



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

MONITOREO DE TEMPERATURAS EN MOTORES PRINCIPALES PALAS
4100A

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

Profesor guía: Sr. Juan Carlos Madrigal Lobos

Carlos Andrés Muranda Bugueño
Víctor Leonardo Cubillos Ardiles

Copiapó, Chile 2024

RESUMEN

Las palas eléctricas que se utilizan para la explotación minera contienen un número de motores eléctricos destinados a la activación de sus distintos movimientos requeridos para la operación, como lo son en modo excavación, giro, vaciado y avance de la máquina. La operación confiable de estos motores es la clave para asegurar una alta disponibilidad del equipo y para cumplir con los objetivos de producción. La falla más catastrófica en estos motores, son principalmente la elevación de temperatura, motivo por el cual se implementa el monitoreo de temperaturas al interior del componente, para evitar que el motor trabaje con temperaturas elevadas y fuera de los rangos de operación permitidos. De la variable mencionada anteriormente que es la temperatura, nace la idea de mejorar el monitoreo y el funcionamiento de los motores asociados a los movimientos principales, mediante la instalación de sensores de temperatura en el interior de los motores, lo cual nos permite el monitoreo continuo de la variable desarrollada en el interior del componente, este monitoreo origina un mayor control en las temperaturas de trabajo de los motores y a su vez un mayor rendimiento del componente y por último lograr demostrar un impacto positivo en la disponibilidad de la pala 4100 A, como también la reducción en los costos de falla.

PALAS ELECTRICAS - TEMPERATURA - AUTOMATIZACION

ABSTRACT

The electric shovels used for mining contain a number of electric motors intended to activate the different movements required for operation, such as in excavation, turning, emptying and advancing mode of the machine. Reliable operation of these motors is the key to ensuring high equipment availability and meeting production targets. The most catastrophic failure in these engines is mainly the rise in temperature, which is why temperature monitoring is implemented inside the component, to prevent the engine from working at high temperatures and outside the permitted operating ranges. From the variable mentioned above, which is temperature, the idea of improving the monitoring and operation of the motors associated with the main movements was born, through the installation of temperature sensors inside the motors, which allows us to continuously monitor the variable developed inside the component. this monitoring causes greater control in the working temperatures of the engines and in turn a greater performance of the component and finally to demonstrate a positive impact on the availability of the 4100 A blade, as well as the reduction in failure costs.

ELECTRIC SHOVELS - TEMPERATURE - AUTOMATION

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivo especificos.....	2
1.3 Metodología del trabajo.....	2
1.4 Resumen de capitulos.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Generalidades.....	4
2.2 Fundamentos del motor de corriente continua.....	5
2.3 Teoría básica del motor.....	6
2.4 Velocidad y par de un motor de corriente continua.....	7
2.5 Tipos de conexionado del motor corriente continua.....	9
2.6 Funcionamiento del motor de levante.....	10
2.7 Funcionamiento del motor de empuje.....	13
2.8 Funcionamiento del motor de giro.....	16
2.9 Funcionamiento del motor de avance.....	19
2.10 Enfriamiento del motor.....	21

CAPITULO III

DESARROLLO

3.1 Generalidades.....	23
3.2 Controlador Avant 800.....	23
3.3 Identificación del módulo AC 800.....	25
3.4 Software de control.....	29
3.5 Dirección de ethernet (MAC).....	29
3.6 Conexión del profibus DP-V1.....	30
3.7 Procesador AC 800.....	30

3.8 Indicadores led (diodos emisor de luz)	31
3.9 Interfase del profibus DP-V1.....	32
3.10 Indicadores led de estado profibus.....	33
3.11 Entradas y salidas remotas.....	33
3.12 Profibus-FMS.....	34
3.13 Profibus-PA.....	34
3.14 Profibus-DP.....	35
3.15 Profibus-DP-V1.....	36
3.16 Profibus DP-V1 maestros y esclavos.....	36
3.17 Estructura de la red profibus DP-V1.....	37
3.18 Sistemas de entradas y salidas remotas.....	37
3.19 Módulos electrónicos de entrada análoga.....	38
3.20 Módulos RTD de 2 entradas análogas.....	38
3.21 Asignación de terminales.....	39
3.22 Diagrama de bloque RTD.....	39

CAPITULO IV

MONITOREO DE TEMPERATURAS

4.1 Control de temperatura	40
4.2 Instalación sensores de temperaturas.....	40
4.3 Características RTD – PT100.....	42
4.4 ventajas del PT100.....	43
4.5 Existen 3 modos de conexión para los PT100.....	43
4.6 Consideraciones de las RTD	46
4.7 Temperaturas de trabajo normal en los motores.....	47
4.8 Temperaturas shut down (detención) de los motores.....	48
4.9 Configuración lógica de control AC800M.....	49
4.10 Monitor de temperaturas en pantalla táctil.....	50
4.11 Especificaciones de la pantalla táctil.....	51
4.12 Controles y conectores	52
4.13 Identificaciones de los puertos en la pantalla táctil.....	53

