



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DE LA CORREA CV-03  
MEDIANTE UN PARTIDOR SUAVE EN EL PROCESO DE  
MOLIENDA DE MINERA CANDELARIA**

**James Gary Díaz Velásquez**

**Copiapó, octubre 2022**



**UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ALTERNATIVAS DE OPERACIÓN DE LA CORREA CV-03  
MEDIANTE UN PARTIDOR SUAVE EN EL PROCESO DE  
MOLIENDA DE MINERA CANDELARIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO EN CONFORMIDAD AL PROGRAMA DE  
TITULACIÓN FLEXIBLE Y CONTEXTUALIZADO (RESOLUCIÓN EXENTA N.º 320, DEL  
25/09/2019) PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO DE EJECUCIÓN EN  
ELECTRICIDAD**

**PROFESOR GUIA:**

**ANDRÉS ALFARO AVALOS**

**James Gary Díaz Velásquez**

**Copiapó, octubre 2022**

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	7
1.1 Introducción .....	7
1.2. Descripción de la Empresa .....	8
1.2.1 Compañía Minera Candelaria .....	8
1.2.1.1 Planta Concentradora .....	8
1.2.1.2 Planta Desalinizadora .....	9
1.2.1.3 Puerto Limpio Mecanizado.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2.1 Marco Teórico.....	10
2.2 Correa Transportadora .....	10
2.3 Motor de Inducción .....	10
2.4 Contactor de Fuerza .....	11
2.5 El VDF .....	12
2.6 Molino SAG .....	12
2.7 El Partidor Suave.....	13
2.7.1 Como funciona el Partidor Suave.....	14
CAPÍTULO 3.....	16
3. Descripción del Proyecto .....	16
3.1 Descripción del Problema .....	16
3.2 Solución al Problema .....	18
3.3 Características del Partidor Suave Seleccionado.....	19

3.3.1 Contactor de Bypass Incluido .....	19
3.3.2 Panel Interfaz de Usuario.....	19
3.3.3 Funciones de Protección.....	21
3.3.4 Funciones de Aviso y Alarmas .....	21
3.3.5 Respaldo de Parámetros .....	21
3.3.6 Funciones de Detección de Fallo .....	22
3.3.7 Salida Análoga.....	22
3.3.8 Partida y Parada del Partidor .....	23
3.4 Instalación del Partidor Suave .....	23
3.5 Pruebas del Partidor Suave en Vacío .....	26
3.6 Pruebas del Partidor Suave con Carga .....	27
3.7 Costo del Proyecto.....	28
3.8 Conclusión del Proyecto .....	29
ANEXOS .....	31
Anexo 1 .....	31
Anexo 2 .....	32
Anexo 3 .....	33
Charla 1: Marco teórico.....	33
Charla 2: Descripción del partidor suave. ....	42
Charla 3: Problemática, propuesta de solución y conclusiones.....	49
REFERENCIAS .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Vista de planta concentradora de minera Candelaria.....	9
Fig. 2.1 Vista panorámica de una correa transportadora.....	10
Fig. 2.2 Motor de inducción y sus componentes básicos .....	11
Fig. 2.3 Contactor de fuerza.....	11
Fig. 2.4 Variador de frecuencia.....	12
Fig. 2.5 Vista panorámica de un molino SAG.....	13
Fig. 2.6 Modelo de partidador suave.....	14
Fig. 2.7 Esquema básico de un partidador suave .....	14
Fig. 2.8 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de 150° .....	15
Fig. 2.9 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de 90° .....	15
Fig. 2.10 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de 0° .....	15
Fig. 3.1 Vista panorámica de la correa 3 y el molino SAG .....	16
Fig. 3.2 Esquema de la partida directa improvisada.....	17
Fig. 3.3 Partidor suave seleccionado .....	18
Fig. 3.4 Interfaz de usuario del partidador suave .....	20
Fig. 3.5 Respaldo de parámetros.....	21
Fig. 3.6 Carga de parámetros .....	22
Fig. 3.7 Señal análoga.....	23
Fig. 3.8 Partida y parada del partidador .....	23
Fig. 3.9 El Partido suave junto al VDF .....	24
Fig. 3.10 Vista interior del partidador suave.....	25

Fig. 3.11 Evolución del circuito de potencias de la correa.....	26
Fig. 3.12 Funcionamiento del motor en vacío .....	27
Fig. 3.13 Funcionamiento del motor con carga .....	28
Fig. 3.14 Esquema eléctrico del partidador suave .....	31
Fig. 3.15 Cotización por el partidador suave.....	32

# **CAPÍTULO I**

## **1.1 Introducción**

La minería es la clave para entender el progreso de la humanidad, ya que sin minerales es muy difícil entender la historia del hombre tal como la conocemos.

En general, la minería del cobre ha sido el sector más activo en el desarrollo de la economía nacional debido al monto de sus inversionistas y la magnitud alcanzada en la producción de cobre.

Minera candelaria constantemente se enfrenta a grandes desafíos para ser altamente competitiva en el exigente mercado de la minería. Para esto está enfocada en lograr bajar costos y aumentar la producción y además tener alta disponibilidad en los equipos.

Cabe hacer notar que la empresa ha desarrollado un plan de mantenimiento preventivo para lograr una alta disponibilidad en los equipos y lograr las metas propuestas de producción.

Sin embargo, ocurrió un evento en que fallo el variador de frecuencia (en adelante VDF) que acciona la correa que alimenta con 2.100 ton/hora al molino SAG y esta falla detuvo la operación normal de la concentradora por un tiempo cercano a las 28 horas desde el momento de la falla hasta su normalización con una pérdida aproximada de 60 millones de pesos por hora.

De acuerdo con estos antecedentes, era de suma importancia estar preparados ante la posibilidad de repetirse una nueva falla en el VDF y así evitar nuevamente una prolongada detención de la planta y por consiguiente, importantes pérdidas de producción.

Este texto describe la selección, instalación y puesta en marcha de un partidior suave en paralelo al VDF existente como una alternativa rápida de puesta en servicio de la correa en caso de repetirse alguna falla por un largo tiempo.

## **1.2. Descripción de la Empresa**

En esta sección se hará una pequeña descripción de la empresa en donde se implementó este proyecto.

### **1.2.1 Compañía Minera Candelaria**

Candelaria consiste en una mina a cielo abierto y una mina subterránea que proporciona el mineral de cobre a un concentrador en el lugar, con una capacidad de 75.000 toneladas por día. Las operaciones de minera Candelaria se ubican en la comuna de Tierra Amarilla, a 29 kilómetros al sur de Copiapó, en la región de Atacama. El distrito minero de Candelaria produce concentrado de cobre. El mineral es extraído desde una mina a rajo abierto y desde las minas subterráneas Candelaria Norte, Santos Alcaparrosa. Las principales ventajas del distrito son su ubicación a baja altura, su cercanía a importantes centros urbanos, una planta desalinizadora que la abastece de agua y un puerto propio para el embarque del concentrado.

Minera Candelaria fue la primera del mundo en conseguir la certificación ISO14001, gracias a sus sistemas de gestión ambiental.

#### **1.2.1.1 Planta Concentradora**

El mineral que es extraído desde los yacimientos es enviado para su proceso en las plantas concentradoras de Candelaria y Pedro Aguirre Cerda en Tierra Amarilla. Posteriormente, el mineral pasa a molienda húmeda en dos circuitos con molinos SAG y de bolas, luego pasa al proceso de flotación y después a una planta de filtros de extracción de agua en la que se obtiene un concentrado de cobre con un promedio de 9% de humedad.

Finalmente, el concentrado es enviado en camiones encapsulados hacia el Puerto Punta Padrones en Caldera.

