema SER Drive del Molino SAG 3 (ML-003).
- Celda de MT (+k05): Alimentador principal de 2000A para la barra de 13.8kV, Incoming de las celdas de MT.
- Celda de MT (+k06): Alimentador de 2000A para los motores de inducción del molino Bolas 4 (ML-004).
- Celda de MT (+k07): Alimentador de 630A para el variador de velocidad de la bomba de ciclones 1 (PU-002).
- Celda de MT (+k08): Alimentador de 630A spare para instalaciones futuras.

Figura 30

Diagrama unifilar de sala eléctrica SS-250



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Sala eléctrica SS-255:

Esta sala eléctrica es exclusivamente para la administración de energía de todos los equipos de baja tensión en 460V y 380/220V. Esto incluye sistema de arranque de motores de 460V y sistemas auxiliares 380/220V de sala eléctrica y exteriores del área de molienda (Iluminación, tomacorrientes, sistemas UPS)

Figura 31

Exteriores de sala eléctrica SS-255

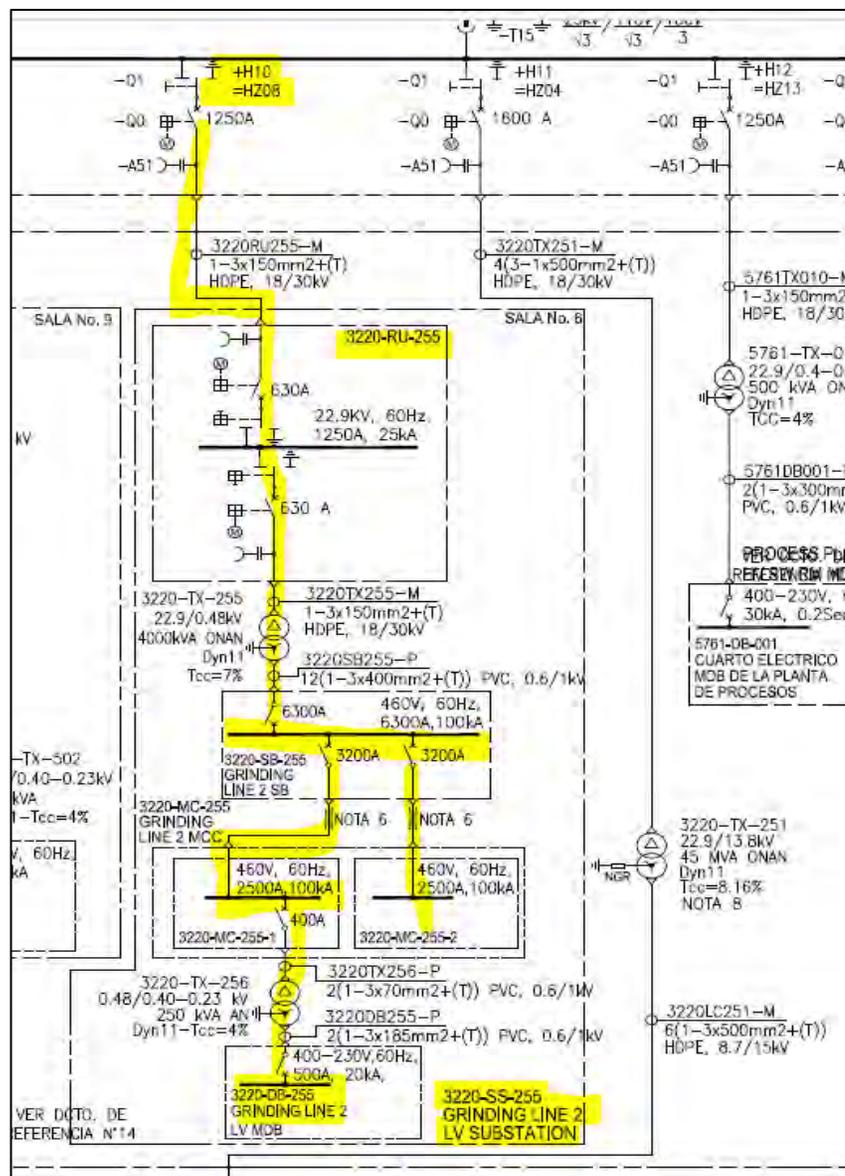


Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

La alimentación eléctrica hacia la sala eléctrica viene de la subestación Principal en 22.9kV desde el alimentador +H10, el alimentador es una celda de MT, de aquí a través de cables de MT tipo XLPE alimentan un transformador de potencia (TX-255) de 4000kVA, 22.9kV/0.40kV, a partir de este transformador se alimenta la sala eléctrica SS-255 en baja tensión 460V, la energía llega a un switchboard principal de 6300A (SB-255), este reparte a dos switchboard de 3200A para finalmente distribuirse en los MCC (Centro de Control de Motores) 3220-MC-255-1 y 3220-MC-255-2. La figura 31 muestra el diagrama unifilar del sistema eléctrico en baja y media tensión de la sala eléctrica SS-255.

Figura 32

Diagrama unifilar de sala eléctrica SS-255



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

Ahora, el sistema de MCC está compuesto por varios cubículos arrancadores y alimentadores en 460V, para el caso de arrancadores pueden ser del tipo DOL (Direct On Line) en marca SIEMENS o variadores de velocidad del tipo Sinamics G120 de la marca SIEMENS, y para el caso de cubículos alimentadores estos traen ensamblados interruptores termomagnéticos de caja moldeada que alimentan en 460V a variadores de velocidad BT con tablero auto soportado dentro de sala eléctrica, para el caso puntual de la línea 2 estos son para el

accionamiento de las fajas de alimentación de mineral (CV-003 y CV-005), alimentación a sistema de auxiliares del SER Drive y reóstato líquido de los Molinos.

En la figura 33 se muestran los cubículos arrancadores y alimentadores que se tiene en sala eléctrica, estos son de distintas dimensiones y capacidades eléctricas.

En el anexo 3 se encuentran los planos as built de la distribución de los MCC, diagramas unifilares de los arrancadores tipo DOL y con variadores.

Figura 33

Interior de sala eléctrica SS-255



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

3.3 El Molino SAG

El molino SAG o Semi-autógeno, es un equipo diseñado para la conminución del material mediante impacto, dentro del proceso se encarga de reducir el tamaño del mineral proveniente de la chancadora primaria a través de las fajas de alimentación de mineral. En la tabla siguiente de detallan las especificaciones técnicas del molino SAG.

Tabla 2

Especificaciones técnicas generales del molino SAG

Especificaciones generales del Molino SAG	
Proveedor	FLSmidth
Dimensiones del molino	10,973 m [36 pies] de diámetro 8.077 m [26.5 pies] de largo
Tipo de motor de accionamiento	De inducción de rotor bobinado
Potencia del motor de accionamiento	2x8000kW
Velocidad del Molino	7.91 RPM a 10.24 RPM
Tipo de molienda	Molienda húmeda, descarga de desbordamiento
Circuito de operación	Circuito cerrado

Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

En el interior del molino SAG se tiene como caga principalmente las bolas acero, agua de proceso y mineral, aquí se produce la fragmentación de mineral por medio de la acción de volteo que atrapa el mineral entre el medio de molienda y la abrasión de partículas rozándose unas contra otras y contra el medio de molienda.

Figura 34

Molino SAG de la U.M Constancia



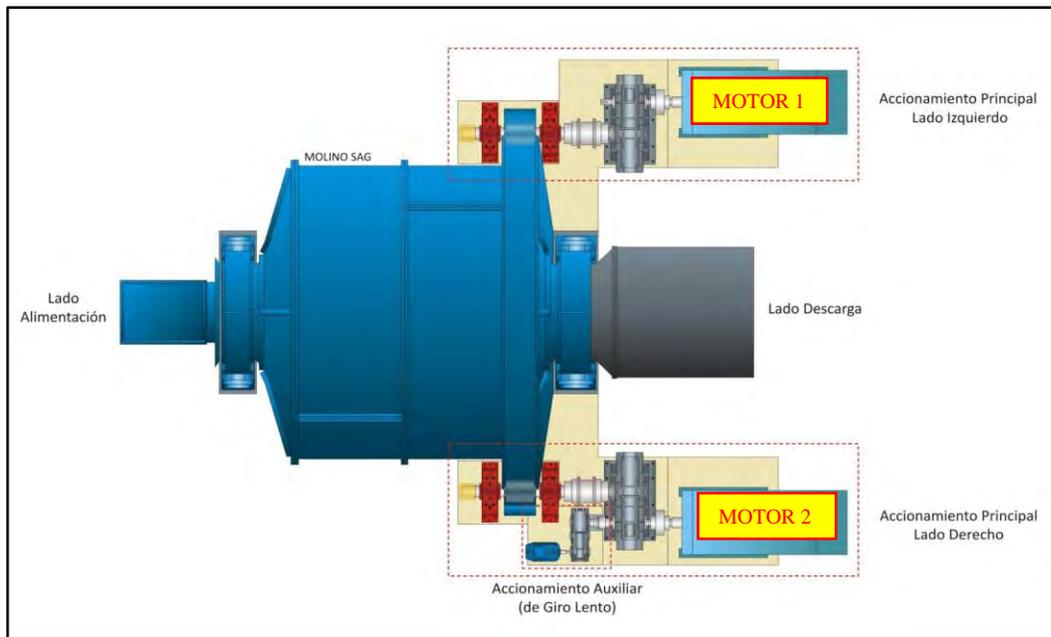
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Los molinos SAG de la U.M Constancia son accionados por dos motores de inducción de rotor bobinado de 8000kW a tensión de estator de 13.8kV, estos dos motores están configurados mecánicamente para accionar simultáneamente al molino SAG, el acoplamiento mecánico entre los motores y el molino es a través de reductores, piñones y una corona. El molino SAG tiene un accionamiento principal por los dos motores de MT ya descritos y un accionamiento auxiliar mediante un motor de BT.

La figura 35 muestra una imagen referencial del accionamiento de un molino SAG con dos motores de inducción.

Figura 35

Sistema de accionamiento del molino SAG



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

El molino SAG está diseñado y construido para trabajar a velocidad variable, esto es entre el 85 % y 110% de la velocidad síncrona de los motores de inducción. La velocidad del molino será variada según el requerimiento del proceso metalúrgico bajo condiciones de tipo de mineral, tonelaje, desgaste de los liners del molino y entre otros. Todo este proceso de control de velocidad es desarrollado por un SER Drive.

La operación del molino empieza con el arranque de los motores de inducción mediante un reóstato líquido que va conectado en serie a las bobinas del rotor de los motores de inducción, este arrancador de resistencias líquidas se encarga de hacer un arranque suave del molino logrando alto torque de arranque a bajas corrientes en los motores de inducción, este arrancador llevará al molino a una velocidad del 95%, una vez alcanzada la velocidad referida el sistema de arranque hace la transferencia al SER Drive y a partir de ese momento se tiene control de velocidad del molino y recuperación de energía por deslizamiento de los motores de inducción.

3.4 El Molino de Bolas

El molino de bolas es un equipo diseñado para la conminución del mineral mediante una combinación de esfuerzos de impacto y abrasión. La operación de la unidad de molienda reduce el tamaño del mineral preparándolo para los procesos de clasificación y/o separación de sólidos/líquidos. En la tabla siguiente se detallan las especificaciones técnicas del molino de bolas de la U.M Constanca.

Tabla 3

Especificaciones técnicas generales del molino de bolas

Especificaciones generales del Molino de Bolas	
Proveedor	FLSmidth
Dimensiones del molino	8,077 m [26.5 pies] de diámetro 12.497 m [41 pies] de largo
Tipo de motor de accionamiento	De inducción de rotor bobinado
Potencia del motor de accionamiento	2x8000kW
Velocidad del Molino	11.41 RPM
Tipo de molienda	Molienda húmeda, descarga de desbordamiento
Circuito de operación	Circuito cerrado

Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

El molino de bolas está diseñado como un sistema de molienda de circuito cerrado, esto significa que las partículas de mineral no pueden salir del circuito de molienda hasta que su tamaño se haya reducido lo suficiente como para permitir el paso hacia el rebose del sistema de clasificación de los ciclones. Las partículas que requieren mayor trituración son regresadas al chute de alimentación del molino por medio de la línea de underflow del ciclón. El material que regresa a un molino se conoce como la carga circulante.

Figura 36

Molino de Bolas de la U.M Constancia



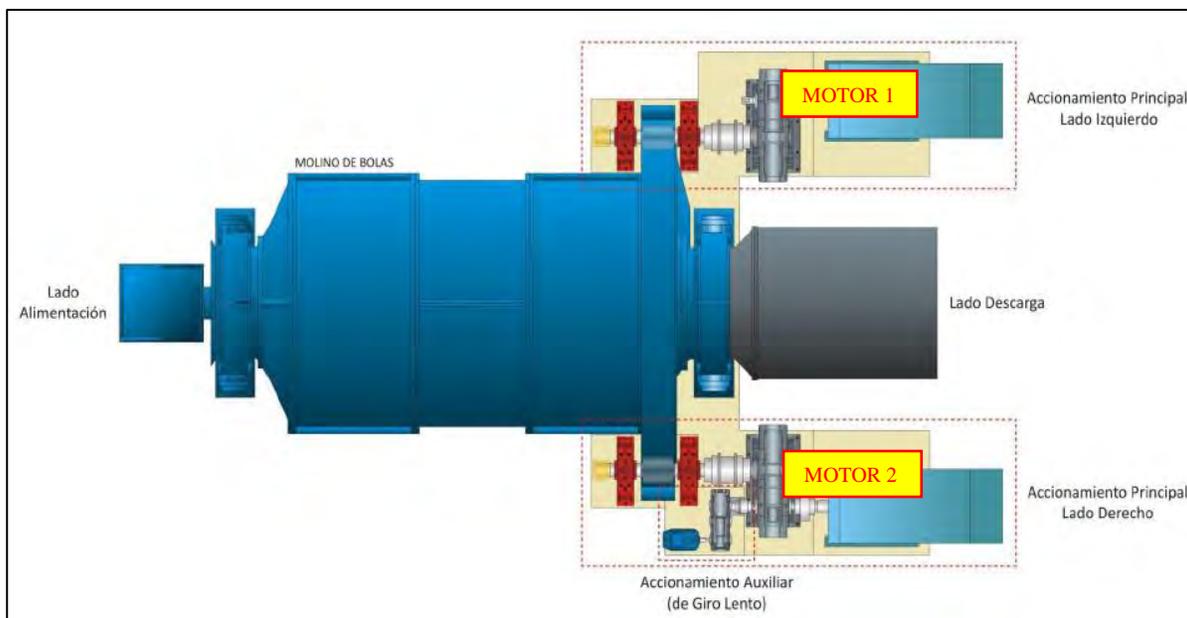
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

De manera similar que los molinos SAG, los molinos de bolas de la U.M Constancia son accionados por dos motores de inducción de rotor bobinado de 8000kW a tensión de estator de 13.8kV, estos dos motores están configurados mecánicamente y eléctricamente para accionar simultáneamente el molino de Bolas, el acoplamiento mecánico entre los motores y el molino es a través de un sistema de reductores, piñones y corona. El molino de bolas, al igual que el molino SAG, tiene un accionamiento principal por los dos motores de MT ya descritos y un accionamiento auxiliar mediante un motor de BT.

La figura 37 muestra una imagen referencial del accionamiento de un molino de bolas con dos motores de inducción. La característica mecánica del molino de bolas es que es de mayor longitud y menor diámetro, lo contrario al molino SAG.

Figura 37

Sistema de accionamiento del molino SAG - Referencial



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

El molino de Bolas está diseñado y construido para trabajar a velocidad constante, sin embargo, viene con un sistema de arranque suave de los motores de inducción el cual hace que el molino arranque en 25 segundos desde una velocidad inicial de 0 RPM hasta la velocidad nominal del molino 11.4 RPM.

La operación del molino de bolas empieza con el arranque de los motores de inducción mediante un reóstato líquido conectado en serie a las bobinas del rotor de los motores de inducción, este arrancador de resistencias líquidas se encarga de hacer un arranque suave del molino logrando alto torque de arranque a bajas corrientes en los motores de inducción, este arrancador llevará al molino a su velocidad nominal, una vez alcanzada la velocidad referida el arrancador pone en corto circuito el bobinado del rotor y este se queda operando a velocidad constante nominal.

CAPITULO IV:

4. ACCIONAMIENTO DEL MOLINO SAG.

4.1 Principio de funcionamiento del molino SAG

El mineral se recibe directamente desde el chancado primario y se le adiciona agua de proceso y reactivos como colector y lechada de cal para acondicionar la pulpa antes que se dirija a flotación de cobre. Este material es reducido por la acción del mismo material mineralizado presente en partículas de variados tamaños (de ahí su nombre de molienda semi-autógena) y por la acción de numerosas bolas de acero, que ocupan del 8 al 15% del volumen total.

Dados el tamaño y la forma del molino, estas bolas son lanzadas en caída libre cuando el molino gira, logrando un efecto conjunto de chancado y molienda más efectiva y con menor consumo de energía.

Figura 38

Proceso de molienda, variables de operación



Fuente: PI Vision - Unidad Minera Constancia

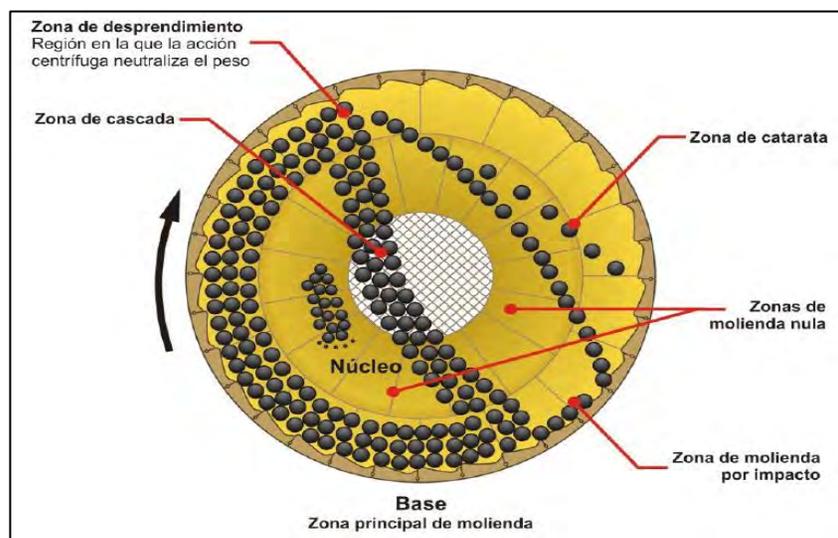
El molino está diseñado para contener un volumen máximo de bolas del 18%. Estos volúmenes de llenado son aproximados y el volumen óptimo depende de los resultados de la experiencia real de la planta. El contenido de agua de la pulpa es controlado en proporción al peso del mineral que está siendo alimentado desde las pilas de mineral para lograr la densidad deseada de pulpa dentro del molino.

Cuando el molino gira por acción de los dos motores de inducción sobre sus chumaceras hace caer su contenido violentamente causando la acción de molienda. El molino está cubierto con revestimientos resistentes al impacto y desgaste para proteger el cilindro. Además de revestimientos también se instalan levantadores que ayudan a elevar la carga durante el giro del molino. Sin elevadores, la carga tiende a deslizarse contra los revestimientos proporcionando poco levante y rápido desgaste abrasivo. Se experimentan efectos similares con revestimientos muy desgastados. En consecuencia, el reemplazo regular de los revestimientos es imperativo.