4.14 Indicaciones de temperaturas en pantalla táctil.....	54
4.15 Análisis de costos.....	56
4.16 Pareto fallas eléctricas.....	58
4.17 Indicadores de disponibilidad.....	60
CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXO A	
ACTUALIZACION DE PLANOS ELECTRICOS.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Movimientos de la pala.....	4
Figura N° 2.2: Motor eléctrico de corriente continua con ventilador.....	5
Figura N° 2.3: Diagrama esquemático. teoría básica del motor.....	6
Figura N° 2.4: Velocidad y par del motor.....	8
Figura N° 2.5: Símbolo motor de excitación independiente.....	9
Figura N° 2.6: Fuerza de excavación.....	10
Figura N° 2.7: Control del levante.....	11
Figura N° 2.8: Velocidad con respecto al torque de levante.....	11
Figura N° 2.9: Registro de un ciclo del movimiento de levante.....	12
Figura N° 2.10: Profundidad de corte y factores de llenado óptimo.....	13
Figura N° 2.11: Esfuerzo de empuje.....	14
Figura N° 2.12: Velocidad y torque motor empuje.....	15
Figura N° 2.13: Registro velocidad de empuje y la corriente de armadura.....	16
Figura N° 2.14: Tasa de aceleración y desaceleración versus peso en el balde.....	17
Figura N° 2.15: Velocidad de giro con respecto al torque motor de giro.....	18
Figura N° 2.16: Torque motor de giro con respecto a la velocidad de giro.....	18
Figura N° 2.17: Ciclos de giro típicos desde y hacia el camión.....	19
Figura N° 2.18: A Mayor Grado, mayor esfuerzo para propulsar.....	20
Figura N° 2.19: Torque con respecto a la velocidad del motor de propulsión.....	20
Figura N° 2.20: Motor típico de levante con ventilador centrífugo.....	21
Figura N° 2.21: Flujo de aire para el enfriamiento del motor.....	22
Figura N° 3.1: Controlador AC800M.....	24
Figura N° 3.2: AC800M con módulos de interface para profibus DP-V1.....	24
Figura N° 3.3: Identificación modulo AC800M.....	25
Figura N° 3.4: Diagrama bloque funcional del AC800M.....	26
Figura N° 3.5: Batería litio 3.6 V DC.....	27
Figura N° 3.6: Placa base.....	28
Figura N° 3.7: Etiqueta de la dirección ethernet.....	29
Figura N° 3.8: Procesador AC800M.....	31

Figura N° 3.9: Módulos de interface del profibus DP-V1	32
Figura N° 3.10: Estructura de la red profibus DP-V1	37
Figura N° 3.11: Asignación de terminales modulo RTD	39
Figura N° 3.12: Diagrama modulo RTD	39
Figura N° 4.1: Instalación sensores de temperaturas RTD	41
Figura N° 4.2: Regleta conexiones RTD. Ubicada en caja conexiones del motor	42
Figura N° 4.3: Grafica PT-100	42
Figura N° 4.4: Conexión PT-100 de 2 Hilos	44
Figura N° 4.5: Conexión PT-100 de 3 Hilos	44
Figura N° 4.6: Conexión PT-100 de 4 Hilos	45
Figura N° 4.7: RTD	47
Figura N° 4.8: Configuración lógica de control de temperatura AC800M	50
Figura N° 4.9: Controles y conector del panel	53
Figura N° 4.10: Gráficos de temperaturas en motores	54
Figura N° 4.11: Indicación de la actividad y condición del equipo	55
Figura N° 4.12: Indicación de falla y alarma del equipo	55
Figura N° 4.13: Pareto Eléctrico	59
Figura N° A.1: Conexionado RTD motor de giro	63
Figura N° A.2: Conexionado RTD motor levante	64
Figura N° A.3: Conexionado RTD motor giro interpolo	65
Figura N° A.4: Conexionado RTD motor levante interpolo	65
Figura N° A.5: Conexionado RTD motor empuje	66
Figura N° A.6: Conexionado RTD motor empuje interpolo	66
Figura N° A.7: Conexionado RTD motor propulsión campo	67
Figura N° A.8: Conexionado RTD motor propulsión interpolo	68

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Conexiones COM.4	30
Tabla N° 3.2: Indicadores LED.....	31
Tabla N° 3.3: Indicadores de estado de la interface profibus DP-V1	33
Tabla N° 4.1: Valores de temperaturas de trabajo normal de los motores.....	48
Tabla N° 4.2: Valores de temperaturas shut - down (detenciones) de los motores.....	49
Tabla N° 4.3: Costos de falla, costos variables, facturación.....	57
Tabla N° 4.4: Pareto fallas eléctricas.....	58

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 3.1: Coeficiente de temperatura de resistencia.....	48
Ecuación N° 3.2: Costo de la falla.....	58
Ecuación N° 3.3: Indicadores de disponibilidad.....	62
Ecuación N° 3.4: Indicador de disponibilidad anterior	62
Ecuación N° 3.5: Indicador de disponibilidad nuevo	62

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

El presente proyecto se refiere al monitoreo de temperaturas en motores principales de las Palas 4100 A, mediante la instalación de sensores de temperaturas en el interior de los motores asociados a los movimientos principales. Este equipo es uno de los más utilizados en faenas mineras a cielo abierto debido a la productividad que puede alcanzar en las operaciones de carguío del mineral, respondiendo a la tendencia de las empresas mineras de mover una mayor cantidad de material (mineral y estéril).