### 1.2.1.2 Planta Desalinizadora

La planta desalinizadora, ubicada al interior de las instalaciones del puerto punta padrones, le ha permitido a la compañía eliminar el consumo de agua fresca desde la cuenca del río Copiapó. La capacidad de procesamiento es de 500 litros por segundo de agua desalinizada de calidad industrial para abastecer las operaciones en Tierra Amarilla.[Proceso-Productivo-Distrito Candelaria | Lundin Mining].

### 1.2.1.3 Puerto Limpio Mecanizado

El puerto limpio mecanizado de punta padrones se ubica en la bahía de Caldera, distante 110 kilómetros de las operaciones en Tierra Amarilla. Para las labores de embarque, el puerto cuenta con un cargador móvil que se desplaza a lo largo del barco, lo que hace más eficiente el carguío. Además está provisto de un chute telescópico que se interna en la bodega del barco. Toda esta labor se ejecuta desde la cubierta utilizando una consola de control remoto. [Proceso-Productivo-Distrito Candelaria | Lundin Mining].

Fig.1.1 Vista de planta concentradora de minera candelaria



(fuente:<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2021/06/lundin-mining-produccion-candelaria>).

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 Marco Teórico**

En este apartado se expondrá una breve descripción de equipos necesarios para entender el desarrollo e implementación de este proyecto.

### **2.2 Correa Transportadora**

Es un sistema de transporte continuo usado en la minería para el transporte de mineral de un extremo a otro en forma rápida, segura y de bajo costo.

Fig. 2.1 Vista panorámica de una correa transportadora



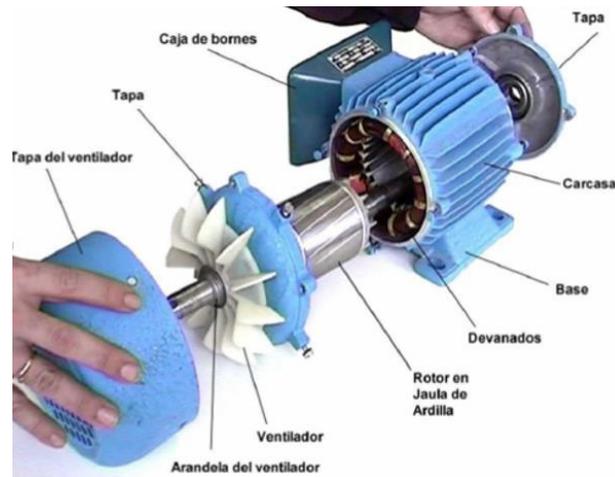
(fuente: imagen propia)

### **2.3 Motor de Inducción**

El motor de inducción es el tipo de motor de corriente alterna más popular debido a la simplicidad y facilidad de operación. Un motor de inducción no tiene circuito separado de campo; en su lugar depende de la acción de un transformador para inducir voltajes y corrientes en su circuito de campo. En efecto, un motor de inducción es básicamente un transformador

rotante y su circuito equivalente es similar al de un transformador, excepto en lo que respecta a la variación de velocidad. [ Stephen Chapman]

Fig. 2.2 Motor de inducción y sus componentes básicos



(fuente:[https://www.academia.edu/28319120/Motores\\_Trifásico\\_de\\_Inducción](https://www.academia.edu/28319120/Motores_Trifásico_de_Inducción))

## 2.4 Contactor de Fuerza

Es un dispositivo de control que mediante la energización de su bobina, cierra o abre sus contactos dejando pasar o interrumpiendo el paso de energía. Su tamaño depende de la corriente del motor.

Fig.2.3 Contactor de fuerza



(fuente: imagen propia)

## 2.5 El VDF

VDF corresponde a las siglas de **Variador De Frecuencia**. Es un equipo en el cual su función es controlar la velocidad en el eje de un motor mediante un algoritmo matemático que modifica de la frecuencia y el voltaje que se le aplica a un motor.

Fig. 2.4 Variador de frecuencia



(fuente: imagen propia)

## 2.6 Molino SAG

Es un equipo muy utilizado en la minería para moler rocas, reducir su tamaño y hacerla apto para las etapas siguientes del procesamiento de dicho mineral. Se caracteriza por ser de gran potencia, sobre los 12 Mega watts. Visualmente, tienen un gran diámetro.

SAG corresponde a las siglas de la palabra en inglés **Semi Autogenous Grinding** y que quiere decir molienda semiautogena. La molienda semiautogena consiste en moler la roca con la ayuda de bolas de acero al interior del molino.

Fig. 2.5 Vista panorámica de un molino SAG



(fuente: imagen propia)

## 2.7 El Partidor Suave

Un Partidor Suave es un convertidor que controla la tensión, la corriente y la potencia media que entrega una fuente de alterna a una carga de alterna. Interruptores electrónicos conectan y desconectan la fuente y la carga a intervalos regulares. La conmutación se produce en cada ciclo de red, según un esquema de conmutación denominado control de fase, lo que tiene como efecto eliminar parte de la forma de onda de la fuente antes de alcanzar la carga. Otro tipo de control es el control de ciclo integral, en el que se conecta y desconecta la fuente durante varios ciclos seguidos.

El controlador de tensión alterna controlado por fase tiene diversas aplicaciones, como los circuitos atenuadores de intensidad luminosa y el control de velocidad de los motores [ Daniel Hart ]

Este método de partida se caracteriza por tener grandes ventajas como ahorro de energía, mínimo desgaste mecánico, evita golpes bruscos, reduce picos de corriente en el arranque y permite la opción de una parada suave del equipo

Fig.2.6 Modelo de partidor suave

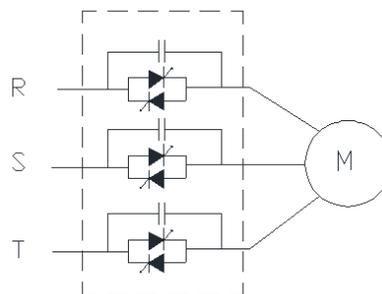


(fuente: imagen propia)

### 2.7.1 Como funciona el Partidor Suave

Se utiliza un algoritmo que controla tres pares de SCR en anti-paralelo como se observa en la figura 2.7 para arrancar y detener el motor. La orientación en anti-paralelo de los SCR permite controlar el voltaje AC al cambiar el ángulo de disparo cada medio ciclo. El voltaje se aumenta en forma gradual hasta el nominal.

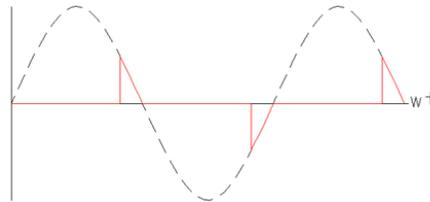
Fig. 2.7 Esquema básico de un partidor suave



(fuente: elaboración propia)

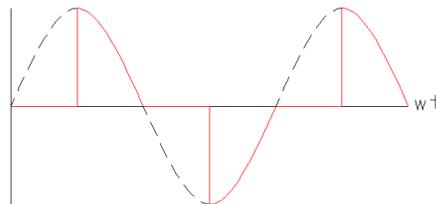
A continuación, se presenta una serie de gráficas simplificadas monofásica RMS para diferentes ángulos de disparo que entrega el partidor al motor en una rampa de partida.

Fig.2.8 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de  $150^\circ$



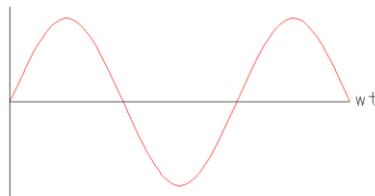
(fuente: elaboración propia)

Fig. 2.9 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de  $90^\circ$



(fuente: elaboración propia)

Fig. 2.10 Forma de onda del voltaje en el motor para un ángulo de disparo de  $0^\circ$



(fuente: elaboración propia)

## CAPÍTULO 3

### 3. Descripción del Proyecto

Acá, se hará una descripción del problema, de las complicaciones para habilitar una alternativa de operación de la correa mediante una partida directa y por último una solución recomendada.