La carga se levanta unos dos tercios hacia el arco de rotación del cilindro antes de dejarla caer, el mineral, las bolas de molienda y el agua caen en un efecto cascada en el molino donde el tamaño del mineral es reducido hasta que salga por el extremo de descarga.

Figura 39

Movimiento de la carga dentro del molino SAG

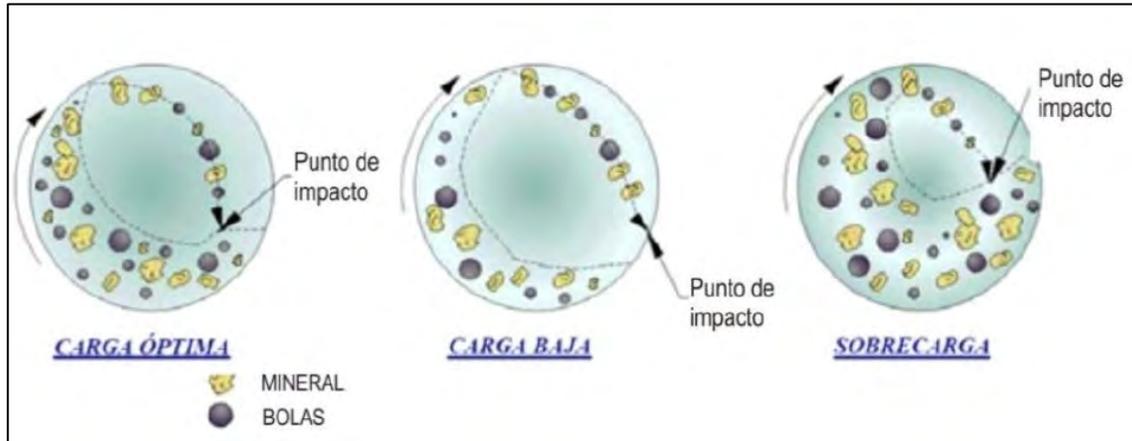


Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

Una importante variable de control en la operación del molino consiste en mantener el apropiado nivel de carga en el interior del molino, controlando el nivel de carga. El lecho o cama de mineral protege los revestimientos de molino contra los impactos directos de las billas.

Figura 40

Funcionamiento del molino SAG.



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

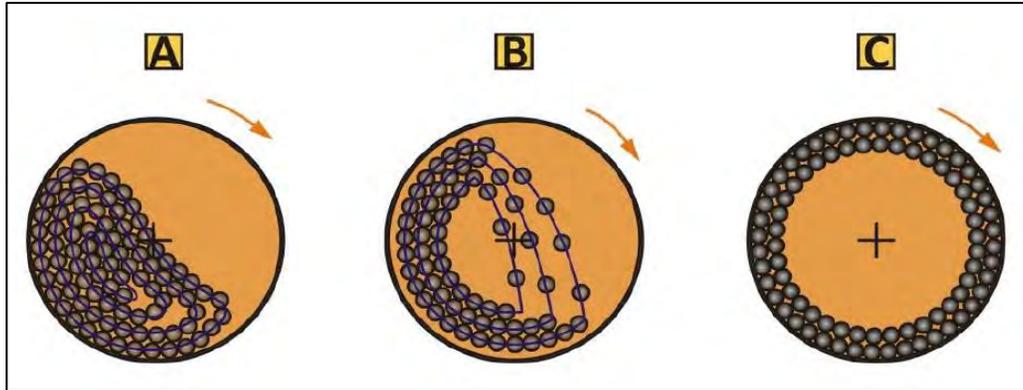
Otra importante variable de control de la operación de molienda es la variación de velocidad del molino. El operador debe asegurarse de que los revestimientos estén protegidos del impacto directo de las bolas de molienda. Esto se consigue manteniendo un nivel de mineral razonable durante la acción de caída en cascada.

La velocidad de rotación del molino genera gran parte de la acción de levante de la carga al interior del molino. El molino es operado a una velocidad sobre el 80% de la velocidad crítica del molino; a la velocidad crítica se sostiene todo el material contra las paredes del molino por acción de fuerza centrífuga que impide la acción de caída en cascada del mineral requerido para la molienda. La Figura 41 muestra el efecto de la velocidad en un molino, donde:

A: Velocidad Reducida - B: Aumento de Velocidad - C: Velocidad Crítica.

Figura 41

Efecto de la velocidad en el molino SAG.



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

Mientras más blando el mineral, se reduce de tamaño más rápido. Bajo condiciones de mineral blando y a velocidades normales, es difícil mantener el nivel de mineral. En este caso, el operador reduce la velocidad del molino, así se reducen las tasas de molienda y se mantiene el nivel de mineral en el molino. Si el mineral es más duro, el operador puede aumentar la velocidad del molino. Esto aumenta la acción de cascada que a su vez aumenta la tasa a la que el mineral es reducido de tamaño. Así, utilizando la velocidad del molino, el operador puede variar la tasa de molienda y proteger los revestimientos del molino.

El Molino SAG cuenta con doble accionamiento tipo piñon-corona, uno principal y uno auxiliar. El accionamiento principal se emplea para la operación normal, y consta de dos conjuntos motor-reductor ubicados uno a cada lado del molino, los motores principales son de inducción de rotor bobinado de 8000kW a 13.8kV. El accionamiento auxiliar de giro lento se emplea para labores de mantenimiento al molino, para posicionamiento del molino, y está ubicado a un solo lado del molino, se le conoce como Inching Drive.

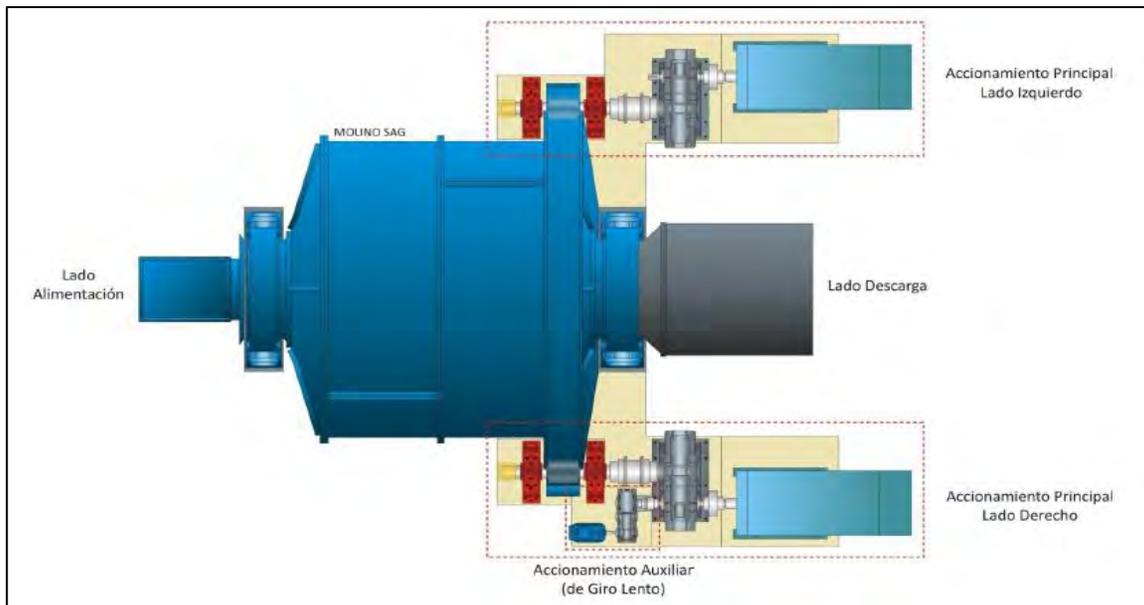
4.2 Componentes del molino SAG

La composición del molino SAG involucra la parte estructural, mecánica y eléctrica. Para la parte estructural refiere a toda la estructura constructiva propia del molino, cascos, revestimientos, chutes y entre otros. La parte mecánica refiere al sistema de reductores, acoples, frenos, piñones y corona. Para la parte eléctrica se tendrá los motores eléctricos de

accionamiento principal y auxiliar, sistema de arranque y control de los motores. Las figuras 42 y 46 muestran el detalle general de la composición del molino SAG.

Figura 42

Componentes del molino SAG



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

Figura 43

Detalle general del molino SAG



Fuente: Manual FLSmidth Nro 59001608

4.2.1 Alimentación de carga al molino

- Chute de alimentación: Ingreso de mineral, agua, reactivos y lechada de Cal.

4.2.2 Estructura de molino SAG.

- Chumaceras hidrostáticas.
- Sistema de lubricación y refrigeración.
- Trunions.
- Liners y revestimientos.

4.2.3 Sistema de Accionamiento

- Motor principal: Motores de MT, incluye una celda de MT, un arrancador de resistencias líquida LRS y un SER Drive para control de velocidad.
- Reductor principal y auxiliar.
- Motor auxiliar: Motor de BT, incluye un arranque DOL en 460V.
- Piñón y Corona.

Figura 44

Conjunto de accionamiento principal y auxiliar del molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.2.4 Descarga del molino

- Tromel
- Chute de descarga.
- Mallas

4.3 Motor de inducción de rotor bobinado.

Los motores principales del molino SAG convierten la energía eléctrica en energía mecánica de rotación con un relativo bajo torque, y la transmiten a los reductores principales; y éstos se encargan de elevar el torque reduciendo la velocidad por medio de engranajes, finalmente ambos reductores transmiten esta energía a los piñones (uno por cada lado del molino) los cuales están engranados a la corona montada en el cuerpo del molino, produciendo el giro del mismo.

Tabla 4

Datos de placa del motor de inducción

Datos de placa Motor principal	
Potencia	8000 kW
Corriente estator	408 A
Corriente rotor	1647 A
Voltaje estator	13800 V
Voltaje rotor	2815 V
Velocidad	896 rpm
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Factor de servicio	1.15
Clase de aislamiento	F
Peso	57200 kg

Fuente: Elaboración propia

Los motores principales son del tipo de inducción de rotor bobinado, cada motor cuenta con toda una estructura de sistema de enfriamiento en la parte superior y este se encuentra compuesto por ventiladores internos y externos, y un intercambiador de calor aire-aire, que se encarga de mantener la temperatura adecuada del bobinado del estator y rotor del motor. En la figura 45 se muestra el conjunto motor de inducción y su sistema de ventilación montado en la parte superior del motor.

Figura 45

Motor principal de 8000kW - molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Cada motor principal cuenta con su propio sistema de lubricación de chumaceras lado motriz y lado no motriz, que no solo cumple la función de lubricar las chumaceras, sino que también las refrigera. Temperatura de alarma en 85°C y temperatura de disparo en 95°C.

4.3.1 El estator del motor de 8000kW

El estator posee dos cajas de bornes de fuerza, una para conexión de las bobinas del estator en 13.8kV y la otra para conexión de las bobinas del rotor en 2815V, así mismo también se tienen cajas de bornes para sensores de temperaturas RTD's para bobinas de las tres fases, rodamientos DE y NDE, y compartimiento de sistema de anillos rozantes. El bobinado del estator es de tipo rectangular preformado, con aislamiento del tipo VPI (Vacuum Pressure Impregnation) Impregnación por presión de vacío, el conjunto de bobinas forma 8 polos en el estator.

Figura 46

Rotor de motor principal de 8000kW - molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.3.2 El rotor del motor de 8000kW

Al igual que el bobinado del estator, el rotor también presenta bobinas del tipo rectangular preformado, con aislamiento del tipo VPI (Vacuum Pressure Impregnation). La estructura del rotor lleva fijado y aislado sobre su eje a los anillos rozantes para interconexión con el arrancador LRS y variador de velocidad SER Drive.

En la figura 47 se muestra el rotor en dos situaciones de pruebas eléctricas. La primera es una prueba la magnetización del núcleo, mientras que la segunda son pruebas de aislamiento de bobinas (pruebas DC).

Figura 47

Rotor de motor principal de 8000kW - molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.3.3 Sistema de anillos rozantes

El sistema de anillos rozantes está conformado por 3 anillos (K/L/M) que interconectan con las bobinas del rotor, y sobre estos anillos van dispuestos los cajetines porta escobillas. Se tiene un total de 30 unidades de escobillas, 10 unidades en cada fase, las escobillas son de 40x25x50mm².

Figura 48

Anillos colectores y escobillas de motor principal de 8000kW - molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.4 Sistema de arranque del molino SAG

El molino SAG es accionado por dos motores de inducción de rotor bobinado de 8000kW a 13.8kV, estos motores son de alta potencia y requieren un sistema de arranque que permita generar un alto torque para romper la inercia de la carga de molino, conseguir una baja corriente durante el transitorio de arranque y en un tiempo promedio de arranque de 25 segundos. Bajo este enfoque, los motores de inducción son arrancados por un sistema de reóstato líquido dual el cual va conectado en serie a las bobinas del rotor de cada motor de inducción.

En el proceso de arranque, al instante inicial de 0 segundos, se cierra la celda de MT que alimenta en 13.8kV al estator de los dos motores de inducción, en el mismo instante el reóstato líquido inicia su proceso de variación de la resistencia en el rotor hasta que los motores alcancen una velocidad de 95% de su nominal, a esta velocidad el reóstato líquido hace la transferencia al SER Drive para que termine el proceso de arranque y finalmente este hacer el control de velocidad de los motores de inducción.

Figura 49

Esquema general del arranque de los motores visto desde el SER Drive



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.4.1 Arrancador de resistencia líquida (LRS)

El LRS es un reóstato líquido de alta potencia, el objetivo principal es hacer un arranque suave de los motores de inducción a través de la variación continua de la resistencia rotórica. La variación de la resistencia del rotor es gracias al electrolito en el cual van sumergidos los electrodos fijos y móviles del sistema. Durante el arranque se consideran y valoran tres condiciones importantes en cada motor; alto torque y baja velocidad de arranque, corriente máxima transitoria en el rotor hasta el 150% de la corriente nominal. El LRS lleva a los motores hasta al 95% de su velocidad síncrona y a partir de allí entra en operación el SER Drive.

En la figura 46 se muestra todo el conjunto arrancador de resistencias líquidas LRS, aquí se puede identificar de forma general los componentes del sistema: Tanques de almacenamiento de electrolito, sistema de recirculación de electrolito, accionamiento de electrodos, gabinete de control y gabinete de potencia.

Figura 50

Arrancador de resistencias líquidas LRS – molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

4.4.2 SER Drive.

El SER Drive es un equipo electrónico de potencia que permite el control de velocidad de giro, recuperación de energía de deslizamiento y compensación de potencia reactiva de los motores de inducción de rotor bobinado, es decir hace una labor importante de control efectivo y eficiente de los motores. Ahora, para que el SER Drive entre en operación con los motores de inducción, este requiere estrictamente del conjunto arrancador de resistencias líquidas LRS el cual ya fue descrito en el ítem 4.4.1

Figura 51

SER Drive – molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

4.5 Secuencia de arranque del molino SAG

- 1°. Celdas de MT del estator y rotor deben encontrarse con seccionador cerrado y los relés de protección sin alarmas.
- 2°. Operador de sala de control deberá mandar a arrancar todos los servicios auxiliares del Molino, estos son; los ventiladores de sistema de enfriamiento de cada motor principal y sistema de lubricación de rodamiento de motores, y piñones de molino.
- 3°. Operador de sala de control verificará que ningún interlock de campo esté activado para que se de las condiciones normales de arranque del Molino SAG. Por ejemplo, se requiere tener arrancador el molino de bolas y bombas de ciclones.
- 4°. Definir con operaciones y mantenimiento eléctrico el modo de operación del Molino SAG, este podría ser a velocidad fija o variable. (SER). Esta condición depende si el molino se encuentra sobrecargado o algún posible daño en el SER Drive.
- 5°. Para el arranque en modo SER, el operador de sala de control mediante el control del DCS da la consigna de arranque del molino SAG en modo SER Drive.

- 6°.** Cierre automático del interruptor de la celda de MT (+k02) del estator de los motores principales, aquí se tiene alimentación directa de tensión 13.8kV al estator de ambos motores, en este mismo instante entra en funcionamiento del arrancador de reóstato líquido LRS.
- 7°.** El arrancador de resistencias líquidas LRS hace su proceso de arranque tomando el control del circuito del rotor hasta llevar a los motores de inducción hasta una velocidad próxima de a su nominal 95%, tal como lo explicado en el ítem 4.4.1.
- 8°.** Una vez los motores alcanzados el 95% de su velocidad, este hará la transferencia del control del circuito rotórico al SER Drive. A partir de aquí los motores trabajarán a velocidad variable del 85% al 110%, con la capacidad de recuperar energía del deslizamiento. Molino queda en operación normal
- 9°.** Cualquier falla en el Ser Drive, el sistema hará transferencia al LRS para que sea llevado a la velocidad nominal, aquí el molino quedará operando a velocidad fija.
- 10°.** Una vez restablecida la alarma o falla en el SER Drive, se podrá hacer la transferencia en línea el control del LRS hacia el control del SER Drive.

CAPITULO V:

5. EL ARRANCADOR DE RESISTENCIAS LÍQUIDAS (LRS).

5.1 Introducción.

El arrancador de resistencias líquidas LRS o reóstato líquido es usado en los motores de inducción de rotor bobinado, para nuestra aplicación estas resistencias van acoplados en serie con las bobinas del rotor mediante un sistema de anillos rozantes y escobillas de carbón. Este tipo de arranque es aplicado a aquellos motores que accionan cargas mecánicas que poseen condiciones difíciles de arranque, vale decir con elevado par de arranque y requerimiento de aceleración progresiva a una carga constante.

Hacer un arranque directo de un motor sin la aplicación de algún método de arranque provoca choques mecánicos, estos choques se reflejan con daños mecánicos en el motor, reductor y carga por elevados torques durante el proceso de arranque. Así mismo un arranque directo según el tipo de carga llega a intensidades de corriente de arranque de 5 a 8 veces la corriente nominal, al generarse estas elevadas corrientes se producirá una considerable caída de tensión en el sistema eléctrico lo que pone en riesgo la integridad y disponibilidad de algunos equipos eléctricos y electrónicos por las súbitas y caídas de tensión del sistema.

Bien claro está que hoy en día se tienen una gran variedad de sistemas de arranque de motor de inducción, tanto de rotor bobinado de jaula de ardilla, ya sean aplicados al estator o al rotor.

El equipo LRS instalado para arranque de los motores del molino SAG es el EPMA 4/2 DUO FIXED SPEED.