Esta pala necesita de 7 motores de corriente continua para llevar a cabo la extracción y carguío del mineral. Los movimientos principales son accionados por 2 motores para propulsarse, 2 motores para girar, 2 motores para levantar y bajar el balde y 1 motor para extender o retraer el mango del balde. Estos motores según su aislamiento pertenecen a la clase C (mayor a 180 °C), según la norma NEMA e IEC (Comision Electrotecnica Internacional, 2010).

Para garantizar la capacidad de obtener las tasas de rendimiento constante y los costos de producción optimizados se requieren equipos altamente confiables y productivos. Motivo por el cual se implementó el monitoreo de temperaturas en los motores de corriente continua, para mejorar la eficiencia y a la vez permitir el cumplimiento de la vida útil de estos componentes.

Con esta implementación se logra evitar que el motor sufra alguna falla catastrófica por trabajar con temperaturas fuera de lo establecido, como también monitorear en tiempo real los valores de temperaturas en las cuales se encuentra trabajando el motor.

El que un motor trabaje más frío, permite asegurar el cumplimiento de la vida útil del componente, evitándose de esta manera dar origen a problemas de detención en la operación del proceso de producción, también disminuye los tiempos de parada de las palas, ya sea por reparaciones mayores y por las detenciones no programadas.

1.1 Objetivo general

Mejorar el desempeño de los motores de movimientos principales de las Palas, mediante la instalación de sensores de temperaturas, para reducir los costos de reparación producidos por la sobre temperatura.

1.2 Objetivos específicos

- ✚ Realizar levantamiento en terreno, canalización e Instalación de los sensores de temperatura.
- ✚ Habilitar señales de control en programa centurión master del controlador lógico programable AC800M.
- ✚ Monitorear las temperaturas reales de trabajo y de detención del equipo.
- ✚ Analizar los resultados.

1.3 Metodología del trabajo

El presente proyecto está enfocado en el área de la Minería, especialmente en los equipos de carguío de mineral en mina a cielo abierto. Estas son Palas electromecánicas 4100A, que tienen la función de extraer el mineral y cargar a los camiones de alto tonelaje. Uno de los componentes más afectados en el sistema de carguío de la pala, es el aumento de temperatura en los motores de accionamientos principales.

Todos los motores incorporan sistemas de ventilación, por medio de ventiladores adosados al rotor que producen ventilación forzada de aire al interior de la máquina, éstos producen intercambio de calor hacia el ambiente por efectos de radiación, eliminando el exceso de calor en su interior y manteniendo la temperatura del motor dentro de parámetros de diseño. Las variaciones de temperatura influyen directamente en el funcionamiento del motor. Si se exceden tales condiciones, se incrementará la temperatura de la superficie de la máquina por sobre el límite, lo que resultará en daño de la máquina o menor vida útil.

De lo anterior se plantea la siguiente acción que es la implementación destinada a mejorar la eficiencia de un motor de inducción, como es la de instalar sensores de temperaturas al interior de los motores de accionamiento, para los movimientos principales de carguío de la Pala 4100A.

La metodología por utilizar, principalmente se lleva a cabo con la instalación de los sensores de temperatura al interior de los motores, y el montaje físico de los monitores con pantalla táctil en la cabina del operador, lográndose mantener el permanente monitoreo de temperatura de los motores, y evitar de esta manera que el componente sufra una falla catastrófica por esta condición de temperatura excesiva.

1.4 Resumen de capítulos

El Capítulo I, contiene la Introducción, objetivos generales, objetivos específicos y metodología del trabajo

El Capítulo II, contiene el Marco Teórico necesario para el proyecto.

El Capítulo III, contiene sobre el Controlador AC800M, plataforma de control autónomo.

El Capítulo IV, contiene el Monitoreo de temperaturas.

El Capítulo V, contiene las Conclusiones, y los resultados obtenidos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Generalidades de una pala

Una moderna pala electromecánica para la explotación minera utiliza un número de motores eléctricos destinados a la activación de sus diferentes movimientos requeridos para la excavación, giro, vaciado y avance de la máquina, ver la figura N° 2.1. La operación confiable de estos motores es la clave para asegurar una alta disponibilidad del equipo y para alcanzar los objetivos de producción. El entendimiento de los fundamentos básicos de los motores de corriente continua (CC), para la minería y los requerimientos claves de su mantención, permitirá a los usuarios de la pala optimizar el funcionamiento de dichos motores y maximizar su vida útil. Este trabajo entrega información clave al personal de la mina acerca de los motores eléctricos de corriente continua (CC), y cómo lograr un máximo rendimiento de éstos.



Figura N° 2.1: Movimientos de la pala.

Fuente: Peak performance practices motores electricos CC.