#### 3.1 Descripción del Problema

La falla en una tarjeta que monitorea el voltaje y la corriente en el variador de frecuencia que acciona el motor de la correa, hace que esta se detenga y por consiguiente el molino SAG al estar en secuencia directa. La correa y el molino se muestran en la figura 3.1. Al estar detenido el molino por un tiempo largo, necesariamente se debe detener el proceso aguas abajo, esto es, el área de flotación y relaves debido a que no reciben alimentación desde la molienda; esto se traduce en pérdidas importantes de producción para la empresa.

En el momento de la falla no se contaba con el repuesto y tampoco había mucha información de la tarjeta por la obsolescencia del equipo VDF.

Fig. 3.1 Vista panorámica de la correa 3 y el molino SAG



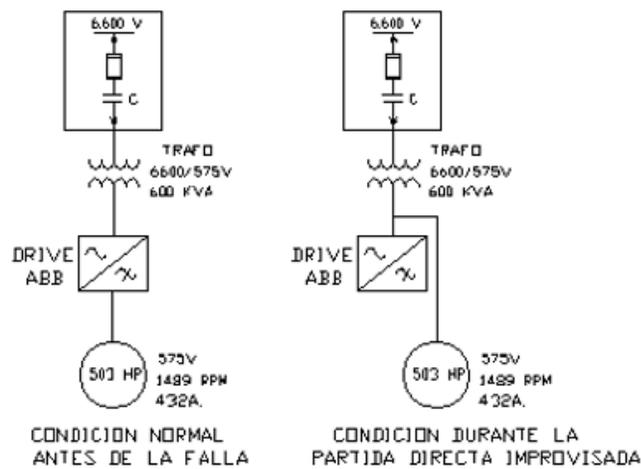
(fuente: imagen propia)

Debido al prolongado tiempo que en que estuvo la correa detenida, y la necesidad de poner en servicio la planta, se optó por realizar una modificación en el circuito de fuerza y control para realizar una partida directa de la correa.

Esta partida improvisada tomo mucho tiempo en poder implementarse, retardando más la puesta en marcha de la planta debido a que hubo que modificar el recorrido de los cables de fuerza y el circuito de control, además fue necesario modificar las protecciones eléctricas del alimentador en media tensión. Posteriormente, hacer pruebas para verificar los dispositivos de seguridad de la correa.

En la figura 3.2 se aprecia las modificaciones al circuito de potencia y control para la habilitación de la partida directa improvisada.

Fig.3.2 Esquema de la partida directa improvisada



(fuente: imagen propia)

Además, esta improvisación en la partida tenía otras complicaciones tales como el estrés en componentes mecánicos (en el largo plazo posibles daños en engranajes, reductores) y en componentes eléctricos, tales como corrientes excesivas en el motor y en los conductores eléctricos en cada partida de la correa y un daño colateral en las bobinas del motor por esta sobre corriente pudiendo originar en un corto plazo pérdidas en la aislación del bobinado del motor.

Se hacía necesario buscar una alternativa que mejorara todas esas condiciones adversas.

### 3.2 Solución al Problema

Se estudió y busco en el mercado un equipo que cumpliera la misma función que el VDF y además que cumpliera algunos requisitos tales como: fácil de implementar, que ocupe un espacio físico reducido, que sea de bajo costo, capaz de soportar un arranque pesado, fácil de programar y que no necesitara un gran stock de repuestos.

De entre las alternativas disponibles en el mercado se eligió un equipo con una tecnología de vanguardia y que no es muy masivo su uso aun en la minería para potencias relativamente altas.

El equipo en cuestión es un partidor suave como el que se muestra en la Fig.3.3 marca ABB modelo PSTX-840.

Este equipo, además de los requisitos exigidos, venía con un adicional consistente en un software que permite realizar simulaciones de programación para aprender a usar de mejor manera el partidor suave.

Fig. 3.3 Partidor suave seleccionado



(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

### 3.3 Características del Partidor Suave Seleccionado

El Partidor suave PSTX incorpora la tecnología más moderna para el arranque y parada suave de motores de jaula de ardilla estándar. El partidor suave incluye varias características avanzadas de protección del motor que se detallan a continuación:

#### 3.3.1 Contactor de Bypass Incluido

Para la capacidad de corriente del motor se necesita un contactor de gran tamaño para realizar la conexión de bypass a la red una vez que completa la rampa de tiempo. Es una gran ventaja el que ese contactor lo trae incorporado el partidor suave, ya que al venir incluido no se necesita espacio físico para su instalación y conexión de cables eléctricos.

#### 3.3.2 Panel Interfaz de Usuario

El panel frontal incluye teclas de navegación, teclas de selección, teclas de arranque y parada, una tecla local/remoto y una pantalla de información detallada. Se pueden elegir 15 idiomas de usuario.

Se puede controlar el partidor de 3 formas diferentes:

**Entrada cableada:** Es la opción predeterminada para poner en servicio el partidor suave.

**Control por teclado:** Ya sea conectado en la parte frontal del partidor o separado conectado a distancia por el cable incorporado

**Interfaz de comunicación:** Con el bus de campo (mediante el módulo modbus integrado, un módulo anybus o un conector fieldbus con adaptador).

Solo se puede utilizar un tipo de control simultáneamente, La opción predeterminada es el control mediante entradas cableadas.

El teclado del panel frontal del partidor suave se compone de 10 teclas como se muestra en la figura 3.4. Se describe a continuación la función de cada tecla:

**1. Teclas de Selección:** Tiene una función especificada para cada cuadro de diálogo, como: seleccionar, salir, cambiar o guardar. En la figura 3.4 se define con el número 1.

**2. Teclas de Navegación:** Se utiliza para desplazarse por los menús y modificar los parámetros. Cuando un valor aparece resaltado en negro en la pantalla, significa que se puede modificar. En la figura 3.4 se define con el número 2.

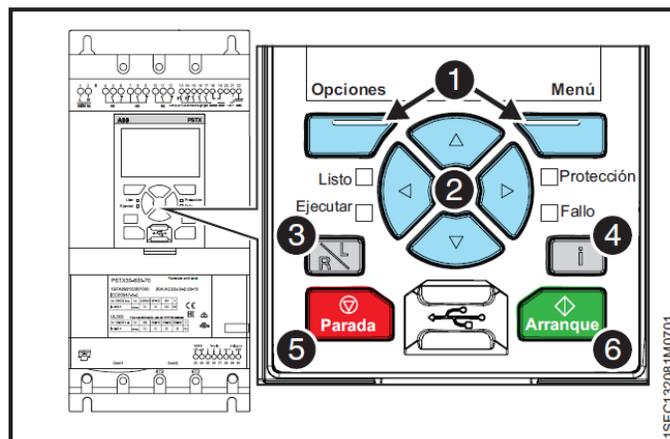
**3. Tecla Local/Remoto:** Se utiliza esta tecla para definir el control del partidor, ya sea desde la misma interfaz o vía remota mediante entrada cableada. En la figura 3.4 se define con el número 3.

**4. Tecla I:** Con esta tecla se obtiene información sobre la interfaz de usuario y de los parámetros. En la figura 3.4 se define con el número 4.

**5. Tecla de Parada:** Con esta tecla el partidor se detiene según los parámetros configurados, como por ejemplo en rampa de parada. En la figura 3.4 se define con el número 5.