Figura 52

Arrancador de resistencias líquidas LRS – molino SAG



Fuente: Unidad Minera Constanza de Hudbay Perú S.A.C

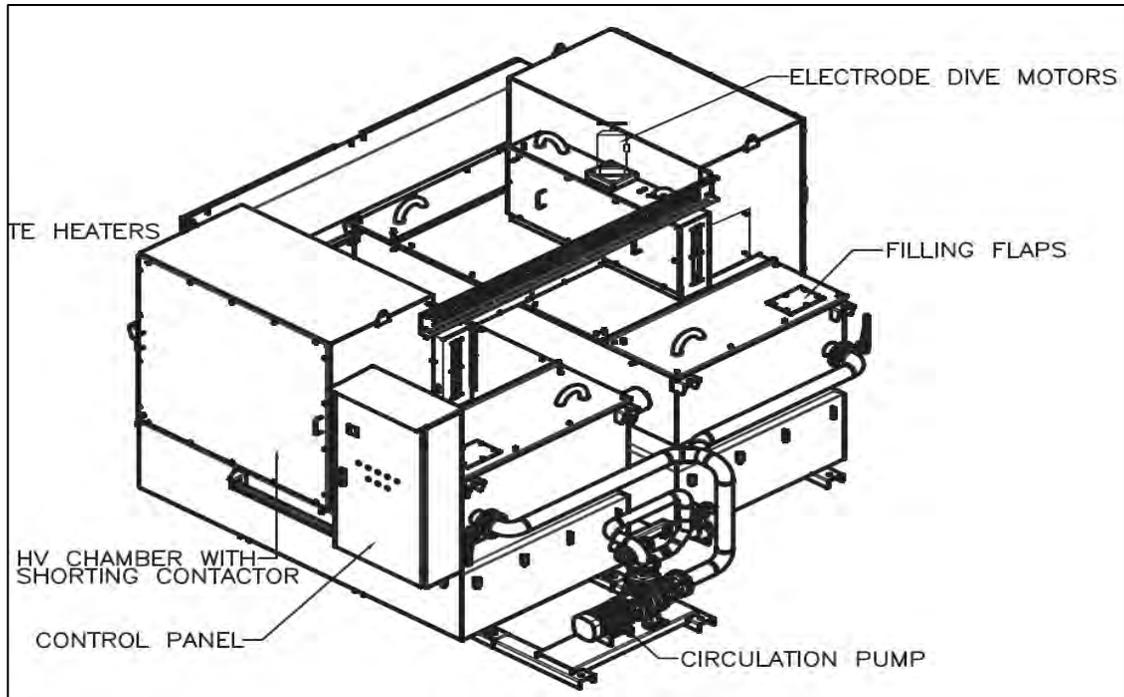
5.2 Principio de funcionamiento del arrancador de resistencias líquidas LRS.

El arranque es el proceso de puesta en marcha de un motor eléctrico que lleva desde una velocidad inicial cero hasta una velocidad que represente un punto estable entre el par del motor y el par resistente de la carga que tiene que mover. Para lograr este proceso de arranque se debe asegurar que el motor de inducción genere el torque necesario para romper la inercia de la carga y esto deberá ir de la mano con una corriente de arranque limitada de tal forma que se evitará oscilaciones descontroladas de corrientes y tensiones en el sistema eléctrico, y que a consecuencia de tales efectos la apertura de circuitos eléctricos, salida de servicios de equipos sensibles a variaciones de voltajes o en su defecto daño de sus componentes eléctricos/electrónicos internos.

Lograr el control de torque y corriente de arranque del motor de inducción, para nuestro caso con la variación de la resistencia del bobinado del rotor, se deberá principalmente al principio del reóstato líquido, basado en electrolito y electrodos fijos y móviles.

Figura 53

Vista general del arrancador LRS, modelo EPMA 4/2

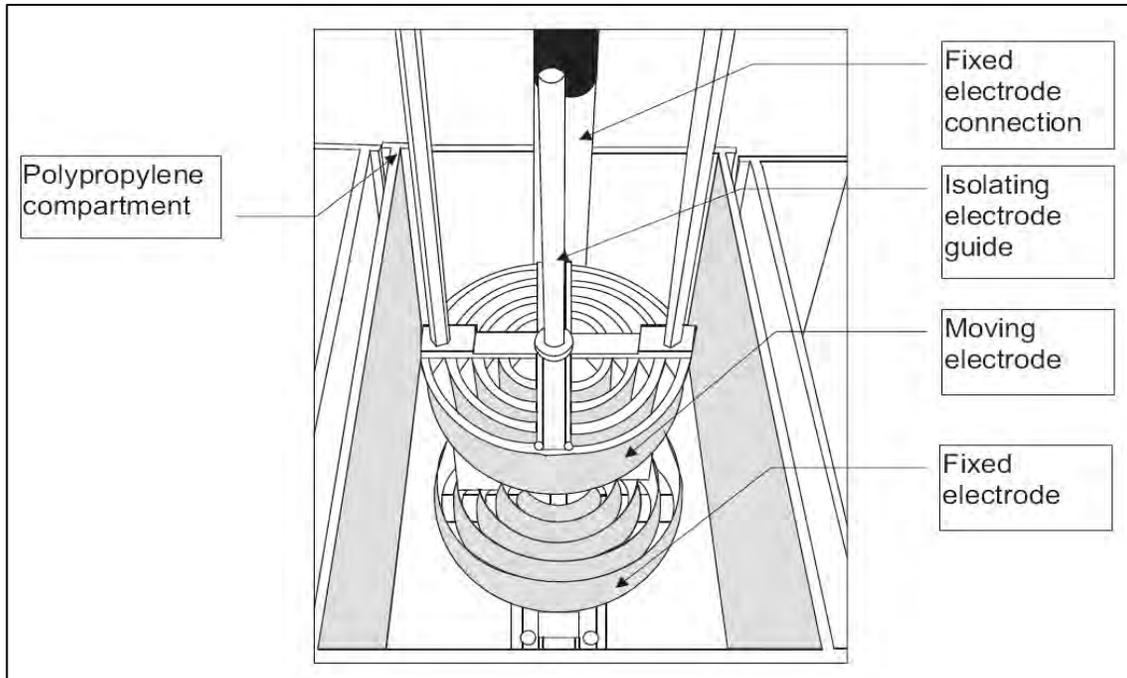


Fuente. Manual de operación y mantenimiento de LRS, Unistarter.

El Reóstato líquido o Resistencias líquidas variables, para aplicación a un motor trifásico, es el conjunto de 3 electrodos fijos y 3 electrodos móviles separados a una cierta distancia, todos sumergidos en un electrolito de composición de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) al 90% de concentración. Los 3 electrodos móviles son accionados por un motor eléctrico controlado por un variador de velocidad, los electrodos son acoplados mecánicamente para que sean accionados simultáneamente sin variación alguna entre ellos, es importante que el desplazamiento de los electrodos sea sincronizado para evitar sobreesfuerzos en lagunas fases del bobinado del rotor y torques variables.

Figura 54

Disposición de electrodos circulares en tanque de electrolito



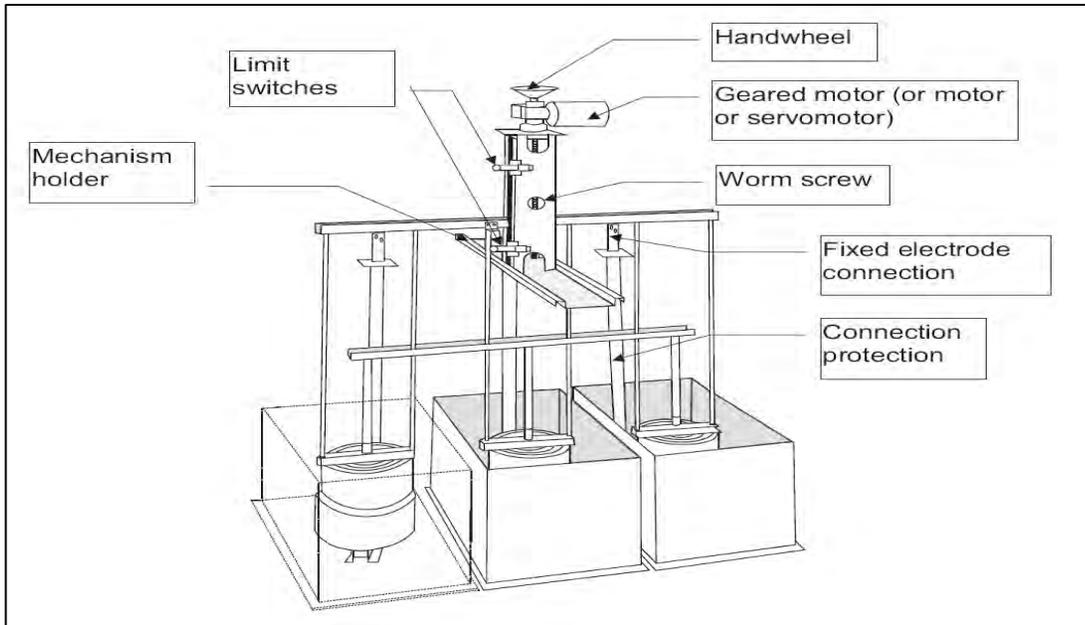
Fuente. Manual de operación y mantenimiento de LRS, Unistarter.

Cada grupo de electrodo por fase, aparte de encontrarse sumergidos en electrolito, estos se encuentran protegidos dentro de un compartimiento de polipropileno asegurando de esa forma posible continuidad de la corriente hacia las otras fases o hacia la estructura del tanque. La figura 55 muestra el conjunto de los 6 electrodos, cada uno con su propio compartimiento, todos estos se encuentran dentro del tanque.

Los electrodos fijos se encuentran en la parte baja en corto circuito, mientras que los electrodos móviles se encuentran en la parte superior, esta configuración aplica para acoplamiento rotórico de un solo motor, por lo que el arrancador del molino SAG posee dos equipamientos idénticos a la figura 55 dentro de un tanque de electrolito compartido.

Figura 55

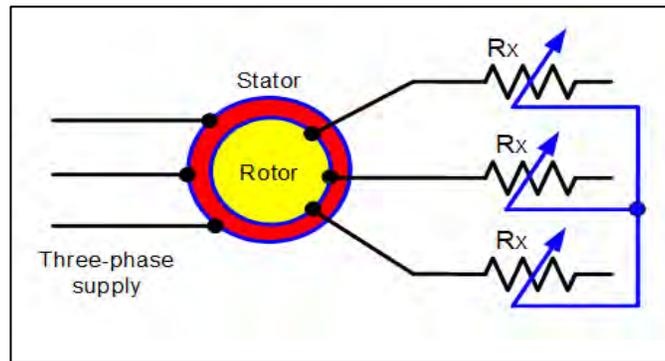
Sistema de control de electrodos sumergidos en tanque de electrolito



Fuente. Manual de operación y mantenimiento de LRS, Unistarter.

Figura 56

Esquema de conexión del reóstato líquido al rotor



Fuente. International Electronics S.A

5.2.1 Curvas características de arranque.

La corriente y torque de arranque se controla mediante las resistencias líquidas conectadas a las bobinas del rotor. En este caso un aumento de la resistencia en el rotor, por acción de la posición máxima de separación de los electrodos, a la vez que limita la corriente de arranque trae como consecuencia un aumento del par de arranque, así como mayor tiempo de arranque del motor.

Para comprender el desarrollo de las corrientes, par y resistencia generadas durante el proceso de arranque, es necesario exponer las fórmulas que rigen sobre dichos parámetros.

Cálculo de la resistencia del electrolito para tener en el arranque una corriente rotórica entre 1.3 a 1.4 veces la corriente rotórica nominal.

$$R_{lrs} = \frac{V_{rotor}}{\sqrt{3} \times 1.3 \times I_{rotor}} = 0.54$$

$$P = T \times \omega$$

$$T = K \times \phi \times I_{rotor}$$

$$\phi \llcorner K \times V$$

Donde:

P: Potencia en el eje del motor

T: Par o torque del motor

ϕ : Flujo magnético en el motor

I_{rotor} : Corriente en el rotor

V_{rotor} : Voltaje generado en el rotor.

V: Voltaje en el estator.

Ω : Velocidad angular

K: Constante

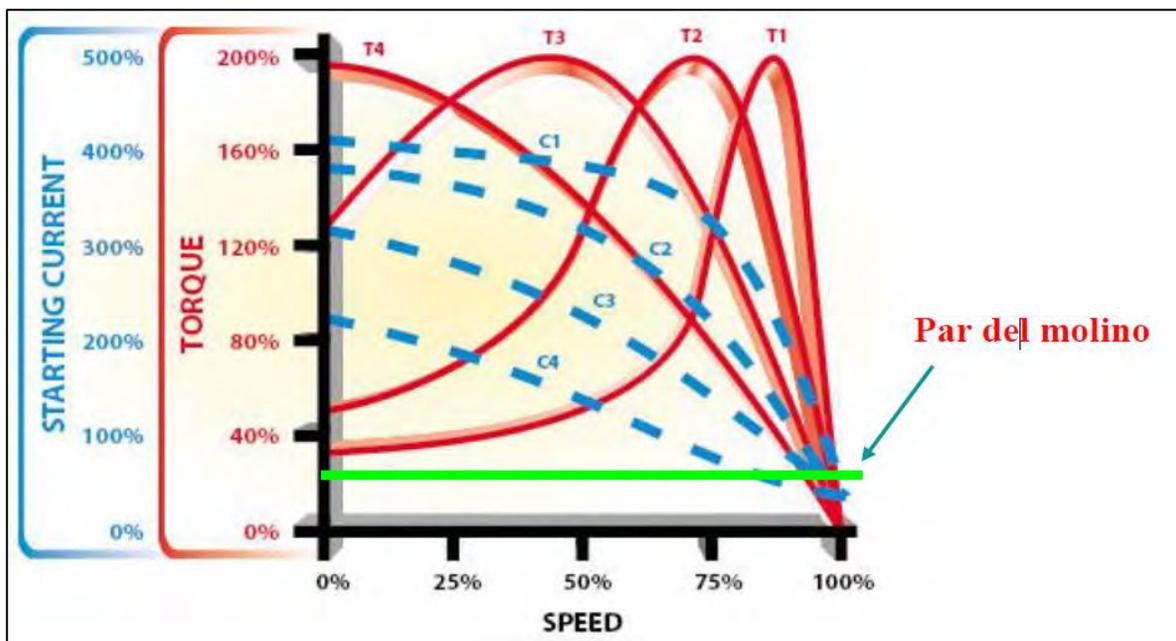
Así mismo es necesario considerar que la resistencia del electrolito variará según las siguientes condiciones:

- A mayor concentración de sal en electrolito, tendremos menor resistencia.
- A mayor temperatura de electrolito, tendremos menor resistencia.
- A mayor distancia del electrodo móvil al fijo, tendremos mayor resistencia.

Durante el proceso de arranque del motor a voltaje constante en el estator, el LRS proporcionará distintos valores de resistencias hacia el rotor, al instante cero los electrodos fijos y móviles de cada fase se encuentran en su máxima separación con lo que se logra el valor máximo de resistencia externa, a partir de esta posición, se tiene un valor de resistencia inicial en el rotor y mientras se va desarrollando el arranque, los electrodos móviles por acción de un motor controlado por un variador, se van aproximando a los electrodos fijos generando así menor distancia entre ellos y en consecuencia menos resistencia en las bobinas del rotor, todo este proceso de disminución de resistencia se repetirá de forma infinita hasta que los electrodos se encuentren completamente próximos a entrar en corto circuito y para esta condición el motor ya habrá alcanzado casi su velocidad síncrona (95%). La figura 57 muestra un ejemplo del comportamiento de la curva de torque y corriente de arranque respecto a la velocidad del motor para cada distinto valor de resistencia rotórica, donde $T4 > T3 > T2 > T1$. A mayor resistencia rotórica, se tendrá mayor torque de arranque (Hasta el nominal del motor) y baja corriente.

Figura 57

Curva Torque - Corriente VS velocidad a distintos valores de resistencia externa en LRS.

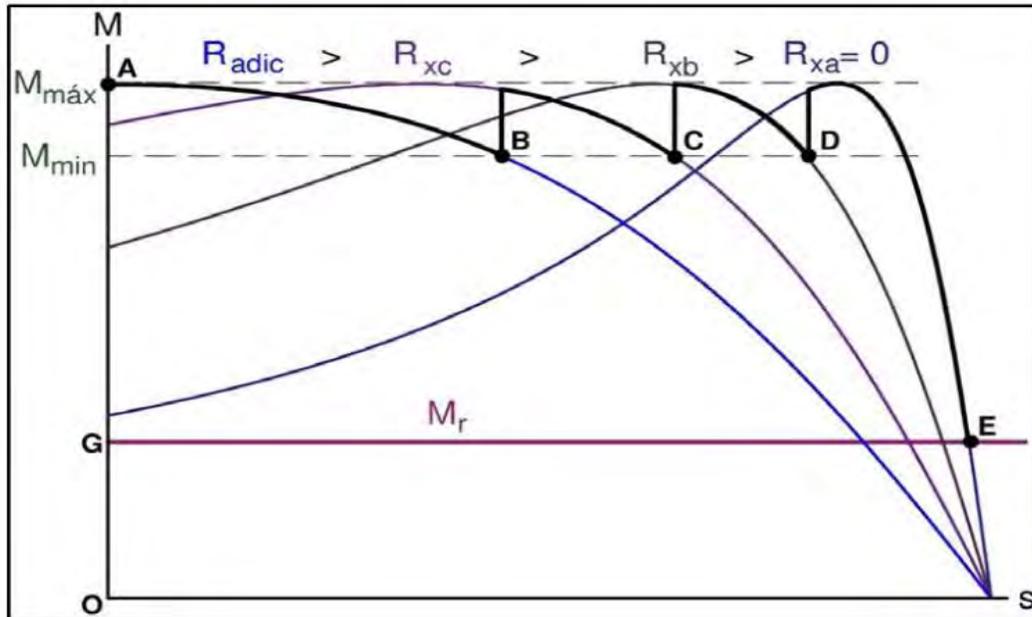


Fuente. International Electronics S.A

La figura 58 da el resumen del comportamiento aproximado que debería tenerse en la curva final del torque con la variación de la resistencia del rotor.

Figura 58

Curva Torque vs deslizamiento con variación de resistencia del rotor



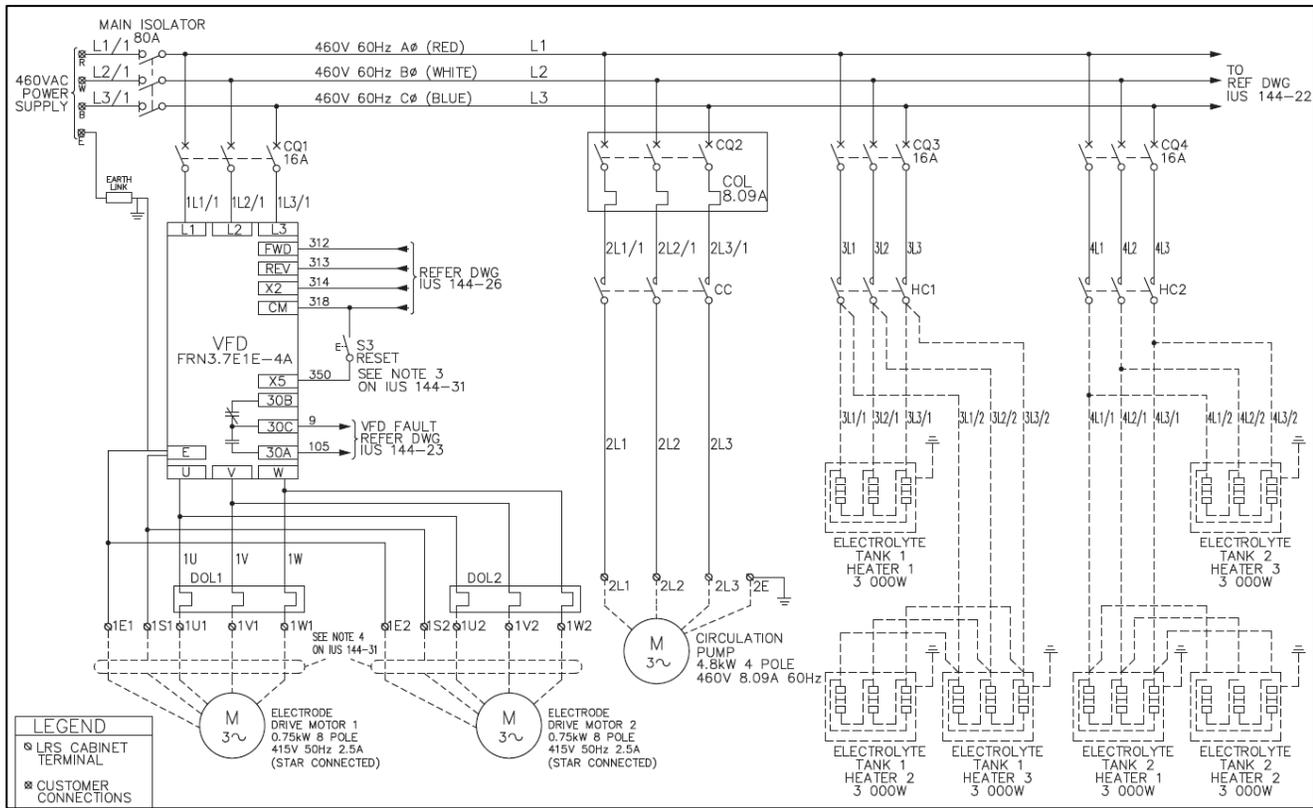
Fuente: RODRÍGUEZ POZUETA, M.A. 2017. Arranque de motores asíncronos.