2.2 Fundamentos del motor de corriente continua

Los motores de (CC) en aplicaciones de palas para la minería, usan los mismos componentes básicos encontrados en todos los motores de corriente continua (CC), ver la figura N° 2.2.

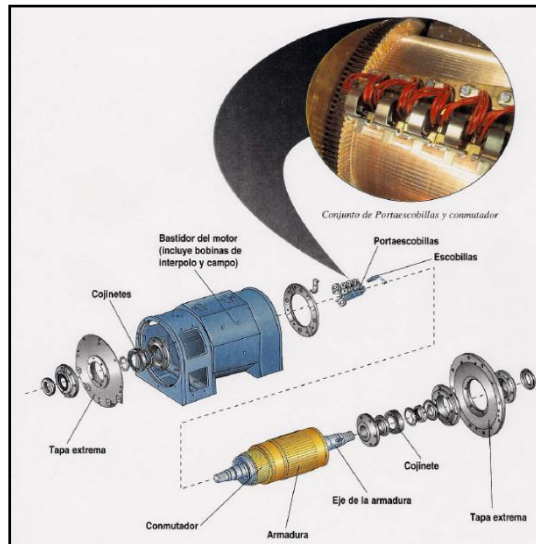


Figura N° 2.2: Motor eléctrico de corriente continua con ventilador.

Los motores de corriente continua (CC), tienen una capacidad nominal de hasta un máximo de 2100 Hp a 600 Volt. Estos motores están diseñados con una velocidad base más baja de lo usual y con un componente par motor notablemente alto para los Hp desarrollados.

Esto es de fundamental importancia para el funcionamiento de los movimientos de trabajo de la pala. Una velocidad base más baja y un componente par motor más alto optimiza la inercia del sistema, lo cual a su vez produce una característica de respuesta dinámica más rápida y una capacidad de control de velocidad más suave. Para los caballos de fuerza desarrollados, estos motores contienen grandes cantidades de materiales activos en los núcleos de laminación del acero y cobre en las bobinas y el conmutador.

Estos también se destacan por contar con conmutadores de gran diámetro y escobillas con densidad de corriente moderada, donde ambos contribuyen a un buen rendimiento de la conmutación sobre un amplio margen de cargas para el motor.

El diseño único de estos motores y la construcción resistente de sus componentes, entregan a las palas para la minería una fuente de poder confiable para miles de horas en las condiciones de trabajo más severas.

Estos componentes incluyen la armadura, el conmutador, las escobillas, las bobinas del campo y el bastidor del motor, ver la figura N° 2.3.

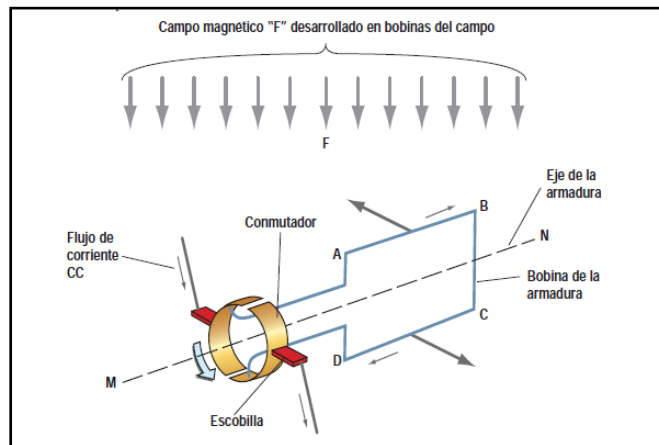


Figura N° 2.3: Diagrama esquemático. Teoría básica del motor.

2.3 Teoría básica del motor

La operación de los motores de corriente continua (CC), está basada en un descubrimiento clave hecho por Hans Christian Oersted en 1820. Oersted descubrió que cuando la corriente fluye a través de un alambre, se desarrolla una fuerza magnética alrededor de dicho alambre. La relevancia de esto en la operación de un motor eléctrico es que cuando se ubica un alambre energizado con corriente eléctrica muy cerca de un campo electromagnético, el alambre energizado será ya sea atraído o repelido por la fuerza

del campo magnético. La atracción o repulsión de este alambre depende de la polaridad de los campos magnéticos del alambre y de los imanes del campo.

Este concepto relativo a la operación de los motores de corriente continua (CC), para la minería se indica en el esquemático de la figura N° 2.4. Una fuente de tensión externa envía corriente por medio de escobillas y un conmutador a través de los segmentos de alambre AB y CD (bobinas de la armadura), en la dirección indicada. El campo magnético F (también llamado flujo o inducción magnética), desarrollado por la corriente que fluye a través de las bobinas del campo, crea luego una fuerza en los alambres de tal forma que girará el lazo (armadura), en el eje MN (eje del motor).

A medida que el lazo de alambre gira, las fuerzas que mueven el lazo comienzan a disminuir, y si no se invierte la corriente después que el lazo haya girado 180 grados, el lazo no continuará girando en la dirección indicada. Por esta razón el conmutador se divide para que la polaridad de los conductores que van hacia la bobina de la armadura se invierta a medida que la bobina gira.