**6. Tecla de Partida:** Con esta tecla el partidor arranca según los parámetros configurados, como por ejemplo en rampa de tensión. En la figura 3.4 se define con el número 6.

Fig. 3.4 Interfaz de usuario del partidor suave



(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

### 3.3.3 Funciones de Protección

El partidor suave PSTX cuenta con funciones de protección diseñadas para proteger el partidor en sí mismo, al motor y otros equipos. Todas las protecciones se pueden restablecer de forma automática o manual. El usuario puede habilitar o deshabilitar la protección.

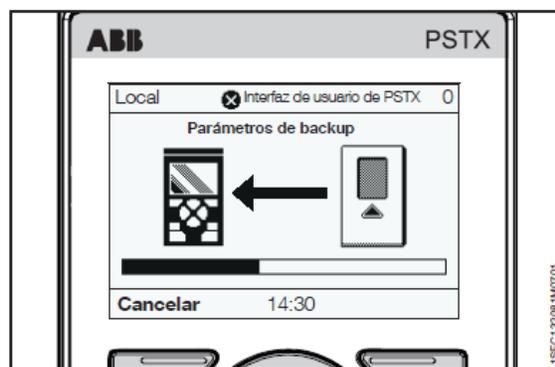
### 3.3.4 Funciones de Aviso y Alarmas

El partidor suave tiene funciones de aviso para alertar sobre riesgos potenciales que se activen antes que la función de protección. Un aviso (alarma) no detiene el partidor suave. Se pueden cambiar el nivel de aviso y otros parámetros para las funciones de aviso: los avisos se guardan en la lista de eventos.

### 3.3.5 Respaldo de Parámetros

El equipo tiene la opción de realizar un respaldo de la parametrización en la misma HMI para volverlo a cargar en caso de requerirlo o transferirlo a otro partidor con las mismas características. La Fig. 3.5 muestra una operación de respaldo de parámetros desde el partidor suave al panel de usuario HMI.

Fig.3.5 Respaldo de parámetros



(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

La figura 3.6 muestra la carga de parámetros desde la HMI hacia el partidor suave.

El partido suave tiene la opción de guardar dos copias de seguridad, quedando registrado el día, mes y año en que se realiza esta operación.

Fig.3.6 Carga de parámetros



(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

### 3.3.6 Funciones de Detección de Fallo

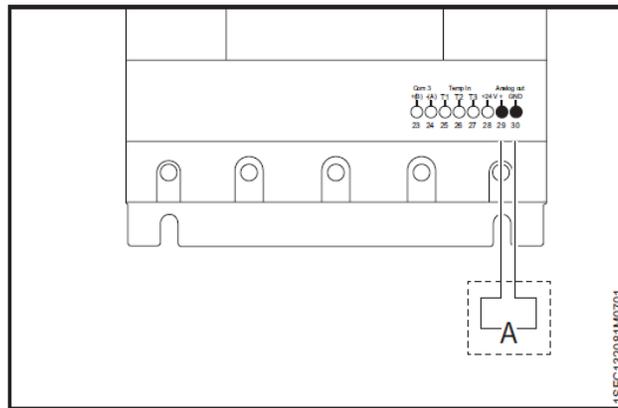
El Partidor suave cuenta con numerosas funciones de detección de fallos diseñados para señalar fallos de: mal funcionamiento del equipo, del motor o el nivel de potencia de la red, además de identificar fallos externos e internos.

### 3.3.7 Salida Análoga

El partidor dispone de una salida análoga (terminal 29,30) configurable. Los valores de salida disponibles son de 0 a 10V, 0 a 20ma, 4 a 20ma. Teniendo como configuración por defecto 4 a 20ma. La salida análoga puede representar: voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva. Se configura por defecto para medir la corriente del motor.

La figura 3.7 muestra la conexión de salida análoga en los puntos 29 y 30.

Fig.3.7 señal análoga

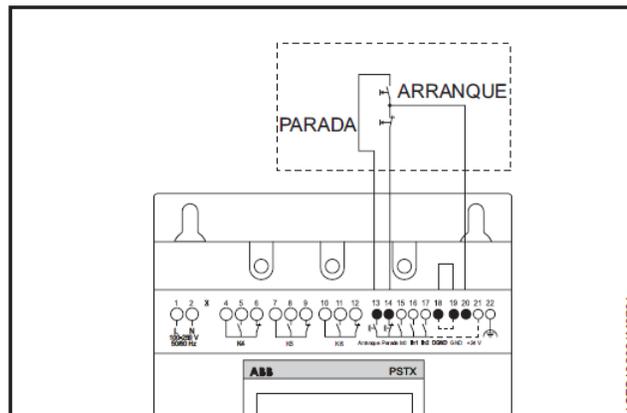


(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

### 3.3.8 Partida y Parada del Partidor

Las entradas de partida y parada, terminales 13 y 14 en la figura 3.8 son fijos y no se pueden configurar.

Fig.3.8 Partida y parada del partidor



(fuente: manual de instalación PSTX de ABB)

### 3.4 Instalación del Partidor Suave

Para hacer más expedita la instalación del partidor suave, en los requerimientos de la compra se solicitó que viniera: el partidor, el seccionador,

el contactor de alimentación y las barras de conexión, todo armado dentro de un gabinete para hacer más expedita su instalación.

Una vez recibido el gabinete, se instaló a un costado del variador de frecuencia, como se aprecia en la Fig. 3.9

En la Fig.3.10 se muestra el interior del partidor suave con todos sus componentes principales: Contactor, seccionador de 3 posiciones, el partidor suave y las barras de conexión hacia el motor.

Fig.3.9 El partido suave junto al VDF



(fuente: imagen propia)

En detenciones programadas de la planta para realizar mantenencias preventivas y correctivas, situación que ocurre aproximadamente cada tres meses y que, estas detenciones programadas duran aproximadamente 90 horas, se aprovechó esa instancia para habilitar el circuito de potencia y control, ya que la incorporación del partidor en paralelo al drive requería re-

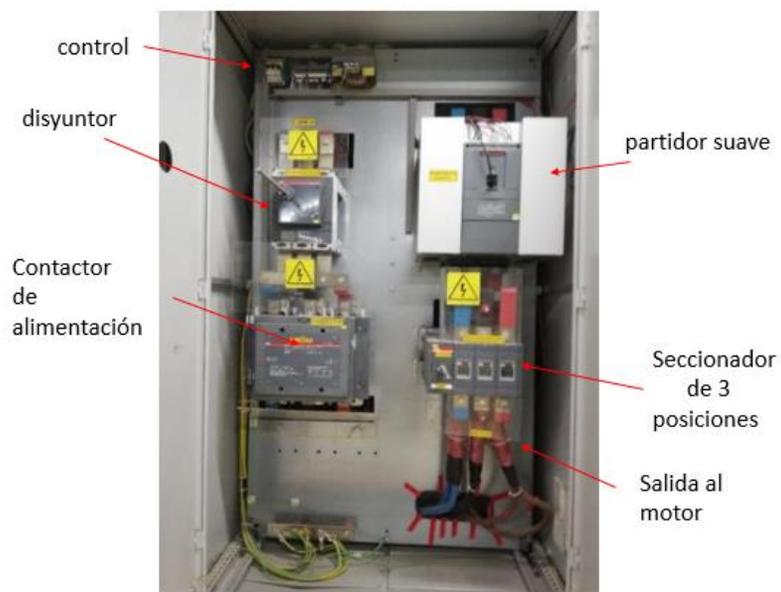
acomodar los cables de fuerza hacia el motor como también realizar las modificaciones del circuito de control.

Una vez terminada la modificación al circuito de fuerza y control dentro del plazo de las 90 horas que se disponía, se realizaron pruebas de sentido de giro del motor y prueba de todos los dispositivos de seguridad de terreno.