El sistema de arranque explicado está definido para una unidad de motor de inducción, ahora los molinos SAG poseen dos motores de inducción, los cuales deben ser arrancados simultáneamente con un mismo reóstato líquido. El arrancador de resistencias líquidas del molino SAG de la U.M Constanca son del tipo DUAL, es decir que poseen dos sistemas de arranque de motor ensamblados en un solo equipo LRS, comparten mismo electrolito, mismos tanques, mismo tablero de control, sincronización mecánica y eléctrica de electrodos móviles, mismo medidor de conductividad y temperatura de electrolito, misma bomba de recirculación, etc.

En la figura 59 se tiene la curva característica de cada motor de inducción de rotor bobinado de 8000kW usados para el accionamiento del molino SAG. La curva fue sacada de la datasheet entregado por el fabricante del motor y este es obtenido sin ninguna resistencia externa adicional al rotor.

La etapa de control y de servicios auxiliares del arrancador está conformado por tensiones de 460V para alimentación de bomba de recirculación de electrolito, para los motores de accionamiento de los electrodos móviles y para los heaters del electrolito. Mientras que para los circuitos de control se tendrá tensiones de 220V y 24V.

Figura 61
Sistema eléctrico sistemas auxiliares y de control del LRS



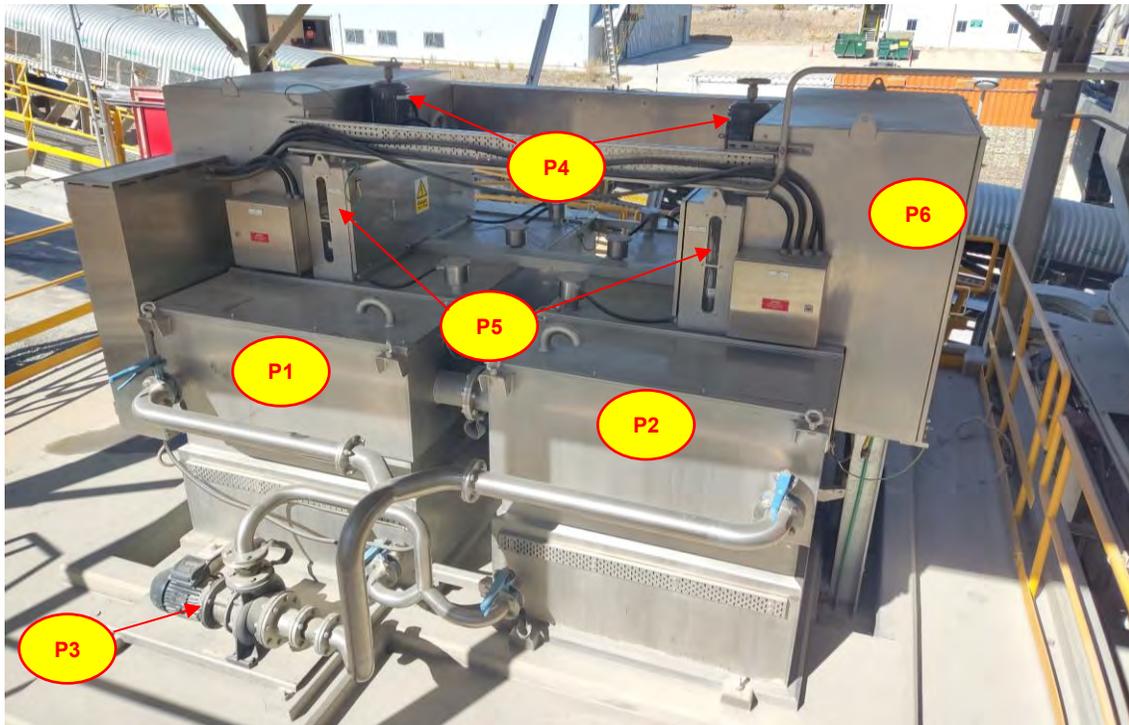
Fuente. Manual de operación y mantenimiento de LRS, Unistarter.

5.2.3 Componentes del arrancador LRS.

La figura 62 muestra el arrancador visto desde un perfil A, mientras que la figura 63 muestra el perfil B del arrancador. En función a los perfiles mostrados se hará la identificación y descripción de cada componente

Figura 62

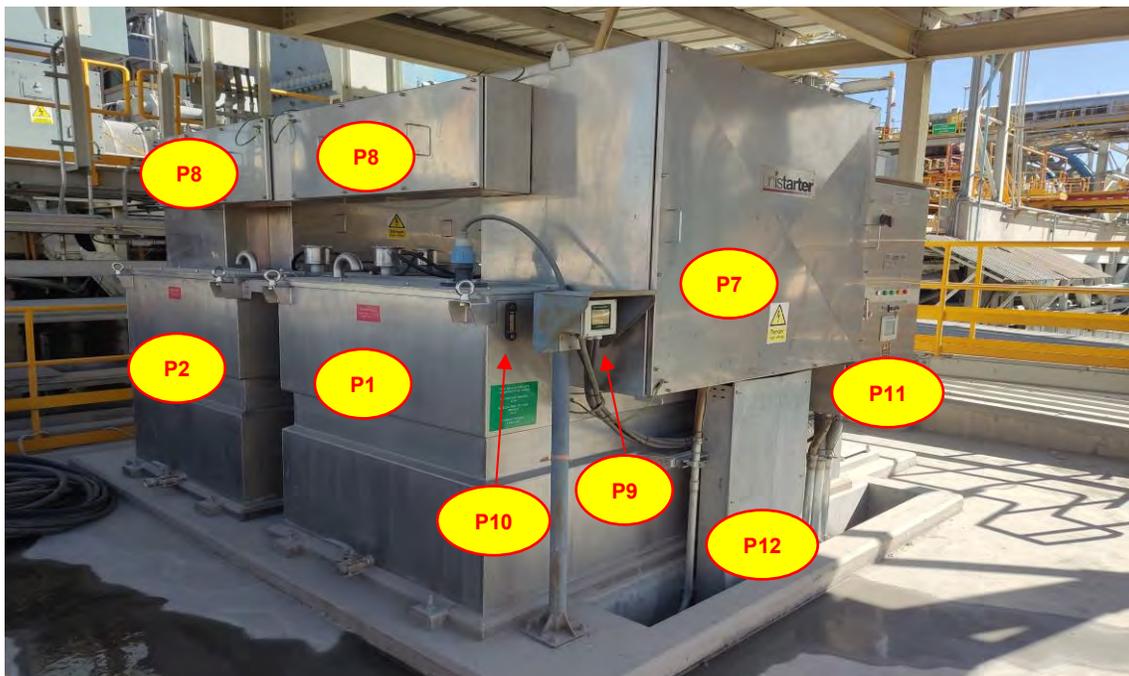
Arrancador de resistencias líquidas LRS – perfil A



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Figura 63

Arrancador de resistencias líquidas LRS – perfil B



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

P1 - Tanque 1:

Aquí va la solución de electrolito, sumergido en ello están los electrodos fijos y móviles que van en serie con las bobinas del rotor del motor principal #1. La capacidad del tanque es de 5000 litros.

P2 - Tanque 2:

Aquí va la solución de electrolito, sumergido en ello están los electrodos fijos y móviles que van en serie con las bobinas del rotor del motor principal #2. La capacidad del tanque es de 5000 litros.

P3 - Bomba de recirculación de electrolito:

La función de este componente es homogenizar la solución del electrolito entre los tanques 1 y 2, con la operación de la bomba se logra tener mismos valores de temperatura y conductividad del electrolito de ambos tanques. El motor que acciona a la bomba es de BT de 4.8kW con arranque directo en 460V.

P4 – Motores de accionamiento de electrodos:

La función de estos motores es de generar el desplazamiento de los electrodos móviles, ya sea para aumentar o disminuir la distancia respecto a los electrodos fijos y en consecuencia variar la resistencia del bobinado del rotor de cada motor de inducción principal. Estos dos motores son controlados por un solo variador de velocidad en 460V, a través de este variador se logra programar el tiempo de arranque de los motores de inducción en 23 segundos, este tiempo es el de diseño de proyecto. Ambos motores deben girar a la misma revolución.

P5 – Indicador visual de posición de electrodos:

Es indicador tiene la función de proporcionarnos en tiempo real la posición real de los electrodos en función al estado de operación de los motores de inducción, este puede ser antes, durante y después del arranque.

Dentro de este indicador visual se tienen los límites de carrear de los electrodos y sensor tipo cuerda de posición de electrodos.

P6 – Compartimiento HV salida de cables de fuerza:

Aquí se tiene la salida de los cables de potencia para el rotor del motor 2, llega al gabinete con sistema de barras desde el contactor de potencia, aquí van alojados los medidores de corriente tipo LEM.

Figura 64

Compartimiento de salida de cables de fuerza



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

P7 – Compartimiento HV contactores de potencia:

Aquí se tiene el contactor de potencia de corto circuito, este es de 6 polos controlado por una sola bobina de cierre, 3 polos para el motor 1 y 3 polos para el motor 2. De este compartimiento salen los cables de potencia para el rotor del motor 2

Figura 65

Compartimiento de contactores de potencia



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

P8 – Compartimiento de barras de interconexión:

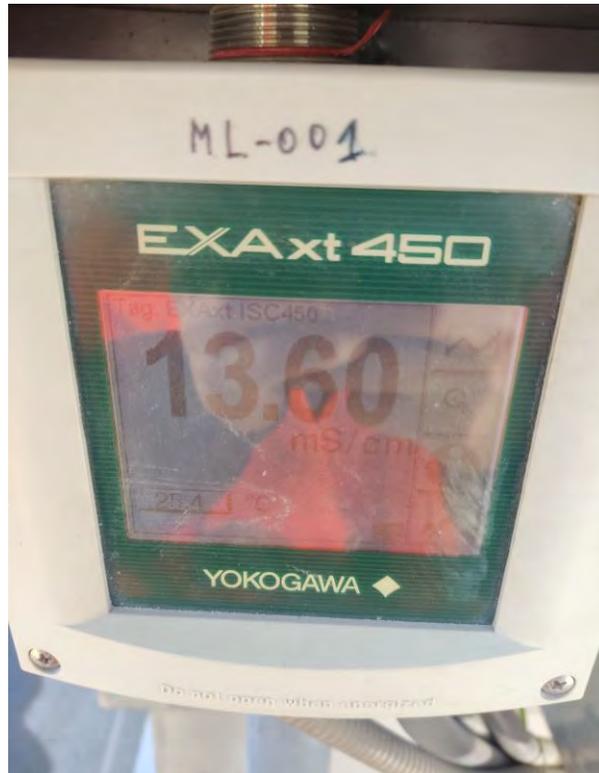
Se tiene la disposición de barras de fuerza que comunican los polos del contactor de potencia hacia el compartimiento de salida de cables de potencia.

P9 – Sensor de conductividad y temperatura de electrolito:

Se tiene un display que muestra en tiempo real el valor de temperatura en °C y conductividad del electrolito en mS/cm.

Figura 66

Valores de conductividad y temperatura de electrolito



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

P10 – Visor de nivel de electrolito en tanque:

Función principal de indicar nivel del electrolito, en total se tienen dos visores, uno en cada tanque. Así mismo este nivel muestra la cantidad de aceite anti evaporante que va en la parte superior del electrolito.

Figura 67

Sensor de nivel de electrolito



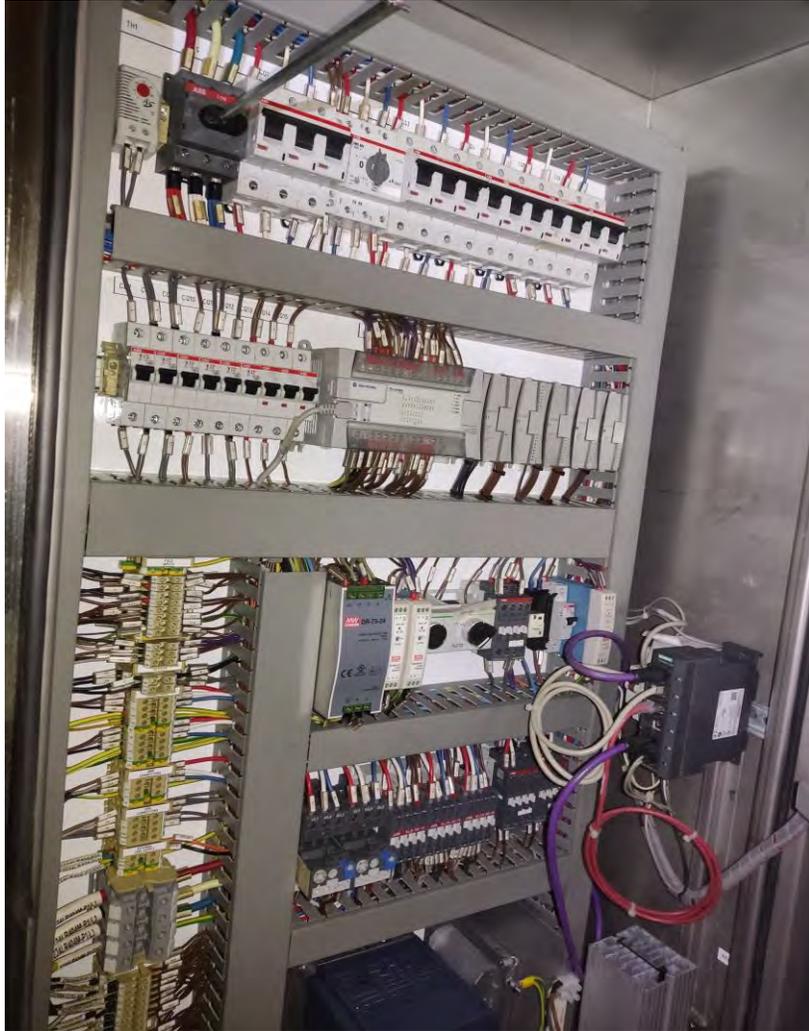
Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

P11 – Gabinete de control y servicios auxiliares:

Aquí llega la alimentación de servicios auxiliares en 460V para fuerza y voltaje de control de 220V y 24Vdc. El compartimiento aloja al variador de velocidad de accionamiento de electrodos, un PLC, relés de secuencia de fase, contactores, guardamotores y demás componentes que logran el control del arrancador.

Figura 68

Gabinete de control y servicios auxiliares de BT del LRS



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

P12 – Bandeja de salida de cables MT hacia motor:

Salida de cables de potencia a través de bandejas, estas bandejas se tienen en ambos tanques.

5.2.4 Composición del electrolito.

El electrolito está conformado por la mezcla de agua destilada o desmineralizada con el carbonato de sodio, cada tanque del LRS contiene 42.9 kg de carbonato de sodio a una concentración del 90%. La preparación de electrolito es de la siguiente manera:

- Primero, llene ambos tanques 1 y 2 con agua destilada hasta la mitad de su capacidad.
- Segundo, haciendo uso de un balde de capacidad de 15 litros llenar de agua destilada a una temperatura de 30 a 40°C y luego agregar 5 kg de carbonato de sodio, proceder con movimiento de la solución para disolver el carbonato de sodio. El electrolito se disuelve de mejor manera en una solución tibia.
- Tercero, agregar a los tanques los 15 litros de electrolito preparado y volver a repetir el segundo paso hasta que tengamos lleno los tanques. Considerando que el valor promedio de conductividad del electrolito deberá ser de 13.544 mS/cm.

5.3 Operación del arrancador de resistencias líquidas LRS.

Para describir la operación del arrancador de resistencias líquidas LRS aplicadas a los motores del molino SAG, es necesario conocer los modos de operación del molino SAG; el primer modo es a velocidad variable (SER Drive) y el otro modo es a velocidad constante (LRS).

5.3.1 Operación modo LRS

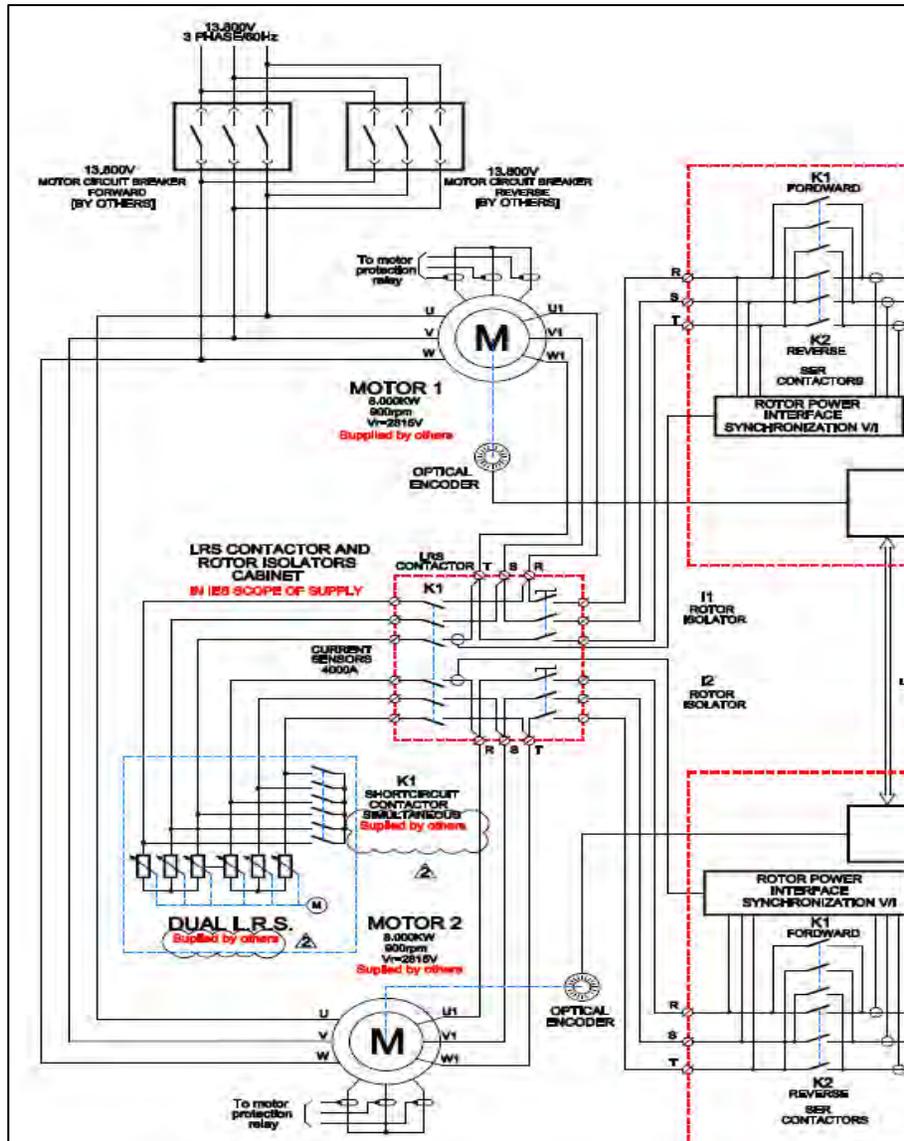
Este modo de operación es netamente para lograr el arranque de los motores y dejarlos estos en velocidad constante dentro de sus velocidades nominales.