2.4 Velocidad y par de un motor de corriente continua

La Velocidad y el Par Motor, de un motor de corriente continua (CC), opera bajo los mismos principios que un generador de corriente continua (CC), ver figura N° 2.4. Se produce una tensión que es proporcional a la densidad del flujo, multiplicado por el largo y por la velocidad. Así mismo, la tensión es proporcional a la densidad del flujo (B), multiplicado por las RPM.

Al exponer esta ecuación para determinar las RPM, se observa que las RPM son proporcional a la tensión aplicada al motor, dividida por el flujo. Ya que la densidad del flujo está determinada por la corriente del campo, las RPM son proporcional a la tensión dividida por la corriente de campo. Por lo tanto, a medida que la tensión aplicada al motor aumenta, el motor rotará más rápido.

Además, si la corriente de campo del motor es alta, el motor es más lento y si la corriente de campo del motor es baja, el motor es más rápido. En los equipos de excavación, los motores de corriente continua (CC), a menudo incorporan un ajuste de campo resistente y de campo débil. Esto permite al motor funcionar más rápido para una tensión dada en el ajuste de campo débil. Un ejemplo de esto es el movimiento de levante en una pala.

La figura N° 2.4 muestra una armadura con un largo de núcleo (l), y un conductor que pasa a través de la armadura a un radio (r), desde la línea central del eje. La densidad del flujo (B), ingresa a la armadura en el área de líneas cruzadas. Si la corriente fluye a través del conductor en la armadura y la armadura gira de tal forma que pasa por el conductor a través del flujo magnético, se producirá una fuerza en el conductor proporcional a la densidad del flujo, multiplicada por la corriente y por el largo del fierro de la armadura. El par motor está determinado por la multiplicación de la fuerza por el radio. Ya que el largo de la armadura de un motor se establece durante el diseño de la máquina, para cualquier máquina dada, el par motor es proporcional a la densidad del flujo multiplicado por la corriente en la armadura. A medida que la corriente aumenta en el motor de corriente continua (CC), su par motor de salida aumenta. Si la densidad del flujo es alta, al igual que en el ajuste del campo resistente, el par motor será alto. Y si la densidad del flujo es baja, como cuando el campo es debilitado, el par motor será bajo.

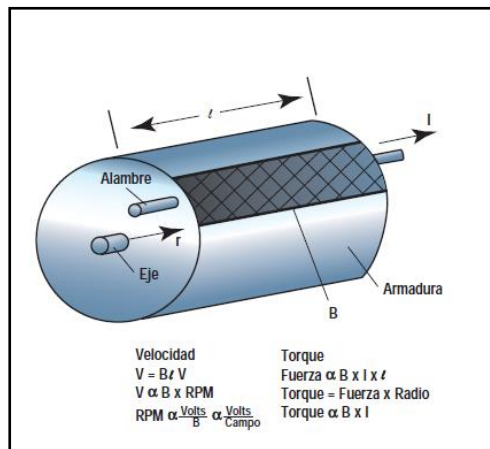


Figura N° 2.4: Velocidad y par del motor.

Al ver las ecuaciones para la velocidad y el par motor, el flujo de campo alto produce un par motor alto y baja velocidad, mientras que un flujo de campo bajo produce un par motor bajo y alta velocidad. Para variar la velocidad y el par motor de los motores tipo derivación (en shunt), usados en las palas, el sistema de control cambiará ya sea la tensión o el flujo (corriente del campo), dependiendo de los requisitos de la aplicación. El control apropiado de la tensión y el flujo asegurarán un rendimiento suave y dinámico de los motores, lo cual resultará en una pala altamente productiva. La habilidad para controlar la velocidad y el par motor de esta manera ha hecho de los drives para motores de corriente continua (CC), la opción de punta para el funcionamiento de los equipos de palas para la minería.

2.5 Tipos de conexionado del motor de corriente continua

Existen cuatro tipos de conexiones de motores de corriente continua (CC), clasificados por el tipo de devanados que estos incorporan: devanado con excitación independiente, ver la figura N° 2.5, devanado en serie; devanado en derivación; y de excitación mixta. Un motor de excitación mixta es aquel diseñado con ambos devanados de campo: en serie y en derivación. Cada tipo de motor tiene sus ventajas en diferentes aplicaciones, en términos del manejo de variaciones del par motor, de la velocidad y de la carga. Para propósitos de palas eléctricas para la minería, se utilizan motores con devanados en derivación.

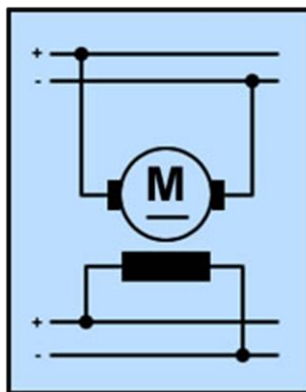


Figura N° 2.5: Símbolo motor de excitación independiente.