El anexo 1 muestra el circuito unilineal de fuerza y el circuito de control con lo cual queda operativo el partidor suave.

La prueba de sentido de giro y pruebas de dispositivos de seguridad es un estándar de seguridad en la empresa que se aplican a cada equipo cada vez que se pone en servicio después de una intervención en su circuito de fuerza y control.

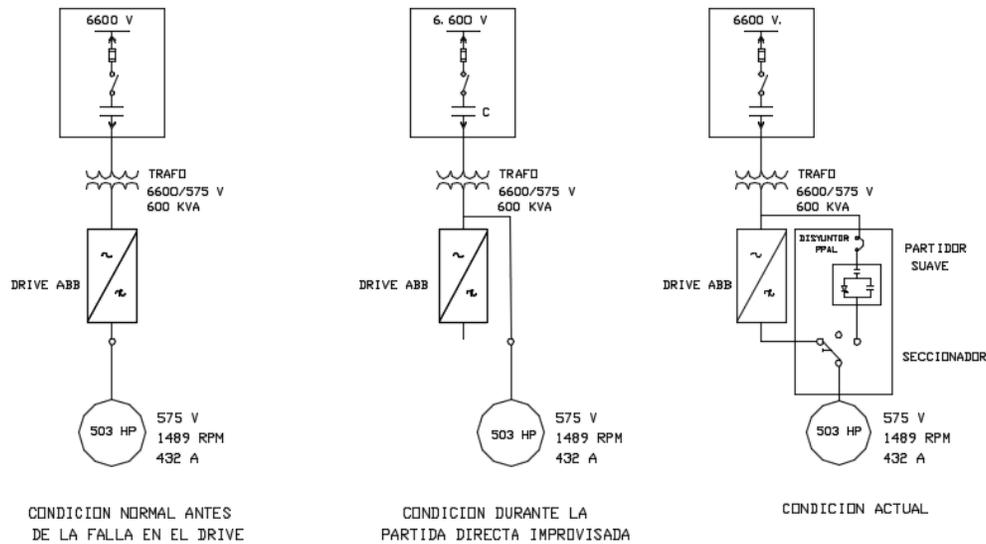
Fig. 3.10 Vista interior del partidor suave



(fuente: imagen propia)

La figura 3.11 muestra la evolución del circuito de potencia de la correa, primero como era el proyecto original, posteriormente cuando fallo el VDF y por último la incorporación del partidor suave.

Fig. 3.11 Evolución del circuito de potencias de la correa



(fuente: imagen propia)

### 3.5 Pruebas del Partidor Suave en Vacío

Esta prueba consistió en poner en servicio la correa sin carga. Se realizan mediciones de corrientes por cada fase del motor y medición del voltaje durante la rampa de aceleración. Se coordina con operaciones la puesta en servicio de la correa.

Los registros de corriente tienen un promedio RMS de 100 Amperes, como lo indica la figura 3.12.

Además, estando la correa en servicio se prueban los dispositivos de seguridad de terreno, tales como desalineamientos y parada de emergencias.

Se concluye que la puesta en servicio en vacío es satisfactoria.

Fig. 3.12 Funcionamiento del motor en vacío



(fuente: imagen propia)

### 3.6 Pruebas del Partidor Suave con Carga

En una detención de la correa por un nuevo problema en el VDF y al no tener claro el origen del problema, se decide poner en servicio el partidor suave. Se realiza en un corto tiempo las maniobras para su habilitación, cambiando el seccionador desde el VDF a partidor suave, se coordina con operaciones la puesta en servicio y la correa queda funcionando con un consumo de corriente de 180 amperes como se visualiza en la figura 3.13, todavía muy debajo de la corriente nominal de motor (430 amperes).

El tiempo desde la detención de la correa por la falla en el VDF hasta su puesta en servicio con el partidor suave no paso más allá de 30 minutos.

Fig.3.13 Funcionamiento del motor con carga



(fuente: imagen propia)

### 3.7 Costo del Proyecto

El proyecto tuvo un costo global de \$ 15 millones de pesos. El valor del partidor incluye los accesorios para formar el circuito de potencia tales como el seccionador, contactor de alimentación, la protección de sobre corriente y el gabinete en donde se instalan estos componentes.

En el anexo 2 se muestra la cotización por el conjunto en total.

La instalación del partidador a un costado del VDF se realizó en tiempos parciales y la habilitación del circuito de potencia y de control fue realizada en una mantención programada de 90 horas, por lo que no afectó la producción y fue realizada íntegramente con personal propio.

### **3.8 Conclusión del Proyecto**

Es importante considerar que la productividad de una empresa aumenta en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo.

Por lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de técnicas de análisis y diagnósticos de fallas implementadas como también en la capacitación de las nuevas tecnologías.

La relevancia de este proyecto es asegurar la continuidad de la operación en el menor tiempo posible de la concentradora en caso de una falla en el VDF que acciona el motor de la correa CV-03.

Cabe hacer notar que ante cualquier detención de la concentradora por más de una hora por falla en el VDF las pérdidas de producción son aproximadamente \$ 60 millones.

Con una inversión de \$15 millones en la implementación del partidador suave como alternativa de operación en paralelo al VDF se asegura una rápida respuesta para la puesta en marcha, disminuyendo notablemente los tiempos de detención y un ahorro de 4 veces la inversión en tan solo una hora de operación.

Otra consideración importante es que esta alternativa implementada no requiere una larga lista de repuestos y eso se traduce en ahorros para la empresa.

Las pérdidas por calor del partidador son mínimas y su operación es silenciosa. Además, si llegase a fallar el VDF estando en operación normal, es posible seleccionar y poner en servicio la correa con el partidador suave en el menor tiempo y es posible la reparación del VDF sin afectar la producción.

Con este partidador suave se logra aporta con tecnología moderna al proceso productivo.

Con 1 hora de operación del partidador se pagó la inversión realizada.



## Anexo 2

Fig.3.15 Cotización por el partidor suave

IT		CANT.	UND.	DETALLE	NETO	ENTREGA	TOTAL	
1	1	UNI		CONTACTOR AF1360-30-11-70 CONTROL 100-260V AC/DC ABB	\$ 4.012.475	5-6 SEMANAS	\$ 4.012.475	
2	1	UNI		PARTIDOR SUAVE P3TX840-800-70 ABB	\$ 6.804.554	5-6 SEMANAS	\$ 6.804.554	
3	1	UNI		OT800E03CP CHANGE-OVER SWITCH ABB	\$ 1.031.564	5-6 SEMANAS	\$ 1.031.564	
4							\$ -	
5							\$ -	
6							\$ -	
7							\$ -	
8				MATERIAL PUESTO EN SUS BODEGAS TRANSPORTES STGO			\$ -	
9							\$ -	
10							\$ -	
11							\$ -	
12							\$ -	
13							\$ -	
14							\$ -	
15							\$ -	
16							\$ -	
17							\$ -	
<b>Nota: Productos sujeto a venta previa</b>								
<b>Condiciones Comerciales</b>							<b>SUBTOTAL</b>	\$ 11.848.594
Validez Oferta : 10 días							% IVA	\$ 2.251.233
Forma de pago : Orden De Compra, 30 DIAS							<b>TOTAL</b>	\$ 14.099.827
Plazo Entrega : Ver ítem								
Lugar de Entrega :								
Stock : Sujeto a Venta Previa								
<i>(Importante: Al enviar O/C, por favor sírvase incluir nuestro nro. de Cot.)</i>								
<b>Cotización no reserva Stock. Los valores no incluyen IVA, expresado en moneda nacional.</b>								
Sin otro particular y esperando que la presente oferta sea de su interés, se despide atentamente								
JUAN FLORES BIRCHMEIER <a href="http://www.orve.cl">www.orve.cl</a>								

(fuente: cotización comercial ORVE)

## Anexo 3

Charla 1: Marco teórico.