El LRS se encarga de hacer un arranque suave de los motores a través de la variación de la resistencia rotórica de los motores de inducción, logrando así durante el arranque tres condiciones importantes en cada motor; alto torque de arranque, baja velocidad y corriente máxima en el rotor de 150%. El proceso de arranque del molino empieza al instante 0 en que la celda de MT se cierra y energiza de forma directa al estator de los motores en 13.8kV, es en ese instante 0 en donde el reóstato líquido empieza a variar la resistencia rotórica en forma descendente por el desplazamiento de los electrodos hasta que estas estén completamente alineadas (distancia 0) en un tiempo de 23 segundos, para ese instante los motores ya habrán alcanzado una velocidad de giro del 95% de su velocidad síncrona, es en esta condición donde se pone en corto circuito el bobinado del rotor quedando fuera de servicio el reóstato líquido y el

los motores de inducción se quedan operando a velocidad constante como un motor de jaula de ardilla.

Figura 69

Diagrama de interconexión del LRS y los motores de inducción



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

5.3.2 Operación modo SER Drive.

Este modo de operación contempla la interacción del arrancador LRS y el variador de velocidad SER Drive, este modo de operación es netamente para tener control de velocidad de

los motores y recuperación de energía a través del deslizamiento. El LRS se encarga de hacer un arranque suave de los motores a través de la variación de la resistencia rotórica de los motores de inducción para luego transferirlo al SER Drive, logrando así durante el arranque tres condiciones importantes en cada motor; alto torque de arranque, baja velocidad y corriente máxima en el rotor de 150%.

El proceso de arranque del molino empieza al instante 0 en que la celda de MT se cierra y energiza de forma directa en 13.8kV al estator de los motores, es en ese instante 0 en donde el reóstato líquido empieza a variar la resistencia rotórica en forma descendente por el desplazamiento de los electrodos hasta que estas estén completamente alineadas (distancia 0) en un tiempo de 23 segundos, para ese instante los motores ya habrán alcanzado una velocidad de giro del 95% de su velocidad síncrona, todo este proceso toma 23 segundos y es a partir de esa condición de 95% de velocidad de giro el arrancador LRS hace la transferencia del circuito rotórico al variador de velocidad SER Drive. A partir de ese momento el molino SAG opera a velocidad variable ya sea en hiper síncrono o sub síncrono (del 85% al 110%). Ahora la ventaja de contar con el LRS, bajo esta condición de operación normal del molino SAG con el SER Drive, si el equipo SER Drive sufre alguna falla, ya sea por daño de algún componente interno (Avería de tarjeta de control, daño de IGCT's, condensadores, circuito snubber, alta temperatura en los componentes, etc) o por falla de la operación del molino (Sobre carga del molino) el sistema SER Drive hará la transferencia automática al LRS y este último se encargará de llevar a la velocidad nominal los motores de inducción y dejarlos en operación a velocidad constante con el bobinado del rotor en corto circuito tal como lo hace en la operación de modo LRS. Para que este proceso de transferencia automática se de manera exitosa sin oscilaciones de torque entre los motores y parte mecánica de accionamiento del molino, el sistema arrancador LRS durante la operación normal del SER drive, este hace constante seguimiento a la velocidad en el que se encuentran los motores, para ello el arrancador hace la variación continua de los electrodos móviles simulando así la resistencia del rotor según la velocidad a la que se encuentren los motores.

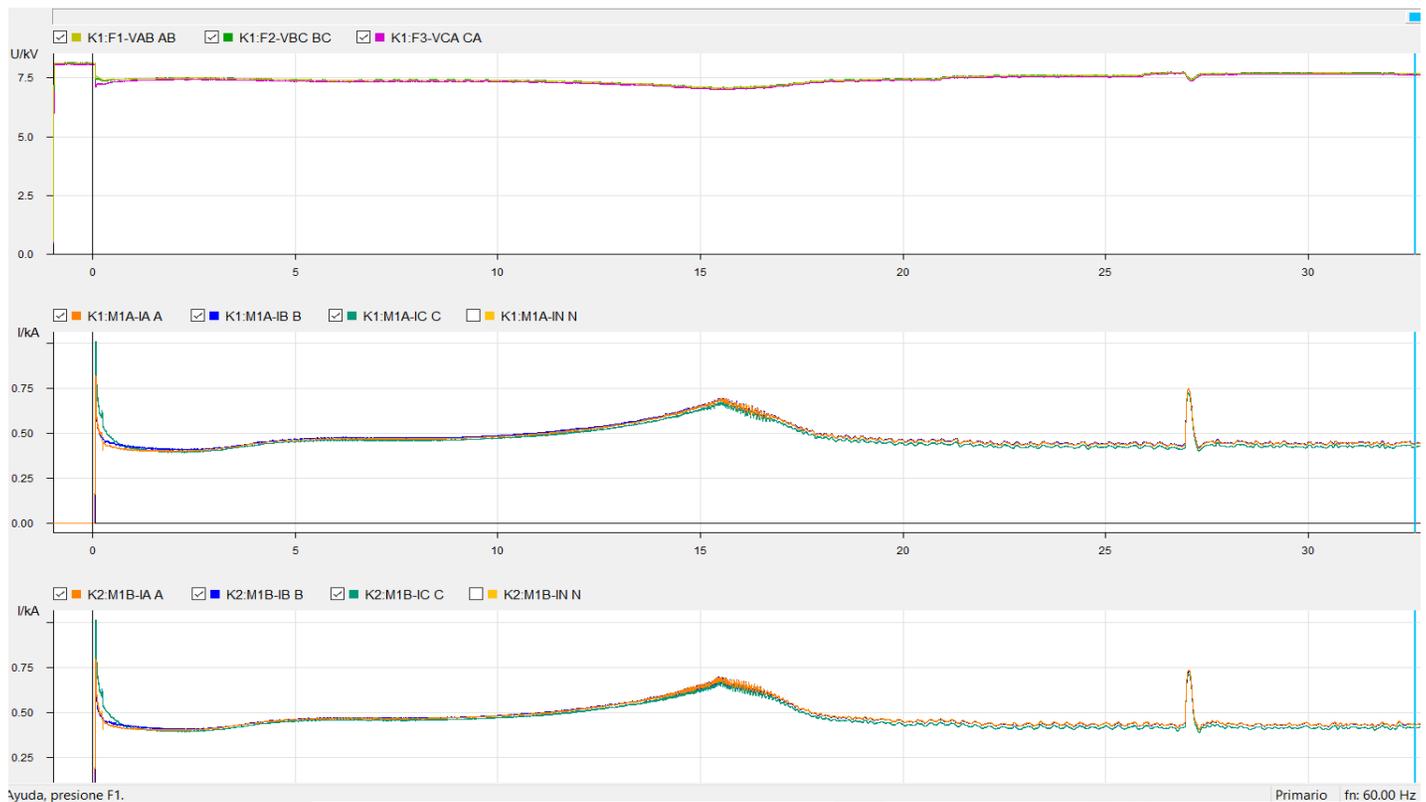
Figura 71

Oscilografías valores de arranque de los motores del Molino SAG. Valores instantáneos de corriente y voltaje en lado estator



Figura 72

Oscilografías de arranque de los motores del Molino SAG. Valores efectivos de corriente y voltaje en lado estator.



Fuente: Elaboración propia en SIGRA, procesado del CompactRio

5.4 Mantenimiento del arrancador de resistencias líquidas LRS

EL arrancador de resistencias líquidas cumple vital importancia antes, durante y después de la puesta en operación del molino SAG, con el arrancador LRS se logra arrancar los motores de inducción de roto bobinado para que de esa forma no se tengan oscilaciones de corriente y tensión en el sistema eléctrico, así mismo una vez que el molino ya se encuentre en operación normal operando con el SER Drive, el LRS será el respaldo de la continuidad de operación (producción) del molino SAG ante una falla intempestiva en el SER Drive.

5.4.1 Enfoque de gestión de mantenimiento.

El desarrollo del mantenimiento del arrancador es de forma preventiva, con el objetivo de no tener fallas intempestivas durante el arranque y operación del molino SAG. Hasta la fecha no se tuvo algún evento de atención de contingencia correctiva en el arrancador LRS, sin embargo,

el área de electricidad de Planta no quita la atención sobre el funcionamiento y estado de cada componente del arrancador LRS, así mismo asegurar la confiabilidad de la mano de obra durante el desarrollo de los mantenimientos preventivos programados en Paradas de plantas.

Los lineamientos para el desarrollo del mantenimiento de equipos eléctricos si rigen en las normativas de la NFPA 70B, la SMRP y la IEEE.

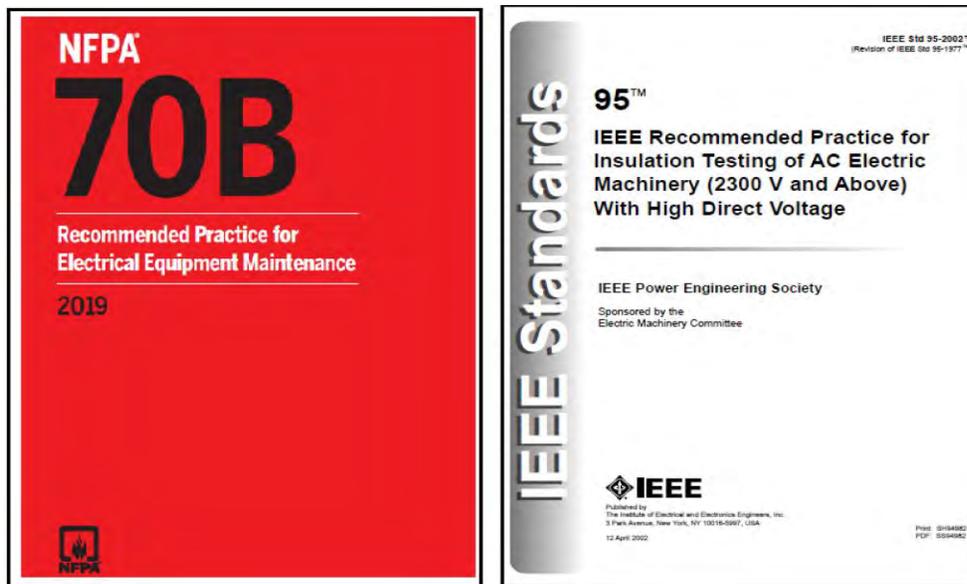
A continuación, se dan algunas definiciones para afianzar el proceso del mantenimiento.

- **Mantenimiento:** Según norma ISO14224 el mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener un componente o a restaurarlo a un estado en que pueda funcionar según se requiera.
- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo, componente o sistema opere sin fallar por un tiempo determinado bajo un contexto operacional definido. Probabilidad de que un sistema o equipo desarrolle satisfactoriamente una función específica por un periodo de tiempo específico y bajo ciertas condiciones operativas.
- **Disponibilidad:** Es la fracción de tiempo que un sistema o componente desarrolla o está listo para desarrollar su función durante un periodo de tiempo requerido.
- **Mantenibilidad:** Es la probabilidad de que un sistema o equipo que ha fallado sea restablecido a su condición operativa en un periodo de tiempo específico. Es la facilidad de dar mantenimiento.
- **Mantenimiento predictivo:** Es una técnica que utiliza recursos informáticos y de tecnología para procesar datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles indicaciones de modos de falla. Termografía, ultrasonido, análisis dinámicos, pruebas estáticas, medición de vibraciones.
- **Confiabilidad Humana:** Probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas durante un proceso de mantenimiento sin errores o fallas derivados del conocimiento y actuar humano.

- **Mantenimiento preventivo:** Es una técnica que va enfocada a proteger las instalaciones ante posibles fallos futuros, esto incluye inspecciones, limpieza, cambio de filtros, cambio de rodamientos o de un componente motor – arrancador por tiempo de trabajo.
- **Mantenimiento correctivo:** Es la forma más básica del mantenimiento, consiste en identificar las averías o fallas para luego corregirlos, este tipo de mantenimiento genera pérdidas en la producción por paradas intempestivas de equipos de producción, así como riesgos de pérdida o deterioro de activos de la empresa (daños catastróficos).

Figura 73

Normas referidas al mantenimiento de equipos eléctricos



Fuente: Recopilación propia

5.5 Desarrollo del mantenimiento del arrancador LRS

Antes del desarrollo del mantenimiento del LRS, primero que todo, se procede con las maniobras de aislamiento, bloqueo y etiquetado de energía eléctrica en el arrancador LRS.

- **Circuito de potencia, lado MT:** Se tiene que hacer apertura del interruptor de potencia para seguidamente abrir de forma manual seccionador de barra de la celda de MT. La celda de MT es el +k02 ubicado en sala eléctrica SS200/250.

- **Circuito de servicios auxiliares y control en BT:** Maniobras de desenergización del interruptor feeder en 460V del cubículo MCC ubicado en sala eléctrica SS205/255.

El detalle de las actividades de mantenimiento es aplicado a los siguientes componentes:

5.5.1 Estructura exterior y cubiertas de compartimientos de potencia.

Inspección y limpieza general de toda la estructura exterior de los compartimientos, esto incluye las cubas de electrolito, compartimiento de contactores de potencia y de bornes de salida de cables a bandejas, tablero de control del arrancador, tapas de los tanques. Aquí lo que se quiere es liberar el polvo, o material ajeno al equipo, para de esa forma no correr riesgos de contaminación del electrolito y demás componentes internos.

Figura 74

Inspección general y limpieza de exteriores del LRS



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

5.5.2 Tanques de electrolito

Se desarrollan trabajos de retiro del electrolito, para ello se requiere una bomba portátil 220V y depósitos IBC's. Primeramente, se debe retirar el aceite anti evaporante que se encuentra en la parte superior del electrolito, este aceite debe ir almacenado en un lugar seguro para después volver a usarlo. Retirado ya el electrolito y aceite antievaporante, se inician con los trabajos de limpieza general de las estructuras internas y electrodos.

Figura 75

Limpieza interna del tanque de electrolito del LRS



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

5.5.3 Electrodo fijos y móviles

- Desmontaje de cubiertas del compartimiento del sistema de accionamiento mecánico de los electrodos móviles.

- Verificación de buen estado de tornillo sin fin de accionamiento de electrodos, pruebas en los limit switches superiores e inferiores de los electrodos.
- Aplicación de grasa al tornillo sin fin, hacer el test de arranque del LRS en vacío y verificar posibles ruidos, vibraciones, asegurar que el movimiento de los electrodos sea parejos y sincronizados. Durante el accionamiento manual comprobar la subida y bajada de electrodos
- Verificación de correcto estado de sensor tipo cuerda para posición de electrodos. Toma de características, análisis de modo de instalación y calibración de sensor. Este tipo de sensor es muy robusto, de alta confiabilidad, por lo que es poco probable el cambio, sin embargo, si llegara a cambiarse, el nuevo sensor a instalarse deberá tener las mismas características.
- Verificar correcta sincronización de desplazamiento de los electrodos, tanto en el motor 1 como en el motor 2. Es importante para la integridad de las partes mecánicas del molino que los motores giren a misma velocidad y torque.

Figura 76

Disposición del grupo de electrodos móviles y fijos



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

5.5.4 Sensores de posición y fines de carrera

- Inspección de buen estado del sensor tipo cuerda para posición de electrodos, este sensor manda señal analógica de 4 a 20mA hacia el PLC.
- Identificar posibles desgaste o distensión en la cuerda. Aunque el sensor es bastante robusto, sería conveniente tener algún repuesto preparado en el almacén.
- Comprobar la detención del movimiento de los electrodos en diferentes situaciones diferentes a la normalidad.

Esas pruebas deben resultar de la siguiente manera:

Se activan uno de los finales de carrera antes de que se alcance la posición final.

Se activan a la vez el final de carrera de la posición inicial y final.

En cualquiera de estas situaciones el sistema debe detenerse dando fallo en el PLC, por tanto, la lógica del PLC asociada a los finales de carrera es correcta y la lectura de las señales.

Figura 77

Sistema de sensor de posición y limit switches de electrodos



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Figura 78

Inspección y pruebas de limit switch y sensores de electrodos



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

5.5.5 Contactores de potencia para corto circuito.

- Inspección general de los contactores de potencia de corto circuito, aquí se verifica el buen estado de ajuste, retorqueo de pernos de fijación de barras de potencia en los terminales.
- Mantenimiento de contactos fijos y móviles, aquí se aplica lijador #1000, limpieza de los disipadores de arco eléctrico, calibración y ajuste de contactos auxiliares.
- Hacer pruebas de apertura y cierre de contactos de potencia, medir y registrar las resistencias de contacto con equipo Micro ohmímetro.

Figura 79

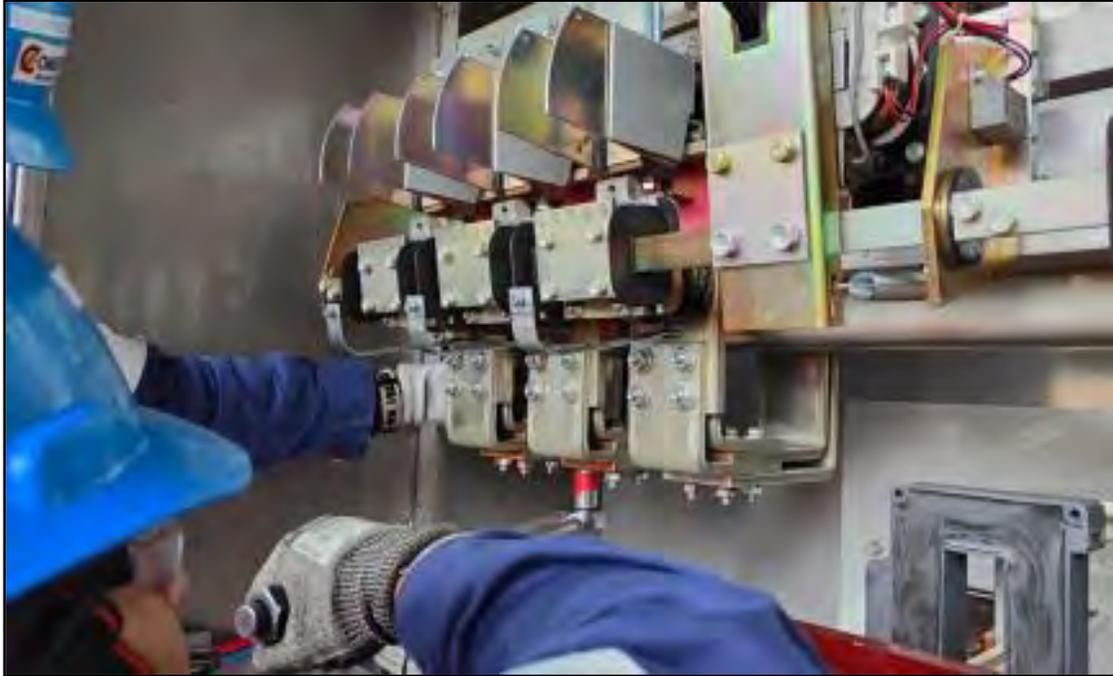
Compartimiento de contactor de potencia para corto circuito de rotor



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

Figura 80

Mantenimiento de contactores de potencia



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

Figura 81

Estado de contactos fijos y móviles antes y después del mantenimiento



Fuente: Unidad Minera Constanca de Hudbay Perú S.A.C

Figura 82

Verificación de ajuste de terminales y retorqueo cables de fuerza



Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

5.5.6 Bomba de recirculación de electrolito

La bomba de recirculación de electrolito es del tipo centrífugo con motor de inducción de jaula de ardilla. Este sistema se encarga de homogenizar la temperatura y solución de carbonato de sodio del electrolito en los dos tanques, de esta obtenemos resistividades iguales para cada tanque.