2.6 Funcionamiento del motor de levante

El movimiento de levante se produce cuando los motores giran el tambor por medio de la transmisión, para subir los cables de levante y jalar el balde hacia el banco. El tipo y el peso del material extraído afectan tanto el movimiento de levante como el de giro. El tamaño, la configuración del balde y la densidad del material extraído, determinan la fuerza de levante, o la tracción del aro necesarias para cumplir con los requisitos de excavación. Los tiempos del ciclo y la coordinación de los movimientos de empuje y giro, determinan la tracción y la velocidad requerida para el aro. La fuerza efectiva de excavación es el resultado de las fuerzas de levante y empuje, ver la figura N° 2.6.

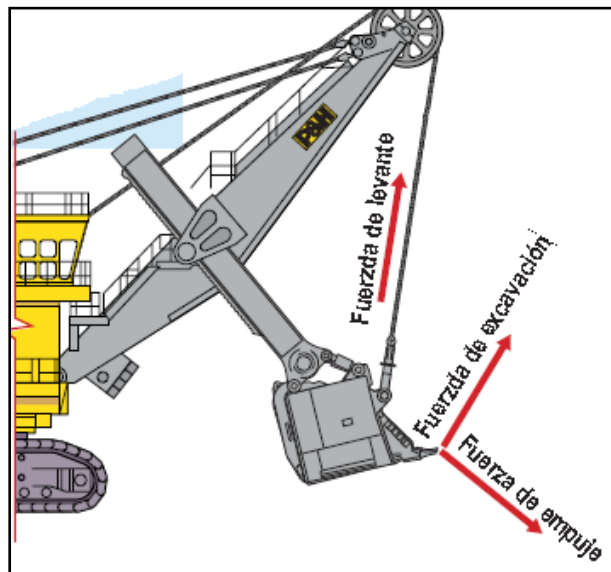


Figura N° 2.6: Fuerza de excavación.

El motor de levante está diseñado para cumplir con los requisitos de rendimiento del levante. La figura N° 2.7 representa un ejemplo de la capacidad de tracción y velocidad para levantar el aro. La figura N° 2.8 indica el funcionamiento de la velocidad y el torque del motor de levante para cumplir con los requisitos de tracción y velocidad del aro.

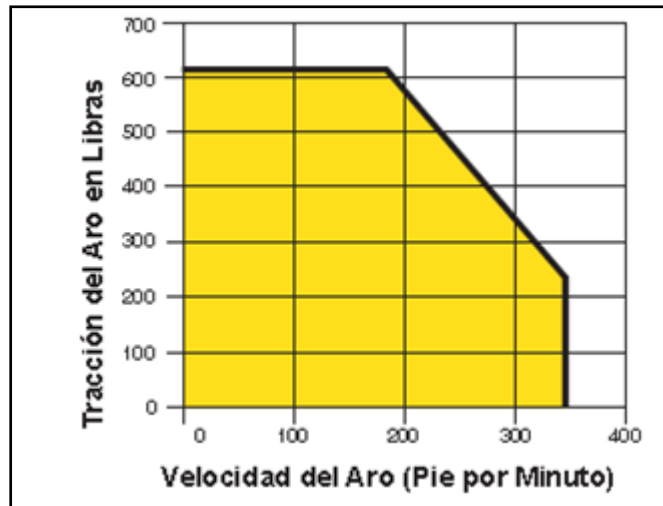


Figura N° 2.7: Control del levante.

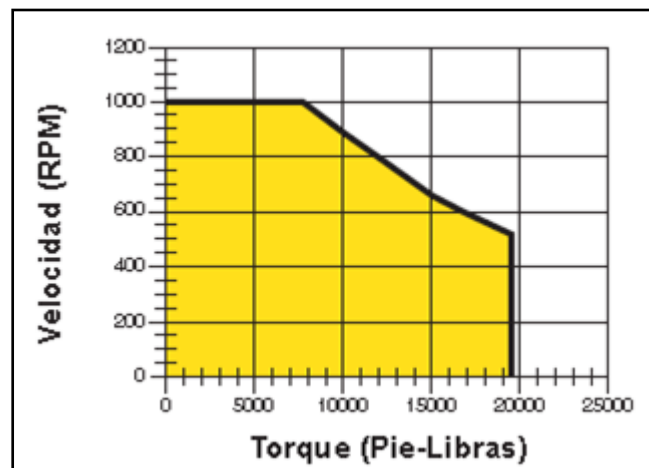


Figura N° 2.8: Velocidad con respecto al torque de levante.

El motor de levante está diseñado y dimensionado para manejar las cargas y las condiciones de operación, basados en cómo se utiliza efectivamente el motor respecto al régimen de trabajo. El funcionamiento efectivo del levante depende de la experiencia, habilidad y consistencia del operador.

Otros factores de diseño que deben ser considerados en la clasificación del tamaño y diseño del motor de levante, incluyen:

- a) Continuidad de la excavación en el banco después de llenar el balde.
- b) Levantamiento y bajada excesiva realizada por el operador, resultando en una corriente de aceleración y desaceleración más elevada.
- c) Condiciones extremas de excavación, tales como material tipo arena altamente resistente, o material rocoso irrompible debido a una voladura inadecuada.
- d) Suspensión excesiva con balde lleno mientras se espera por el camión.
- e) Sobre extensión del mango del balde, resultando en la tracción reducida del aro y corrientes de levante más elevadas.
- f) Metodología de la secuencia de excavación.