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD TECNOLÓGICA  
Departamento de Tecnologías de la Energía

**JAMES DÍAZ VELÁSQUEZ**

OPTANDO A LA TITULACIÓN  
INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

# ALTERNATIVA DE OPERACIÓN DE LA CORREA CV-03 MEDIANTE UN PARTIDOR SUAVE EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE MINERA CANDELARIA

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROGRA DE TITULACIÓN FLEXIBLE INTRODUCCIÓN

Este proyecto en general describe la implementación de un partidor suave en paralelo al variador de frecuencia existente que acciona el motor de la correa CV-03 en la etapa de molienda en la concentradora de Minera Candelaria.

El objetivo de este partidor es una alternativa de operación para la correa en caso de que falle el variador de frecuencia y así disminuir las pérdidas de producción.

En esta primera charla se expondrá una breve descripción de mi trayectoria profesional, descripción de la empresa, de los equipos, herramientas y accesorios para entender el desarrollo e implementación de este proyecto.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS



**Nombre**  
**James Gary Díaz Velásquez**  
**Edad: 64 años**

**Educación**  
**Técnico Universitario en mantención de equipos industriales**  
**Universidad de Antofagasta año egreso 1983**

**Ingeniería de ejecución en electricidad**  
**Universidad de Atacama año egreso 2015**

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS



### **Experiencia laboral**

#### **1994 a la fecha: Empresa Minera Candelaria**

En donde me desempeño como Técnico Eléctrico IV en la Concentradora.

Las funciones que realizo son: Mantención, reparación y modificación a circuitos eléctricos de diferentes equipos que intervienen en la línea de producción de concentrado de cobre, tales como, correas, bombas, molinos, puentes grúas. Etc.

Participo en conjunto con el departamento de ingeniería en la ingeniería conceptual y de detalles para la repotenciación de 4 molinos de bolas.

Con la empresa ABB en la actualización del accionamiento en media tensión tanto para la correa CV-02 como para el Chancador Primario.

Con la empresa Siemens en la actualización de los variadores de frecuencia de 6 bombas en el área de flotación.

Actualmente, apoyo en planificación para revisión y actualización de back look del área, crear avisos, órdenes de trabajo mediante SAP.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## 1985- 1994: Empresa Minera Mantos Blancos S.A.

En donde me desempeñe como encargado de turno de la guardia eléctrica interviniendo equipos desde el chancado primario ubicado en la mina subterránea, chancado óxido, lixiviación, precipitación, peletización, fundición y planta piloto de SXEW.

Planta de sulfuros con los procesos de chancado, molienda, flotación, filtrado y relaves.

Cursos de capacitación sobre accionamiento Molino SAG en Siemens Alemania en los años 2005 y 2011.

Ganador en el año 2012 del premio INVENTA en seguridad con el tema “CIERRE Y APERTURA A DISTANCIA DE INTERRUPTORES SIEMENS”

El programa inventa, implementado por la empresa, premia las mejores ideas en distintos aspectos como: seguridad, innovación tecnológica. Etc.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## Descripción de la Empresa



Minera Candelaria se ubica en la comuna de Tierra Amarilla, a 29 km al sur de Copiapó y se dedica a la producción de concentrado de cobre. El mineral es extraído desde una mina a rajo abierto y desde las minas subterráneas Candelaria Norte, Santos, Alcaparrosa.

Las principales ventajas del distrito son su cercanía a importantes centros urbanos, una planta desalinizadora que la abastece de agua y un puerto propio para el embarque del concentrado.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

# PROGRA DE TITULACIÓN FLEXIBLE

## PRIMERA CHARLA MARCO TEÓRICO

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

### MARCO TEÓRICO

#### EL MOLINO SAG

Es un equipo muy utilizado en la minería para moler mineral, reducir su tamaño y hacerlo apto para las etapas siguientes del procesamiento de dicho mineral.



FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

Se caracteriza por ser de gran potencia, sobre los 12 MW.

Visualmente, tienen un gran diámetro.

SAG corresponde a las siglas de la palabra en inglés **Semi Autogenous Grinding** y que quiere decir molienda semiautógena.

La molienda semiautógena consiste en moler la roca con la ayuda de bolas de acero al interior del molino

## MARCO TEÓRICO

### LA CORREA TRANSPORTADORA

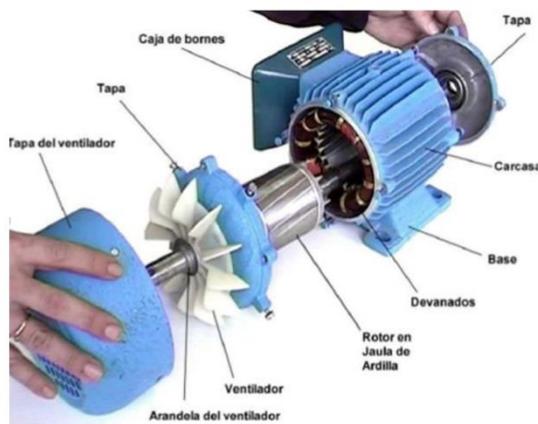


Es un sistema de transporte continuo usado en la minería para el transporte de mineral de un extremo a otro en forma rápida, segura y de bajo costo

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## MARCO TEÓRICO

### EL MOTOR DE INDUCCIÓN



Es un convertidor electromecánico capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica. Este tipo de motor también se denomina motor asincrónico, ya que una de sus características especiales es que la velocidad mecánica del eje bajo condiciones de régimen permanente nunca alcanzara la velocidad del campo estatórico.

Es el más utilizado en la industria por su robustez y simplicidad en su construcción, además requiere poca **mantención.**

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## MARCO TEÓRICO

### EL CONTACTOR



Es un dispositivo de control que mediante la energización de su bobina, cierra o abre sus contactos, dejando pasar o interrumpiendo el paso de la energía.

Su tamaño y capacidad depende de la corriente nominal del motor.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## MARCO TEÓRICO

### EL VDF



VDF corresponde a las siglas de **Variador De Frecuencia**.

Es un equipo en el cual su función es controlar la velocidad en el eje de un motor mediante un algoritmo matemático que modifica la frecuencia y el voltaje que se le aplica a un motor.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## MARCO TEÓRICO

### EL PARTIDOR SUAVE



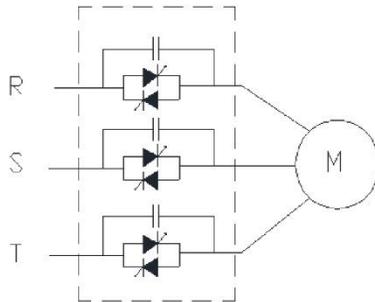
Los partidores suaves son controladores estáticos de energía que varían la potencia entregada a una carga, mediante el control del valor eficaz de la tensión de salida

Este método de partida se caracteriza por tener grandes ventajas como ahorro de energía, mínimo desgaste mecánico, evita golpes bruscos, reduce picos de corriente en el arranque y permite la opción de una parada suave del equipo.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## MARCO TEÓRICO

### EL PARTIDOR SUAVE



Se utiliza un algoritmo que controla tres pares de SCR en antiparalelo para arrancar y detener el motor.

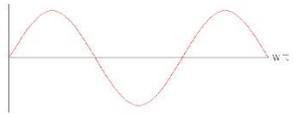
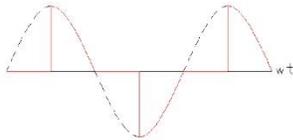
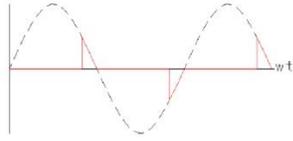
La orientación en antiparalelo de los SCR permite controlar el voltaje AC al cambiar el ángulo de disparo cada medio ciclo.