- Inspección de estado de conexionado en caja de bornes de cada motor, pruebas de aislamiento de motor eléctrico, verificar libre giro del eje y asegurar buen ajuste de terminales de fuerza y buen estado de tuberías flexibles.
- Verificación de nivel de electrolito, en caso se requiera agregar, se procederá a preparar el electrolito con agua desmineralizada y carbonato de sodio al 90% de concentración. Para esa actividad se tiene un procedimiento específico.

5.5.7 Motor de accionamiento de electrodos

El arrancador LRS cuenta con 2 motores que accionan a simultáneamente a los electrodos móviles, el movimiento de estos motores va sincronizados eléctricamente a través de un sólo variador de velocidad en BT.

- Inspección de estado de conexionado en caja de bornes de cada motor, pruebas de aislamiento de motor eléctrico, verificar libre giro del eje y asegurar buen ajuste de terminales de fuerza y buen estado de tuberías flexibles.

En el área se maneja un formato de protocolo de pruebas estáticas, esto involucra las pruebas en DC

Figura 83

Resumen de pruebas estáticas a motores eléctricos

Pruebas Eléctricas

- Balanceo Resistivo.
Referencia IEEE 118 / EASA 2020
- Resistencia de aislamiento
Referencia: IEEE 43
- Índice de Polarización o Absorción Dieléctrica
Referencia: IEEE 43
- Alto Voltaje (Hipot) en Escalón
Referencia: IEEE 95 / NPFA 70B 2019 / EASA 2020
- Prueba de Impulso (Surge)
Referencia IEEE 522 / NPFA 70B 2019 / EASA 2020
- Medición de Inductancia y Capacitancia
Referencia: IEEE 1415
- Medición de Descargas Parciales
Referencia: IEC 61934

Logos: IEEE, IEC, EASA (The Electro-Mechanical Authority), Megger Baker Instruments, NPFA 70B Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance 2019.

Fuente: Manual de entrenamiento de Megger

Figura 84

Consideraciones de la norma para pruebas estáticas

“EASA STANDARD AR100-2020 RECOMMENDED PRACTICE FOR THE REPAIR OF ROTATING ELECTRICAL APPARATUS”

TABLE 4-2. RECOMMENDED MINIMUM INSULATION RESISTANCE VALUES AT 40°C (All Values in MΩ)

Minimum Insulation Resistance	Test Specimen
$IR_{1min} = kV + 1$	For most windings made before about 1970, all field windings, and others not described below.
$IR_{1min} = 100$	For most AC windings built after about 1970 (form-wound coils).
$IR_{1min} = 5$	For most machines with random-wound stator coils and form-wound coils rated below 1 kV and DC armatures.

Notes:

1 IR_{1min} is the recommended insulation resistance, in megohms, at 40°C of the entire machine winding.

2 kV is the rated machine terminal-to-terminal voltage, in rms kV.

Reference: IEEE Std. 43, Table 3.

TABLE 4-1. GUIDELINES FOR DC VOLTAGES TO BE APPLIED DURING INSULATION RESISTANCE TEST

Winding Rated Voltage (V) ^a	Insulation Resistance Test Direct Voltage (V)
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12,000	2500 - 5000
>12,000	5000 - 10,000

^a Rated line-to-line voltage for three-phase AC machines, line-to-ground (earth) for single-phase machines, and rated direct voltage for DC machines or field windings.

Reference: IEEE Std. 43, Table 1.

1. Pruebas de Balanceo de Resistencia

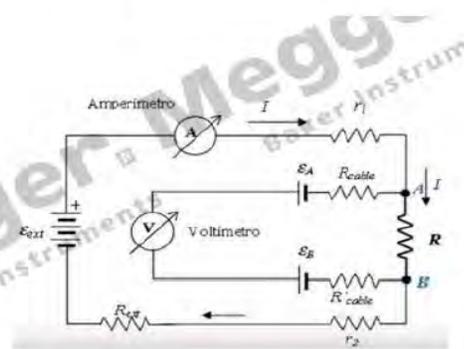
$$\frac{\text{Max desviación del promedio}}{\text{promedio}}$$

Tipo de Bobina:

Random (Alambre) < 2% del promedio

Preformada < 1% del promedio

Algunos devanados Concéntricos superan el 2%



FUENTE: EASA AR-100-2020. CSA C392

IEEE 118

Fuente: Manual de entrenamiento de Megger

5.5.8 Lista de componentes del arrancador LRS.

Las fallas aleatorias que puedan darse en el arrancador, ya sean por mala operación del equipo, falla del sistema eléctrico o por una mala gestión del mantenimiento, exigen que contemos con un stock mínimo de materiales/repuestos disponibles en mina para poder reemplazar y poner en servicio el sistema, por ello en el sistema SAP ERP de la empresa se tiene la gestión de los repuestos conforme al listado de componentes del arrancador LRS. La tabla 4 muestra el listado de componentes vistos desde el SAP.

- SAP: Systemanalyse Programmentwicklung, que se traduce como "desarrollo de programas de sistemas de análisis"
- ERP: Representa a las siglas en inglés "enterprise resource planning" que se traduce como "planificación de recursos empresariales"

Cualquier falla que podría darse en el arrancador LRS, este puede identificarse haciendo lectura del troubleshooting del SER Drive – LRS del molino SAG (Ver anexo 4) conjuntamente con la interpretación de los planos de control y fuerza del arrancador LRS (anexo3).

Como parte de la gestión de mantenimiento que se mencionó en los ítems anteriores, en el anexo 5 se adjunta una orden de trabajo de mantenimiento preventivo del LRS.

Tabla 5

Lista de componentes del LRS

Material	Ubic.	Número de material	UMB	Libre util	Consig-libre util	Alm.	NºFb	NºMaterial antiguo	Fabricante
10002911	A3-0602B04	LRS, UPPER OR LOWER LIMIT SWITCH	UN	11.000	0.000	0001	02XCKM115H29	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002919	A5-0403D01	LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION SHROUD	UN	4.000	0.000	0001	02CE60436C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002920	A5-0403D01	LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION	UN	4.000	0.000	0001	02CE60424C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002930	A5-0207C08	LRS, VISUAL LEVEL INDICATOR	UN	4.000	0.000	0001	02MHS00547	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002935	A5-0403B01	LRS, FIXED ELECTRODE SUPPORT EPM	UN	4.000	0.000	0001	02DE60857CSS	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002936	A5-0404A01	LRS, MOVING ELECTRODE CUIDE EPM	UN	4.000	0.000	0001	02HST11P	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002993	A5-0601C08	SER DRIVE, LRS CURRENT MEASUREMENT PCB	UN	3.000	0.000	0001	IES-132/14-73	3221-XE-LCP1	IES
10002912	A5-0607A08	LRS, DUAL FLOAT SWITCH	UN	3.000	0.000	0001	02LDDUAL330	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002915	A5-0408A02	LRS, RIGHT HAND CONTROL SCREW AND NUT	UN	3.000	0.000	0001	02PEB60247-000	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002916	A5-0407E08	LRS, MOVING ELECTRODE FIXING RODS	UN	3.000	0.000	0001	02DD6002883	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002917	A5-0604C10	LRS, LOWER DRIVE BEARING	UN	3.000	0.000	0001	02SR00224	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002927	A5-0605C12	LRS, COUPLING MOTOR/CONTROL SCREW	UN	3.000	0.000	0001	02DF60235B	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002929	A5-0606B01	LRS, BEVEL GEARS	UN	3.000	0.000	0001	020E60340C1	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002910	A5-0607C22	LRS, UPPER DRIVE BEARING	UN	2.000	0.000	0001	02SR00225	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002914	A5-0408A02	LRS, LEFT HAND CONTROL SCREW AND NUT	UN	2.000	0.000	0001	02PEB60247-001	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002918	A5-0407A07	LRS, MOVING ELECTRODE FIXING RODS	UN	2.000	0.000	0001	02DD6002BB1	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002924	A5-0602C01	LRS, SHORTING CONTACTOR COIL 220VAC 60Hz	UN	2.000	0.000	0001	02FPL8601550R6065	3221-ML-001	ABB
10002928	A5-0402E08	LRS, NEUTRAL POINT CONNECTION EPM 3/4	UN	2.000	0.000	0001	020E60340C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002931	A5-0402E08	LRS, ELECTRODE GUIDE SUPPORT EPM 3/4	UN	2.000	0.000	0001	02DE60311CSS	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002938	A5-0601A06	LRS, ROTOR CURRENT HALL EFFECT CT L1-L3	UN	2.000	0.000	0001	02HA26000-SBI	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002940	A5-0502C05	LRS, CARDEN TRANSMISSION BEARINGS	UN	2.000	0.000	0001	02SR00116	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002941	A5-0402E06	LRS, ELECTROLYTE IMMERSION HEATERS	UN	2.000	0.000	0001	021H3X1000W-460V	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002942	A5-0603E07	LRS, VARIABLE FREQUENCY DRIVE 3.7kW	UN	2.000	0.000	0001	02FRN3.7E1E-4A	3221-ML-001	FUJI
10002943	A5-0607D02	LRS, VARIABLE FREQUENCY DRIVE 1.5kW	UN	2.000	0.000	0001	FRN3.5E1E-4A	3221-ML-001	FUJI
10002945	A5-0109C03	LRS, 24VDC POWER SUPPLY 3.2A	UN	2.000	0.000	0001	DR7524	3221-ML-001	MEANWELL
10002906	A5-0605B14	LRS, PIPE FLANGE EARTH BRAID	UN	1.000	0.000	0001	02BRAID70-375-18	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002907	A5-0605B14	LRS, TANK EARTH BRAID	UN	1.000	0.000	0001	02BRAID70-375-11	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002908	A5-0605B14	LRS, DOU FLANGE EARTH BRAID	UN	1.000	0.000	0001	02BRAID70-375-25	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002909	A5-0606E02	LRS, ELECTRODE POS. LINEAR TRANSDUCER	UN	1.000	0.000	0001	02PT6420-Q020-121-1110	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002913	A5-0502D02	LRS, PT100 DUPLEX RTD	UN	1.000	0.000	0001	02RTDDOU	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002921	A5-0403D01	LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION SHROUD	UN	1.000	0.000	0001	02CE60423C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002922	A5-0606E08	LRS, RUBBER BELDWS 80 NB O TYPE	UN	1.000	0.000	0001	02RUBBERBELOW80	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002925	A1-0202D01	LRS, SHORTING CONTACTOR	UN	1.000	0.000	0001	02FORR210060NSPJ	3221-ML-001	ABB
10002926	A1-0205B01	LRS, SHORTING CONTACTOR COIL 220VAC 60Hz	UN	1.000	0.000	0001	02FPL9101550R6605	3221-ML-001	ABB
10002933	23-01A0402	LRS, ELECTRODES MOVING EPM 2	UN	1.000	0.000	0001	02DM600029-001	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002934	23-01A0402	LRS, ELECTRODES FIXED EPM 3/4	UN	1.000	0.000	0001	02DW600026-001L	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002937	A5-0503A03	LRS, ROTOR CURRENT HALL EFFECT CT L2	UN	1.000	0.000	0001	02L22005S	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002939	A5-0403B02	LRS, CARDEN SHAFT EPMA 4	UN	1.000	0.000	0001	02415SSSP	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002944	A5-0602A03	LRS, CONTROL TRANSFORMER 500VA	UN	1.000	0.000	0001	RADA-META	3221-ML-001	RADA-META
50000454	24-0104B01	LRS, MOTOR BOMBA, 4.8KW, 1745RPM RECIRCUL	UN	1.000	0.000	0007	NBG 125-80-160/154 A-E-D BQOE	LR001/002/003/004	GRUNDFOS
10002993		SER DRIVE, LRS CURRENT MEASUREMENT PCB	UN	0.000	0.000	0004	IES-132/14-73	3221-XE-LCP1	IES
10002906		LRS, PIPE FLANGE EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0003	02BRAID70-375-18	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002906		LRS, PIPE FLANGE EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0004	02BRAID70-375-18	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002907		LRS, TANK EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0003	02BRAID70-375-11	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002907		LRS, TANK EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0004	02BRAID70-375-11	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002908		LRS, DOU FLANGE EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0003	02BRAID70-375-25	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002908		LRS, DOU FLANGE EARTH BRAID	UN	0.000	0.000	0004	02BRAID70-375-25	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002909		LRS, ELECTRODE POS. LINEAR TRANSDUCER	UN	0.000	0.000	0003	02PT6420-Q020-121-1110	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002909		LRS, ELECTRODE POS. LINEAR TRANSDUCER	UN	0.000	0.000	0004	02PT6420-Q020-121-1110	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002910		LRS, UPPER DRIVE BEARING	UN	0.000	0.000	0003	02SR00225	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002910		LRS, UPPER DRIVE BEARING	UN	0.000	0.000	0004	02SR00225	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002911		LRS, UPPER OR LOWER LIMIT SWITCH	UN	0.000	0.000	0003	02XCKM115H29	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002911		LRS, UPPER OR LOWER LIMIT SWITCH	UN	0.000	0.000	0004	02XCKM115H29	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002912		LRS, DUAL FLOAT SWITCH	UN	0.000	0.000	0003	02LDDUAL330	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002912		LRS, DUAL FLOAT SWITCH	UN	0.000	0.000	0004	02LDDUAL330	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002913		LRS, PT100 DUPLEX RTD	UN	0.000	0.000	0003	02RTDDOU	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002913		LRS, PT100 DUPLEX RTD	UN	0.000	0.000	0004	02RTDDOU	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002914		LRS, LEFT HAND CONTROL SCREW AND NUT	UN	0.000	0.000	0003	02PEB60247-001	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002914		LRS, LEFT HAND CONTROL SCREW AND NUT	UN	0.000	0.000	0004	02PEB60247-001	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002915		LRS, RIGHT HAND CONTROL SCREW AND NUT	UN	0.000	0.000	0003	02PEB60247-000	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002916		LRS, MOVING ELECTRODE FIXING RODS	UN	0.000	0.000	0003	02DD6002883	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002917		LRS, LOWER DRIVE BEARING	UN	0.000	0.000	0003	02SR00224	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002918		LRS, MOVING ELECTRODE FIXING RODS	UN	0.000	0.000	0003	02DD6002BB1	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002919		LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION SHROUD	UN	0.000	0.000	0003	02CE60436C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002920		LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION	UN	0.000	0.000	0003	02CE60424C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002921		LRS, FIXED ELECTRODE CONNECTION SHROUD	UN	0.000	0.000	0003	02CE60423C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002922		LRS, RUBBER BELDWS 80 NB O TYPE	UN	0.000	0.000	0003	02RUBBERBELOW80	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002923		LRS, SHORTING CONTACTOR CRUSHER	UN	0.000	0.000	0001	02FORR100030NSPJ	3221-ML-001	ABB
10002924		LRS, SHORTING CONTACTOR COIL 220VAC 60Hz	UN	0.000	0.000	0003	02FPL8601550R6065	3221-ML-001	ABB
10002927		LRS, COUPLING MOTOR/CONTROL SCREW	UN	0.000	0.000	0003	02DF60235B	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002928		LRS, NEUTRAL POINT CONNECTION EPM 3/4	UN	0.000	0.000	0003	020E60340C	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002929		LRS, BEVEL GEARS	UN	0.000	0.000	0003	020E60340C1	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002930		LRS, VISUAL LEVEL INDICATOR	UN	0.000	0.000	0003	02MHS00547	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002931		LRS, ELECTRODE GUIDE SUPPORT EPM 3/4	UN	0.000	0.000	0003	02DE60311CSS	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002932	23-01A0402	LRS, ELECTRODES MOVING EPM 3/4	UN	0.000	0.000	0001	020600027001L	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002932		LRS, ELECTRODES MOVING EPM 3/4	UN	0.000	0.000	0003	020600027001L	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002933		LRS, ELECTRODES MOVING EPM 2	UN	0.000	0.000	0003	02DM600029-001	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002934		LRS, ELECTRODES FIXED EPM 3/4	UN	0.000	0.000	0003	02DW600026-001L	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002935		LRS, FIXED ELECTRODE SUPPORT EPM	UN	0.000	0.000	0003	02DE60857CSS	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002936		LRS, MOVING ELECTRODE CUIDE EPM	UN	0.000	0.000	0003	02HST11P	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002937		LRS, ROTOR CURRENT HALL EFFECT CT L2	UN	0.000	0.000	0003	02L22005S	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002938		LRS, ROTOR CURRENT HALL EFFECT CT L1-L3	UN	0.000	0.000	0003	02HA26000-SBI	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002939		LRS, CARDEN SHAFT EPMA 4	UN	0.000	0.000	0003	02415SSSP	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002940		LRS, CARDEN TRANSMISSION BEARINGS	UN	0.000	0.000	0003	02SR00116	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002941		LRS, ELECTROLYTE IMMERSION HEATERS	UN	0.000	0.000	0003	021H3X1000W-460V	3221-ML-001	CSE-UNISER
10002942		LRS, VARIABLE FREQUENCY DRIVE 3.7kW	UN	0.000	0.000	0003	02FRN3.7E1E-4A	3221-ML-001	FUJI
10002943		LRS, VARIABLE FREQUENCY DRIVE 1.5kW	UN	0.000	0.000	0003	FRN3.5E1E-4A	3221-ML-001	FUJI
10002944		LRS, CONTROL TRANSFORMER 500VA	UN	0.000	0.000	0003	RADA-META	3221-ML-001	RADA-META
10002945		LRS, 24VDC POWER SUPPLY 3.2A	UN	0.000	0.000	0003	DR7524	3221-ML-001	MEANWELL

Fuente: Unidad Minera Constancia de Hudbay Perú S.A.C

CONCLUSIONES.

- 1º. El área de Molienda de la U.M Constancia tiene un consumo nominal de diseño promedio de 71MW, donde las cargas más representativas son los molinos SAG y molinos de Bolas, dos de cada uno, siendo el consumo de cada molino de 16MW (Dos motores de 8MW).
- 2º. El arrancador de resistencias líquidas LRS, para nuestra aplicación, sólo puede ser utilizado para el arranque de los motores de inducción de rotor bobinado, no está diseñado para el control de velocidad en régimen de operación normal.
- 3º. El arrancador de resistencias líquidas LRS es un equipo de alta confiabilidad, sus componentes son más robustos en comparación de un variador de velocidad. Su comportamiento respecto a las bobinas rotórica puede ser modificado en función a los diferentes valores de conductividad que podemos darle al electrolito, así como la variación de la velocidad de movimiento de los electrodos móviles.
- 4º. La gestión de mantenimiento del arrancador de resistencias líquidas LRS es de gran importancia, un fallo considerable en uno de los componentes de potencia puede poner fuera de servicio el molino SAG por horas, días o semanas según la criticidad de la falla. El arrancador posee la característica particular de que puede arrancar simultáneamente dos motores de idénticas características, bajo esa condición, se debe tener mayor cuidado y atención a sus componentes de potencia y auxiliares, una mala sincronización de los electrodos podría llevar a daños catastróficos en el sistema de accionamiento mecánico del molino. Los motores al funcionar en forma simultánea con una sola carga (Molino SAG), estos deberán estar a la misma velocidad y el mismo torque.