La figura N° 2.9, representa un registro efectivo de la velocidad y del torque del movimiento de levante (medido por la corriente de la armadura), durante un ciclo completo de excavación. El registro indica un perfil muy diferente de la velocidad y del torque, al compararlo con un ciclo ideal. Se evalúa el promedio o el nivel de corriente de RMS de los ciclos efectivos de excavación del levante, para determinar el tamaño del motor y su habilidad para disipar el calor generado por estas cargas.

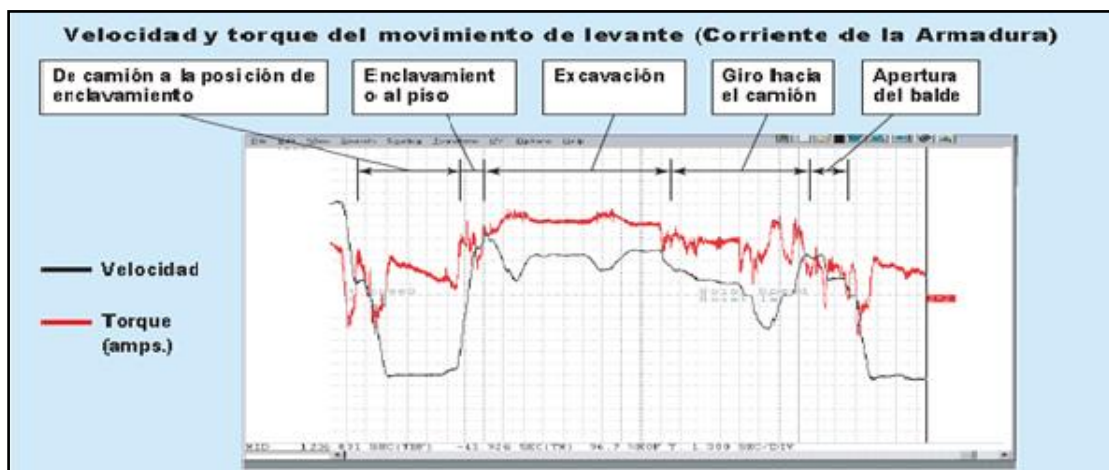


Figura N° 2.9: Registro de un ciclo del movimiento de levante.

2.7 Funcionamiento del motor de empuje

El motor de empuje opera en dos direcciones: directo hacia el banco (empuje) y en reversa desde el banco (recoge). El movimiento directo requiere suficiente resistencia (torque y velocidad), para empujar el balde hacia el banco y empujar sus dientes bajo suficiente material, con el fin de hacer uso efectivo de la tracción disponible del aro proveniente del movimiento de levante. Los movimientos de empuje y recoge, se usan también para mover el balde a la posición de enclavamiento, al inicio de la fase de excavación del ciclo de trabajo y para ubicar el balde sobre el camión para vaciar el material. El uso excesivo del movimiento de empuje resultará en la aceleración y desaceleración continua a niveles máximos de corriente y el constante ajuste del empuje puede conducir a la sobrecarga del motor de empuje.

La geometría de los labios y los baldes más anchos, están diseñados para entrar cortando hacia los bancos, en lugar de avanzar con gran esfuerzo a través de éstos. El movimiento de empuje se utiliza para controlar la profundidad del corte. Este movimiento no debe usarse para penetrar profundamente, con el fin de intentar levantar todo el banco.

Se deberá ajustar la profundidad de penetración, para permitir factores óptimos de llenado, ver la figura N° 2.10.

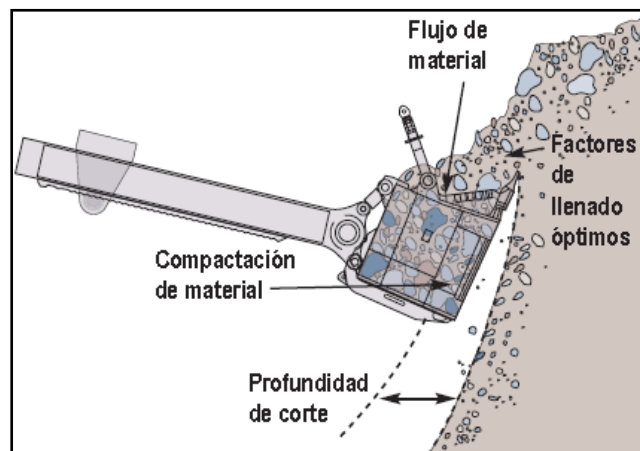


Figura N° 2.10: Profundidad de corte y actores de llenado óptimo.

No se pueden alcanzar factores adecuados de llenado sin una penetración adecuada, no obstante, una penetración excesiva provocará que el motor de levante funcione más lento o se trabe. Un buen operador monitoreará el equilibrio de las fuerzas de empuje y levante, para mantener el balde moviéndose en la potencia mediata máxima. Sí el balde se traba en el banco, los ciclos de tiempo aumentarán. Las tecnologías tales como el OptiDig™ de P&H, están diseñadas para impedir el trabamiento por medio de la detección de una condición inminente del trabamiento y el ajuste automático de la posición del empuje.