El voltaje se aumenta en forma gradual hasta el nominal.

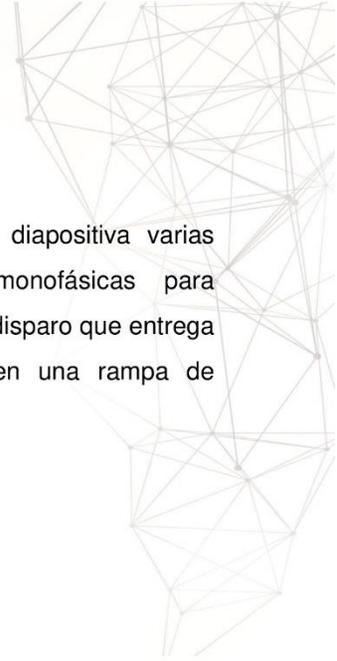
FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS



## MARCO TEÓRICO EL PARTIDOR SUAVE



Se muestran en esta diapositiva varias gráficas simplificadas monofásicas para diferentes ángulos de disparo que entrega el partidor al motor en una rampa de partida.



FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS



UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA

# GRACIAS...

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

Charla 2: Descripción del partidor suave.



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

---

**PROGRA DE TITULACIÓN FLEXIBLE**

**SEGUNDA CHARLA**  
**Descripción del partidor suave**

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE



---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE

**Funciones de protección:** sobrecarga, rotor bloqueado, falla a tierra, sobre corriente, inversión de fase, etc.

**Funciones de detección de fallo interno:** sobrecarga tiristor, tiristor en cortocircuito, pérdida de fase... Etc.

**Funciones de aviso o alarmas:** sobre-corriente, sobrecarga.

**Bypass integrado:** monitoreo del estado del contactor de bypass.

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE

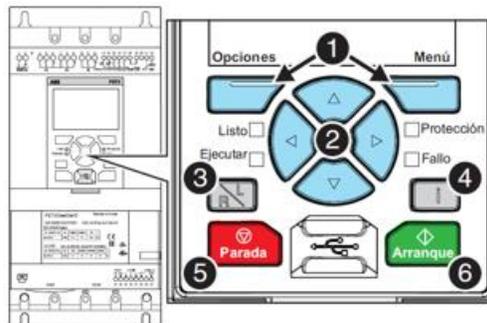


### PANTALLA HMI

- \* pantalla clara
- \* fácil de manejar
- \* remobile
- \* fácil acceso a la lista de menu

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE

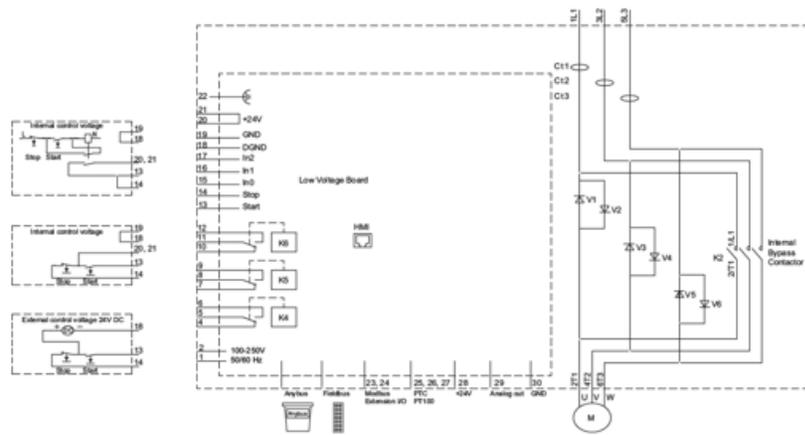
### Descripción de las teclas de la pantalla HMI



- 1.- teclas de selección
- 2.- teclas de navegación
- 3.- tecla local/remoto
- 4.- tecla de información
- 5.- tecla de parada
- 6.- tecla de partida

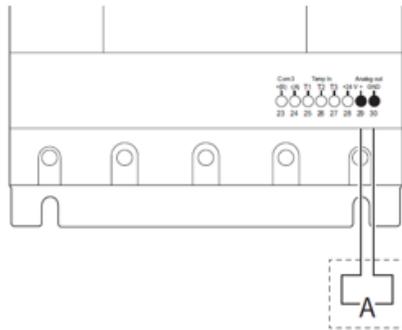
## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE

### ESQUEMA ELÉCTRICO CON LAS ENTRADAS Y SALIDAS PROGRAMABLES



FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

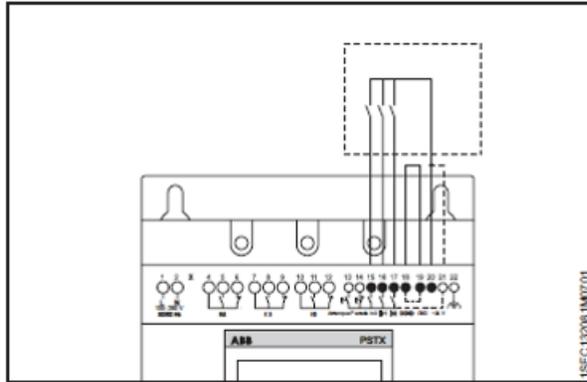
## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE



Salida análoga programada  
para monitorear la corriente del  
motor.

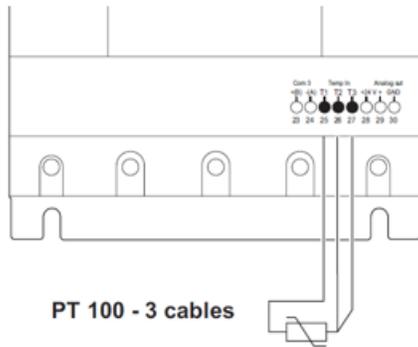
FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

### DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE



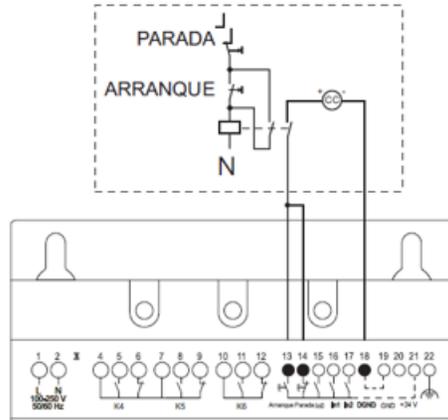
Entradas programables en puntos 15,16,17 a criterio del cliente.

### DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE



Posibilidad de monitorear la temperatura del motor mediante un sensor de temperatura del tipo PT-100 y mostrarla en el display de la HMI.

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE



Entradas 13 y 14 no programables dedicadas exclusivamente para la partida y parada del partidor suave.

## DESCRIPCIÓN DEL PARTIDOR SUAVE

### Comunicación por bus de campo

Para PSTX

### Conexión Anybus para PSTX

- Accesorio de conexión Anybus para el protocolo de comunicaciones apto para PSTX30 ... PSTX1250.

Protocolos de comunicación disponibles para PSTX	
Comunicación	PSTX
Modbus RTU	●
Profibus DP	●
DeviceNet	●
Modbus TCP	●
Ethernet/IP	●



Disponibles 5 protocolos de comunicación



GRACIAS...

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

Charla 3: Problemática, propuesta de solución y conclusiones.