BIBLIOGRAFÍA.

- CH APMAN. 2005. Máquinas eléctricas. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- FLSmith. 2013. Manual de instalación, Operación y mantención del molino SAG.
- International Electronics S.A. Manual de operación y mantenimiento del SER Drive.
- Jesús Fraile Mora. 2008. Máquinas eléctricas, sexta edición. Madrid: McGraw-Hill Interamericana
- RODRÍGUEZ POZUETA, M.A. 2017. Arranque de motores asíncronos. Santander: Universidad de Cantabria (España):
- Unistarter, Liquid Resistance Starter Operation and maintenance manual.

ANEXOS

ANEXO 1

Planos unifilares del sistema eléctrico general de la planta concentradora de la U.M

Constancia – Barra A y Barra B

ANEXO 2.

Hoja técnica de fabricante del motor de inducción de rotor bobinado

SPECIFICATION TABLE OF 3-PHASE SLIP-RING INDUCTION MOTOR	CUSTOMER		USER	
	INQ. NO.	CB01850	EQUIPMENT	
	JOB NO.	FE129852T1,FE12A852T1 FE12B852T1,FE12B853T1,FE12C851T1	MACHINE	
	TOTAL SETS	8	ITEM NO.	

Item	Terms	Description				
1	Model	AEZH-S2				
2	Code or Standard	Dimensions	Frame Assignment	Performance	Test	
		IEC	TWMC	TWMC	NEMA/ANSI/IEEE	
3	Rating	8000 kW 8 Pole 13800 Volt 3 Phase 60 Hz				
4	Service Duty	Continuous Rating				
5	Starting Method	D.O.L With Sec. Resistor Starting				
6	Rotation	Facing The Drive End : CW, Available for Bi-Direction				
7	Drive Method	Direct Coupling				
8	Environment	Amb. Temp.: -20 ~ 30 °C				
		Humidity : Less Than 95 %RH				
		Altitude : Up to 4100 M				
9	Enclosure & Protection	IPW55 : Totally Enclosed		Outdoor		
10	Cooling	IC666				
11	Mounting	IM1001 : HS, Foot (B3)				
12	Dimensions	Dr# 3A040P971 (REV.04)	Frame No :1120			
13	Frame & Bracket	Frame : Steel Plate	Bracket : Steel Plate			
14	Fan & Fan Cover	Fan:Multi Wing Z Series	Fan Cover:Steel Plate			
15	Terminal Box	Stator : Steel Plate	Rotor : Steel Plate			
16	Lead Terminals	Stator : (TLK120-16)X8	Rotor : [(TLK150-16)X4]X3			
17	Lubricant	Oil Viscosity : ISO VG68				
18	Painting	Color : MUNSELL 7.5B 3.5/0.5				
19	Stator Winding	Ins. Class F				
20	Rotor Winding	Ins. Class F				
21	Slip-ring Device	Cast Bronze	Totally Enclosed	Internal	Mounting	
		Without	Brush Lifting & Short Circuiting Device			
		Continuous Rating				
22	Carbon Brush	Metallic Graphite	30	Pcs (10 Pcs/Phase)		
23	Secondary Data	Open Voltage	2815 V/L-L	FL Sec. Amp.	1647 A	
24	Starting Performance	LRC/FLC 150 % LRT/FLT 150 % With St. Resistor				
25	Operating Performance	Hz/V	60/13800			Break Down Torque
		%Load	100	75	50	250 %FLT
		Amp.	408	320	241	Temp. Rise Limit.
		Eff.%	97.0	96.4	95.1	Stator 88 °C Resist
		P.F.%	84.5	81.5	73.0	Rotor 88 °C Resist
		R.P.M.	896	897	898	AT 4100M
26	Rotor Inertia	GD^2 : 12809 Kg-m^2				
27	Approximate Weight	Motor : 56000 kg				
28	Note	FINAL				
Note : [*] at the end represent revised item .						

APPD.	Avis Li	DEC. 26 2012
CHKD.	H.CHEN	DEC. 26 2012
DWN.	Kevin Huang	DEC. 24 2012

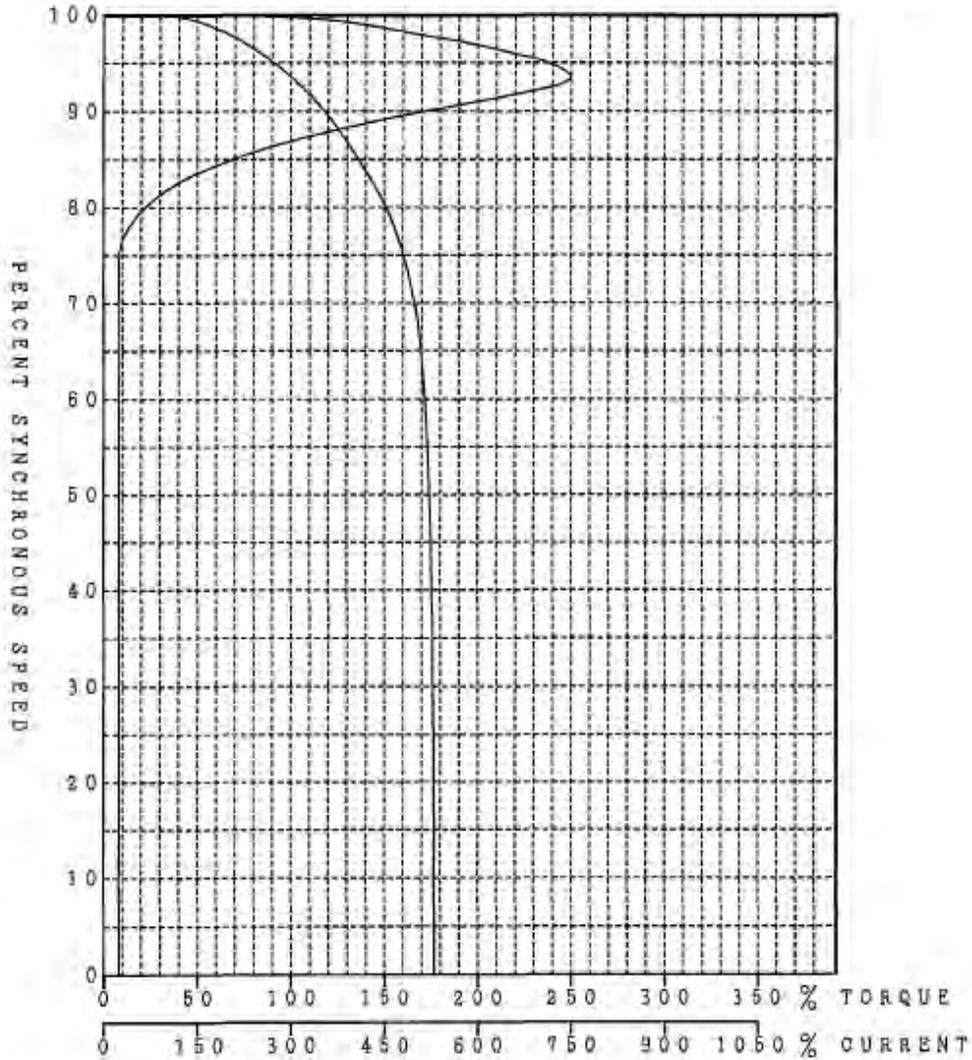
TECO  **Westinghouse**

DWG NO.
3A057H237-06730
REV.07 1/2

INDUCTION MOTOR STARTING CHARACTERISTICS

T-N/I-N CURVE

TYPE: AEZH	KW: 8000	VOLTS: 13800	ORDER NO: FE129852T1
HZ: 60	POLES: 8	RPM (FLS): 896	FE12A852T1
			FE128852T1
			FE12B853T1
			FE12C851T1



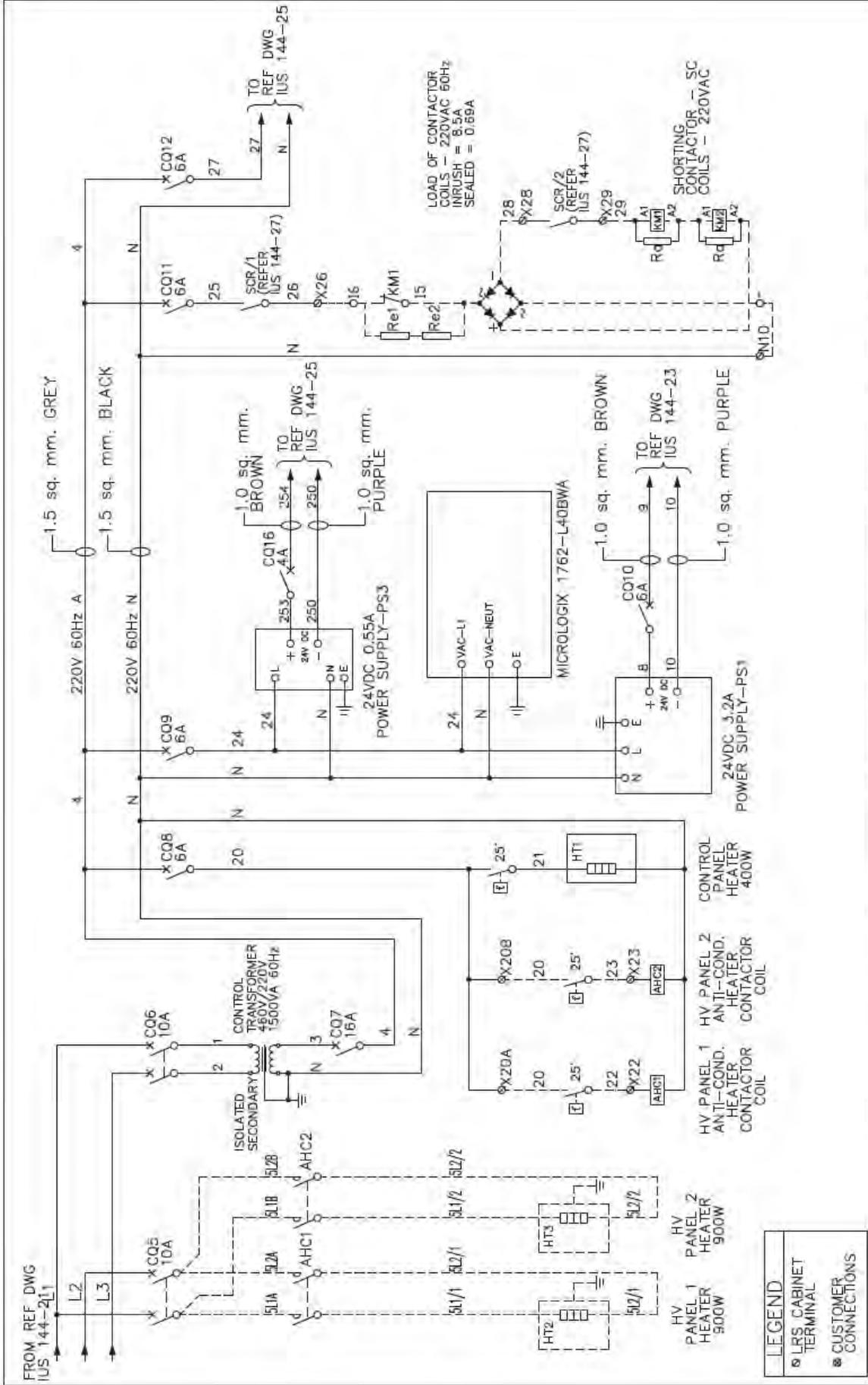
FINAL

DWG.	ERIC LU	20120215
APPD.	T. B8140	20120215

TECO® Westinghouse

DWG NO. REV: 00
FE129852T1
T-I-N

ANEXO 3.
Planos de fuerza y control del arrancador LRS



REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0	30.04.13	AS	BUILT
1		NTS	ISSUED
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

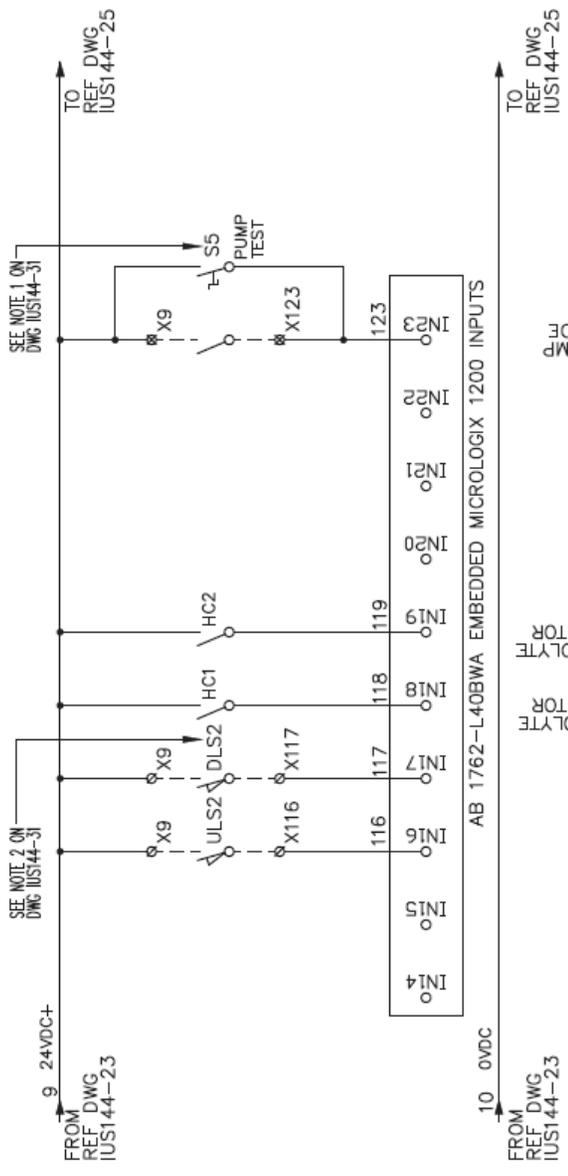
REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

REV	DATE	BY	DESCRIPTION
0			
1			



LEGEND	
○	LRS CABINET TERMINAL
⊗	CUSTOMER CONNECTIONS

EMBEDDED DIGITAL INPUTS

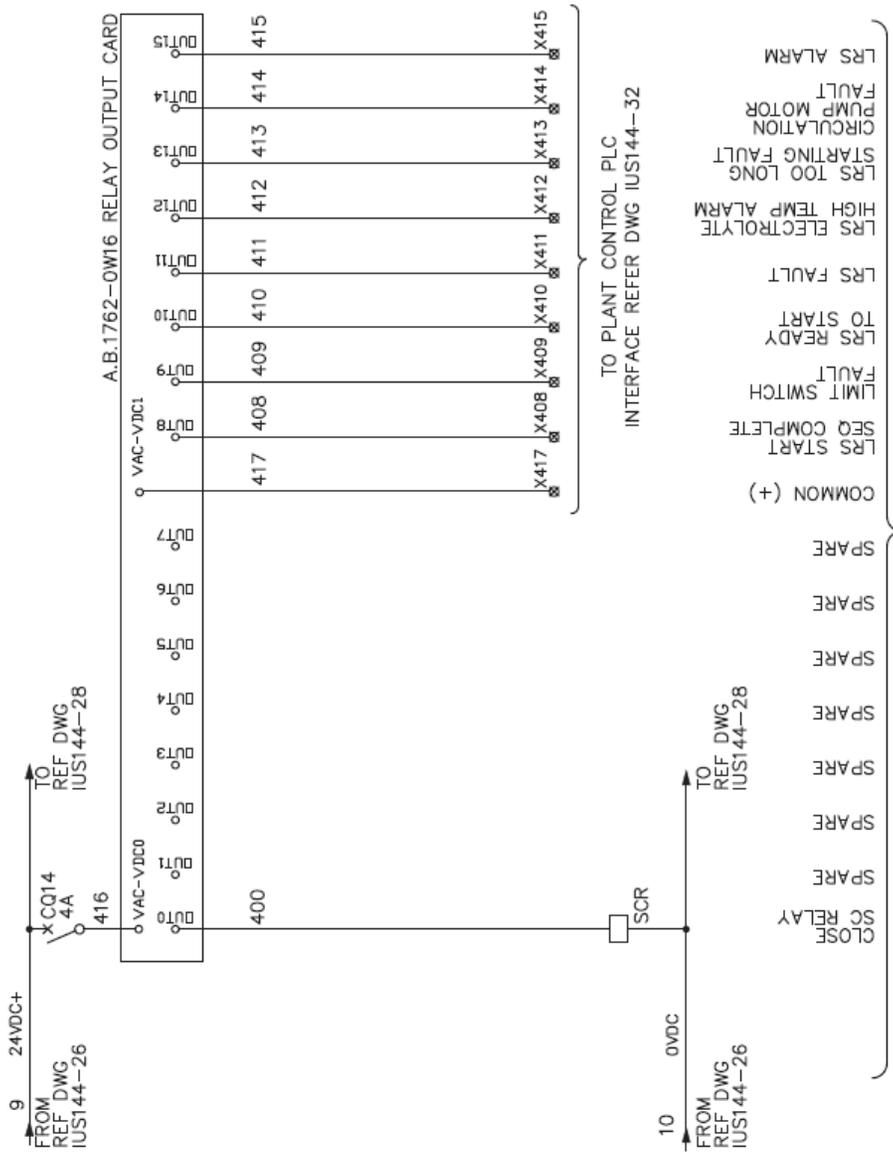
REV. DATE	BY	REVISION DESCRIPTION
0 20.04.13 AD	AS BUILT	

ENGINEER	DATE	DRAWING TITLE
BH	27.06.2012	CONSTANCIA PROJECT
AD	27.06.2012	SAG MILL No 1 TO 4
LD	27.06.2012	DUAL SECONDARY LIQUID RESISTANCE STARTER
LD	27.06.2012	DIGITAL CONTROL INPUTS SHEET 2 OF 2
JOB No.	IUS 144	SCALE
CAD REF.	IUS 144-24	DRAWING NUMBER
		NTS
		IUS 144-24
		REV.
		0

THIS PROGRAM, SITE PROPERTY OF CSE-UNIVERSE IS STRICTLY CONFIDENTIAL. IT MUST NOT BE COMMUNICATED, COPIED OR REPRODUCED WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT.

cse-universe
 CSE-UNIVERSE PTY. LIMITED, 10 COLUMBA WAY,
 BRUNNEMAN HILLS, NSW 2170, AUSTRALIA
 Tel: +61 2 9853 4200
 www.cse-universe.com.au

unistar
 AOP
 AUTOMATIC OIL PUMP



LEGEND

- LRS CABINET TERMINAL
- ⊗ CUSTOMER CONNECTIONS

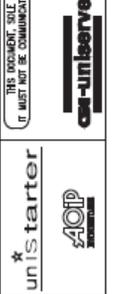
DIGITAL OUTPUTS EXPANSION CARD (SLOT 2)

- SC RELAY
- SPARE
- COMMON (+)
- LRS START
- LRS COMPLETE
- LIMIT SWITCH
- LRS READY
- LRS TO START
- LRS FAULT
- LRS ELECTROLYTE
- LRS HIGH TEMP ALARM
- LRS TOO LONG
- STARTING FAULT
- CIRCULATION PUMP MOTOR
- FAULT
- LRS ALARM

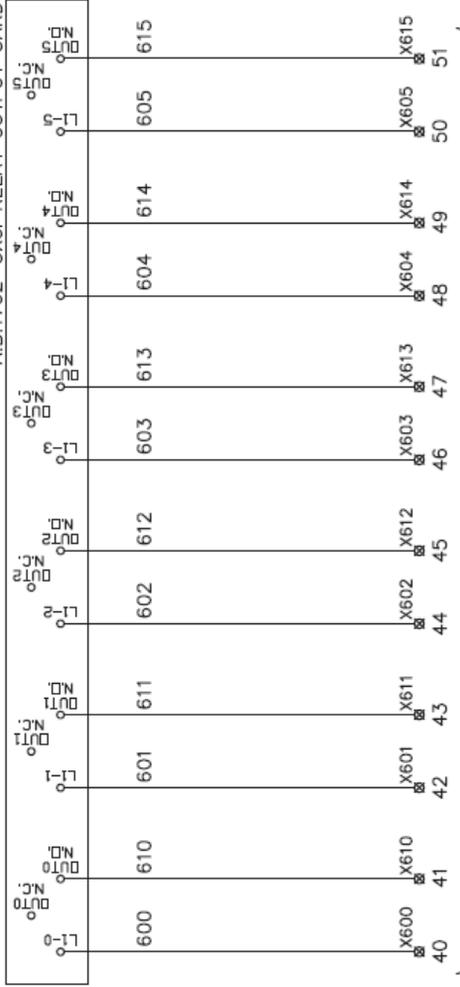
REV. DATE	BY	REVISION DESCRIPTION	DATE	BY	DATE	DRAWING TITLE
0	30.04.13 AD	AS BUILT	27.06.2012	BH	27.06.2012	CONSTANCIA PROJECT SAG MILL No.1 TO 4
1			27.06.2012	AD	27.06.2012	DUAL SECONDARY LIQUID RESISTANCE STARTER DIGITAL CONTROL OUTPUTS SHEET 2 OF 2
2				LD		
3				APPROVED		
4				JOB No.	IUS 144	
5				CAD REF.	IUS 144-27	
6						SCALE N1S
7						DRAWING NUMBER IUS 144-27
8						REV. 0

THE INCORPORATE THE PROPERTY OF CSC-UNIBERVE IS STRICTLY CONFIDENTIAL. IT MUST NOT BE COMMUNICATED, COPIED OR REPRODUCED WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT.