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

---

## **PROGRA DE TITULACIÓN FLEXIBLE**

### **TERCERA CHARLA**

- \* Problemática**
- \* Propuesta de solución**
- \* Conclusiones**

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROBLEMÁTICA



Vista panorámica de la correa CV-03

La falla en una tarjeta que monitorea el voltaje y la corriente en el variador de frecuencia que acciona el motor de la correa, hace que esta se detenga y por consiguiente, el molino SAG al estar en secuencia directa.

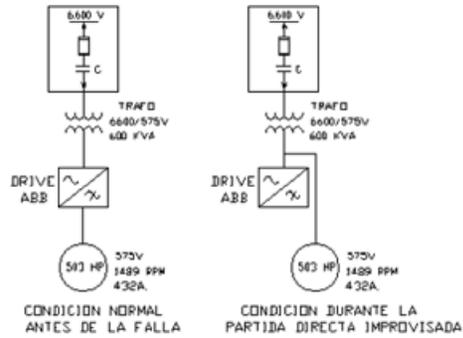
## PROBLEMÁTICA



Vista panorámica del molino SAG

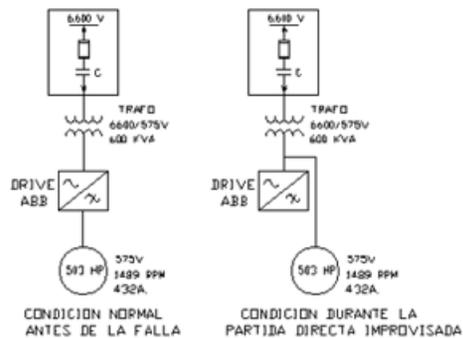
Al detenerse el molino por un tiempo largo, necesariamente se debe detener el proceso aguas abajo, esto es, el área de flotación y relaves debido a que no reciben alimentación desde la molienda y esto se traduce en pérdidas importantes de producción para la empresa.

## PROBLEMÁTICA



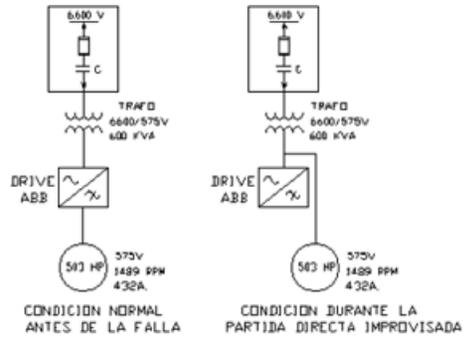
Dado que había un prolongado tiempo en que estuvo la correa detenida, y la necesidad de poner en servicio la planta, se optó por realizar una modificación en el circuito de fuerza y control para realizar una partida directa de la correa.

## PROBLEMÁTICA



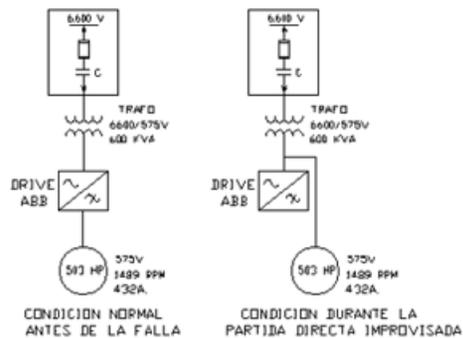
Esta partida improvisada tomó mucho tiempo en poder implementarse, retardando más la puesta en marcha de la planta debido a que hubo que reacomodar el recorrido de los cables de fuerza, modificar el circuito de control y las protecciones eléctricas del alimentador en media tensión.

## PROBLEMÁTICA



Además, esta improvisación en la partida tenía otras complicaciones tales como el estrés en componentes mecánicos (en el largo plazo posibles daños en engranajes, reductores) y en componentes eléctricos tales como corrientes excesivas en el motor.

## PROBLEMÁTICA



Se hacía necesario buscar una alternativa que mejorara todas esas condiciones adversas

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN



Se estudió y busco en el mercado un equipo que cumpliera la misma función que el VDF y además que cumpliera algunos requisitos tales como:

fácil de implementar, que ocupe un espacio físico reducido, que sea de bajo costo, capaz de soportar un arranque pesado, fácil de programar y que no necesitara un gran stock de repuestos.

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN



De entre las alternativas disponibles en el mercado se eligió un equipo con una tecnología de vanguardia y que no es muy masivo su uso aun en la minería para potencias relativamente altas.

El equipo en cuestión es un partidor suave de la marca ABB modelo PSTX-840

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### Instalación del partidor suave



Variador de frecuencia con el partidor suave

En detenciones programadas de la planta para realizar mantenciones preventivas y correctivas, situación que ocurre aproximadamente cada tres meses y que, estas detenciones programadas duran aproximadamente 90 horas, se aprovechó esa instancia para habilitar el circuito de potencia y control.

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### Instalación del partidor suave



Variador de frecuencia con el partidor suave

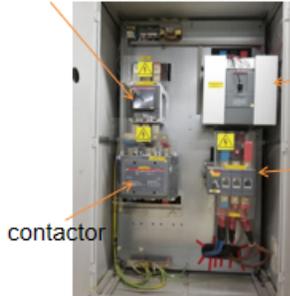
La incorporación del partidor en paralelo al drive requería reacomodar los cables de fuerza hacia el motor como también realizar las modificaciones del circuito de control.

En el lapso de tiempo de las 90 horas se dejó operativo el partidor suave

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

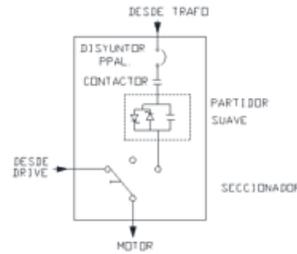
disyuntor



contactor

partidor suave

seccionador de 3 posiciones



Vista interior del partido suave

diagrama eléctrico del partido suave

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### Pruebas del Partidor Suave sin carga



Esta prueba consiste en poner en servicio el equipo sin carga y se realizan mediciones de parámetros eléctricos en un tiempo prudente.

El motor tiene una corriente nominal de 430 amperes y en vacío consume una corriente promedio de 100 amperes, estando dentro de valores normales.

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### Pruebas del Partidor Suave con carga



Se pone en servicio la correa alimentando con una carga normal de 180 toneladas por hora al molino SAG. Según la gráfica, el motor queda funcionando con una corriente de 180 amperes, por muy debajo de la corriente nominal del motor.

## CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

Es importante considerar que la productividad de una empresa aumenta en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo.

Por lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de técnicas de análisis y diagnósticos de fallas implementadas como también en la capacitación de las nuevas tecnologías.

La relevancia de este proyecto es asegurar la continuidad de la operación en el menor tiempo posible de la concentradora en caso de una falla en el VDF que acciona el motor de la correa CV-03.

## CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

Con este partididor suave se logra aporta con tecnología moderna al proceso productivo.

Cabe hacer notar que ante cualquier detención de la concentradora por más de una hora por falla en el VDF las pérdidas de producción son aproximadamente \$ 60 millones.

Con una inversión de \$15 millones en la implementación del partididor suave como alternativa de operación en paralelo al VDF se asegura una rápida respuesta en la puesta en marcha de la correa, disminuyendo notablemente los tiempos de detención y un ahorro de 4 veces la inversión en tan solo una hora de operación del partididor.

Las pérdidas por calor del partididor son mínimas y su operación es silenciosa.

---

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

# GRACIAS...

FACULTAD TECNOLÓGICA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

## REFERENCIAS

Stephen J. Chapman. (2000). *Máquinas eléctricas*. (3.<sup>a</sup> ed.).Mcgraw-Hill.

Daniel W. Hart. (2001). *Electrónica de potencia*. Pearson Educación.

ABB PSTX30-1250. (2016). *Manual de Instalación y puesta en marcha*. ABB.