CSC-UNIBERVE PTY. LIMITED, 10 COLUMBA WAY, WESTMEAD NSW 2115 AUSTRALIA
Tel: +61 2 9853 4200 Fax: +61 2 9853 4280
www.csc-uniberve.com.au



A.B.1762-0X6I RELAY OUTPUT CARD



TO SER DRIVE MASTER CABINET INTERFACE
REFER DWG IUS144-32

SHORTING CONTACTOR
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

VSD FAULT
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

BYPASS ENABLED
IN LRS
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

ELECTRODES UP
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

ELECTRODES DOWN
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

ELECTROLYTE HIGH TEMPERATURE
OR LOW LEVEL FAULT
(TO SER DRIVE
MASTER CABINET)

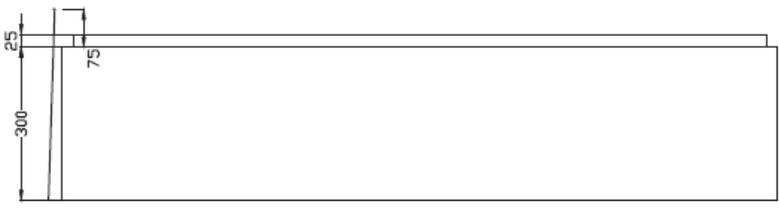
LEGEND	
⊙	LRS CABINET TERMINAL
⊗	CUSTOMER CONNECTIONS

DIGITAL OUTPUTS EXPANSION CARD
(SLOT 4)

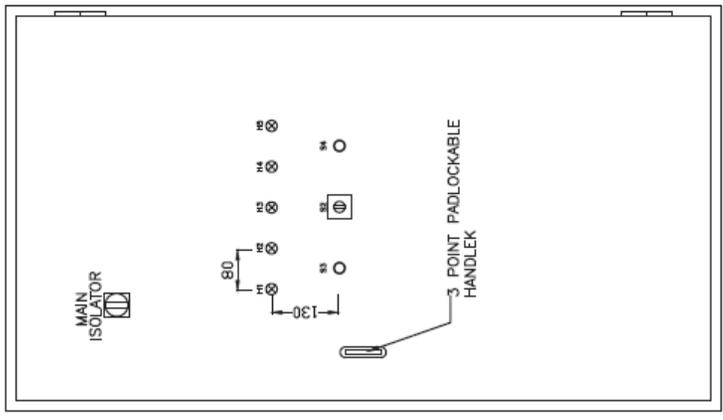
REV./DATE	BY	REVISION DESCRIPTION	REV./DATE	BY	REVISION DESCRIPTION
0	30.04.13	AD AS BUILT			

<p>THIS DOCUMENT, THE PROPERTY OF CSE-UNIBERVE IS STRICTLY CONFIDENTIAL. IT MUST NOT BE COMMUNICATED, COPIED OR REPRODUCED WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT.</p>			
		<p>CSE-UNIBERVE PTY. LIMITED, 10 COLUMBA WAY, MURUMBidgee 2, BUNDS 4200, Ph: +61 2 9853 4280 www.cse-univerve.com.au</p>	

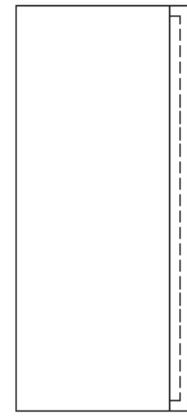
ENGINEER	DATE	DRAWING TITLE
BH	27.06.2012	CONSTANCIA PROJECT
AD	27.06.2012	SAG Will No.1 TO 4
LD	27.06.2012	DUAL SECONDARY LIQUID RESISTANCE STARTER
		SER DIGITAL CONTROL OUTPUTS SHEET 1 OF 2
JOB No.	IUS 144	SCALE
CAD REF.	IUS 144-29	NTS
		DRAWING NUMBER
		IUS 144-29
		REV.
		0



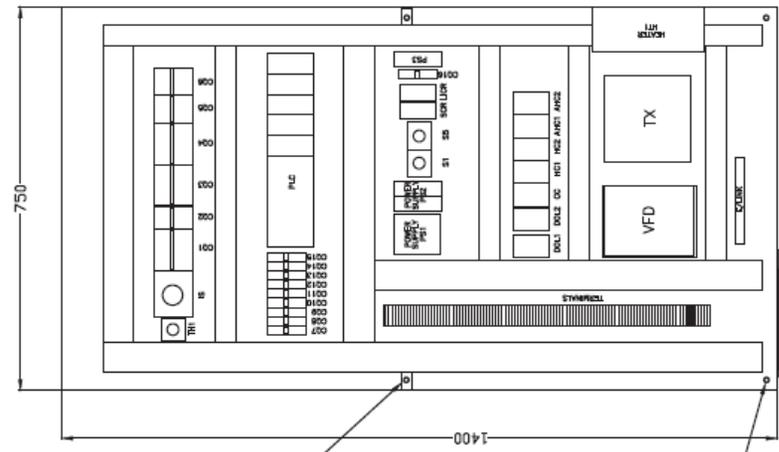
SIDE VIEW



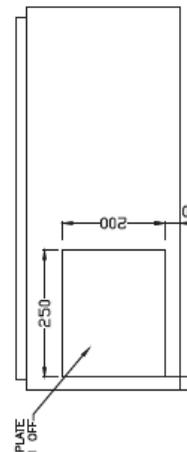
FRONT VIEW



TOP VIEW



FRONT VIEW (DOOR REMOVED)



BOTTOM VIEW

ALL DIMENSIONS ARE IN MM
 MATERIAL: 2mm 304 GRADE STAINLESS STEEL
 DEGREE OF PROTECTION: IP65

REV. DATE	BY	REVISION DESCRIPTION
0	30.04.13 AD	AS BUILT

ENGINEER	DATE	DRAWING TITLE
BH	27.06.2012	CONSTANCIA PROJECT
AD	27.06.2012	SAG MILL No. 1 TO 4
LD	27.06.2012	DUAL SECONDARY LIQUID RESISTANCE STARTER CONTROL PANEL GENERAL ARRANGEMENT
APPROVED		
JOB No.	IUS 144	
CAD REF.	IUS 144-41	
		DRAWING NUMBER
		SCALE
		N.T.S
		IUS 144-41
		REV.
		0

THE DOCUMENT, THE INVENTY OF CSE-UNIBERVE IS STRICTLY CONFIDENTIAL. IT MUST NOT BE COMMUNICATED, COPIED OR REPRODUCED WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT.

cse-uniberve
 CSE-UNIBERVE PTY. LIMITED, 10 COLUMBA WAY,
 14, +61 2 8853 4200 Fax: +61 2 8853 4280
 www.cse-uniberve.com.au

un'starter
AOP
 AUTOMATIC OPERATOR PANEL

ANEXO 4.
Troubleshooting del arrancador LRS

ERROR 01	Dual LRS dual rotor contactor acknowledge fault
DESCRIPTION	<p>A command to close the dual LRS dual rotor contactor K1 in the dual LRS dual rotor contactor and isolators cabinet has been issued by the PLC in the master SER drive and the acknowledgement signal given by an auxiliary contact of the dual LRS dual rotor contactor K1 has not been received.</p> <p>This fault can be produced only in normal SER operation.</p>
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION
<ul style="list-style-type: none"> Dual LRS dual rotor contactor K1 closes. 	<ul style="list-style-type: none"> Dual LRS dual rotor contactor K1 auxiliary contact failure. Loose or faulty field connection. Loss of auxiliary supply in the dual LRS dual rotor contactor and SER rotor isolators cabinet (TB1 terminals 4-5 in E711.300). Loss of control voltage (E711.108). Faulty PLC input IN17 on slot 3 (E711.111).
<ul style="list-style-type: none"> Dual LRS dual rotor contactor K1 does not close. 	<ul style="list-style-type: none"> Loss of control voltage in dual LRS control panel. Faulty dual LRS dual rotor contactor K1 coil. Loose or faulty field connection. Faulty PLC output OUT29 on slot 7 (E711.113).

ERROR 02F	SER master forward rotor contactor acknowledge fault
DESCRIPTION	<p>A command to close SER master forward rotor contactor K1F (forward) has been issued by the PLC in the master SER drive and the acknowledgement signal given by an auxiliary contact of the SER master forward rotor contactor K1F (forward) has not been received.</p>
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION
<ul style="list-style-type: none"> SER master forward rotor contactor K1F (forward) closes. 	<ul style="list-style-type: none"> Contact auxiliary contact failure. Loose or faulty connection. Loss of +24V control voltage (E711.108). Check CB14. Faulty PLC input IN2 on slot 3 (E711.111).
<ul style="list-style-type: none"> SER master forward rotor contactor K1F (forward) does not close. 	<ul style="list-style-type: none"> Loss of 220Vac control voltage. Faulty contactor coil. Loose or faulty connection. Faulty K11 relay or contact (E711.100). Faulty PLC output OUT19 on slot 7 (E711.113).

ERROR 46	LRS fault	
DESCRIPTION	Indicates that the LRS has a fault or alarm and is not ready for operation.	
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION	
<ul style="list-style-type: none"> • Other LRS errors present. 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolyte level low (see error 98) • Electrolyte overtemperature (see error 98) • Starting time exceeded. • Faulty VFD (see errors 70 and 71). 	
<ul style="list-style-type: none"> • No LRS errors present. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty PLC input IN13 on slot 2 (E711.110). • Loose or faulty field connection. • Loss of LRS auxiliary supply. 	

ERROR 47	Start time exceeded in SER mode	
DESCRIPTION	Indicates that the motor speed has not reached the maximum speed in the required time therefore, to avoid overheating the dual LRS the drive is tripped.	
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION	
<ul style="list-style-type: none"> • Check operation of the LRS variable speed drive controlling the electrodes (VFD). 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty drive (VFD). • Loss of supply. • Loose or faulty connection in LRS control. 	
<ul style="list-style-type: none"> • LRS drive (VFD) is correct but it receives no orders from the PLC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty PLC on slot 8 (E711.111) • Loose or faulty field connection. • Faulty PLC outputs OUT11, OUT12 or OUT13 on slot 6 (E711.113). 	
<ul style="list-style-type: none"> • LRS electrodes do not move. 	<ul style="list-style-type: none"> • LRS electrodes mechanically blocked. • LRS electrodes motor faulty. 	
<ul style="list-style-type: none"> • LRS dual shorting contactor CO2 does not close. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty dual LRS dual shorting contactor (E711.300). 	
<ul style="list-style-type: none"> • Check speed measured in the drive. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty encoder. • Faulty encoder coupling. • Loose or faulty field connection. • Faulty analogue interface PCB (PCB9). • Faulty PLC analog input channel 4 on slot 10 (E711.115). 	

ERROR 55	Start sequence in LRS not completed (LRS mode)	
DESCRIPTION	Indicates that the LRS has not completed the start sequence, that is, the dual LRS dual shorting contactor has not closed one minute after the start order has been issued (LRS mode).	
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION	
<ul style="list-style-type: none"> • Check operation of the LRS variable speed drive controlling the electrodes (VFD). 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty drive (VFD). • Loss of supply. • Loose or faulty connection in LRS control. 	
<ul style="list-style-type: none"> • LRS variable speed drive controlling the electrodes (VFD) is correct but it receives no orders from the PLC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty PLC module on slot 8 (E711.111) • Loose or faulty field connection. • Faulty PLC outputs OUT11, OUT12 or OUT13 on slot 6 (E711.113). 	
<ul style="list-style-type: none"> • LRS electrodes do not move. 	<ul style="list-style-type: none"> • LRS electrodes mechanically blocked. • Electrode motor faulty. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Check speed measured in the drive. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faulty optical encoder. • Faulty optical encoder coupling. • Loose or faulty field connection. • Faulty analog interface PCB (PCB9). • Faulty PLC analog input channel 6 on slot 9 (E711.114). 	
<ul style="list-style-type: none"> • Dual LRS dual shorting contactor does not close. 	<ul style="list-style-type: none"> • Check the dual LRS dual shorting contactor. 	

ERROR 66	Electrodes movement failure	
DESCRIPTION	Indicates that the electrodes do not move when a command for rising or lowering them is issued.	
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION	
<ul style="list-style-type: none"> LRS electrodes do not move. 	<ul style="list-style-type: none"> Check 220V single phase and 460V three phase auxiliary power supply to the LRS control. Fault in the electrodes variable speed drive (VFD) located in the LRS control. Loose SER to LRS field connection. Faulty PLC outputs OUT11, OUT12 or OUT13 on slot 6 (E711.113). 	
<ul style="list-style-type: none"> LRS electrodes move but the failure is present. 	<ul style="list-style-type: none"> Faulty PLC analog input channel 1 on slot 9 (E711.114). Faulty 4-20mA to 0-10V converter CONV2 (E711.114). Loose SER to LRS field connection. 	

ERROR 67	Temperature channel alarm	
DESCRIPTION	Indicates that a temperature multiplexer PCB (PCB10 or PCB11) is not switching correctly. This means that some channels are not updated. This error does not trip the drive. The channel in error can be seen via the four yellow leds DL4 to DL7 in PCB10 and PCB11.	
TESTS	POSSIBLE CAUSE / ACTION	
<ul style="list-style-type: none"> Leds DL4 to DL7 in PCB10 and PCB11 are all switching. 	<ul style="list-style-type: none"> Loose or wrong connection from PCB10 or PCB11 terminal block CN3 to PLC digital inputs on slot 5 (E711.119). Faulty PLC inputs IN24 to IN31 on slot 4 (E711.112). A noise in any digital input. Reset the alarm from the display. 	
<ul style="list-style-type: none"> Any led (DL4 to DL7 in PCB10 or PCB11) is frozen (permanently on or off). 	<ul style="list-style-type: none"> Loose terminal 8 of CN3 in PCB10 or PCB11 (+24V). Faulty temperature multiplexer PCB PCB10 or PCB11 (E711.119). 	

ANEXO 5.

Orden de trabajo de Mantenimiento del arrancador LRS

**ORDEN DE TRABAJO
WORK ORDER MAINTENANCE
EP MANTTO MOTOR LRS ML003**

TIPO/TYPE **PM5 Orden de Mantenimiento Mayor** N° **4500013338**
 Estado de la Orden de Mantenimiento/Maintenance Order Status
 Abierta/Open Liberado/Release Cerrada/Close

Datos del Equipo/Equipment Detail				Datos de la ubicación Técnica/Functional Location			
Codigo/Code ML003				Codigo/Code 310-CON-PLA-GRIN-3223			
Descripcion/Description MOLINO SAG N°03				Descripcion/Description MOLINO SAG - LINEA 2			
Programado/Scheduled				Real/Execution			
Fecha Inicio/Star Date	01.03.2023	07:59:44		Fecha Inicio/Star Date			
Fecha Termino/End Date	09.03.2023	04:01:39		Fecha Termino/End Date			
Horometro/Counter 0				Horometro/Counter			
Averia/MalFunction		Equipo Parado/BreakDown	Si/Yes	No/Not	Objeto Falla/Object Failure		
Fecha Inicio/Star Date				Falla			
Fecha Termino/End Date				Causa Inmediata			

Descripcion del Trabajo Realizado / Work Description Eval. Condición/
Condition
Assesment

0010	EP MANTTO MOTOR LRS ML003		
Evaluación de Condición			
1	Tarea realizada dentro de los límites permisibles (OK)	3	Avería, se programa reparación otra fecha. Generar orden PM2
2	Avería, es necesario correctivo. Generar orden PM1	4	Se encontró defecto, solucionado en el momento

ACTIVIDADES POSTERIORES A LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Tarea	Descripción de la tarea
Orden y limpieza	Asegurar que todas las herramientas, equipos y materiales sean removidos del area de trabajo y almacenados correctamente al final del trabajo
Desbloqueo	Retirar bloqueo
Prueba de equipo	Asegurar que el equipo esté listo para operar.
Entrega de equipo a operaciones	Comunicarse con cuarto de control e informar a operadores que el equipo de mantenimiento ha completado el trabajo.
Completar orden de trabajo	Reportar tiempos, actualizar historial de la orden de trabajo, adicionar ordenes de trabajo si es requerido, cerrar orden.

Mano de Obra Utilizado / Manpower

Planificado/Plannnet					Real		
Op	SOp	Puesto de Trab./Work Center	Descrip./Description	Horas/Hours	Puesto de Trab./Work Center	Descrip./Description	Horas/Hours
0010		ELECPLA	Electricista de Planta	0.0			

Repuestos y Materiales Utilizados / Spare Parts an N° Reserva / Reservation **0000000000**

Op	Codigo/Code	Descrip./Description	NPM	Cant Ret/Withdrawal Qty	Cant Ret/Withdrawal Qty	Un

Observaciones / Observations

_____ Elaborado por/Worker Signature	_____ Jefe de Area/Supervisor