Para proveer la respuesta necesaria del empuje y del recoger, el motor de empuje genera la fuerza y la velocidad de empuje pie por minuto (fpm), del mango del balde. La figura N° 2.11, indica el funcionamiento del empuje (dirección positiva) y recoge (dirección negativa), para cumplir con los requerimientos de la pala. El motor de empuje está diseñado con un perfil de velocidad y torque específicos para cumplir con los requisitos de rendimiento del empuje.

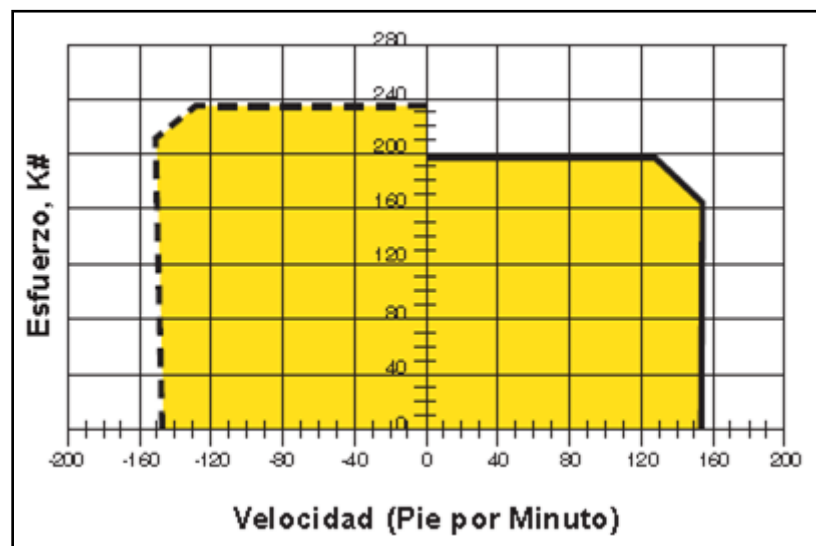


Figura N° 2.11: Esfuerzo de empuje.

La figura N° 2.12, es un ejemplo de los requisitos de velocidad y torque para un motor de empuje y representa los límites dentro de los cuales operará el motor.

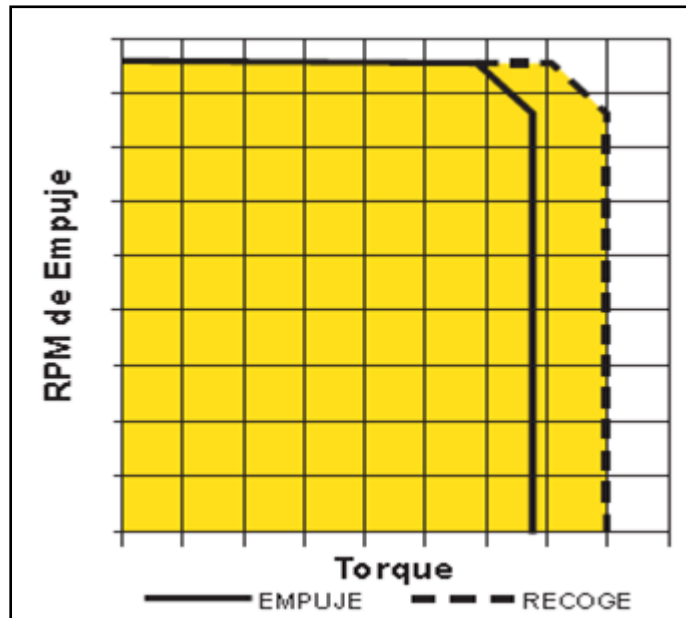


Figura N° 2.12: Velocidad y torque motor empuje.

El sistema de control regula la tensión y la corriente de la armadura y la corriente del campo, para mantener el rendimiento de la velocidad y del torque del motor dentro de estos límites. Basados en cómo se usan en realidad estos motores en el régimen de trabajo, el motor de empuje está dimensionado con el fin de manejar las cargas de operación y las condiciones de excavación. El régimen de trabajo ideal es aquel que puede lograrse por medio de la coordinación precisa de todos los movimientos. La operación actual del empuje consiste a menudo de movimientos adicionales del empuje y de cargas más elevadas, debido a la consistencia y a la experiencia menos que perfecta de parte del operador.

La figura N° 2.13, muestra un ejemplo de un registro actual del ciclo completo de excavación de la velocidad del movimiento del empuje y la corriente de la armadura. La corriente de la armadura representa la cantidad de torque generada por el motor de empuje. El registro indica un perfil muy diferente de la velocidad y del torque comparado con un ciclo ideal. El aumento en los movimientos de empuje provoca corrientes más elevadas de la armadura, debido a la aceleración y desaceleración.

Se evalúa el promedio o el nivel de corriente RMS de los ciclos reales de excavación del empuje, para determinar el tamaño y la capacidad del motor de empuje para disipar el calor generado por estas cargas.

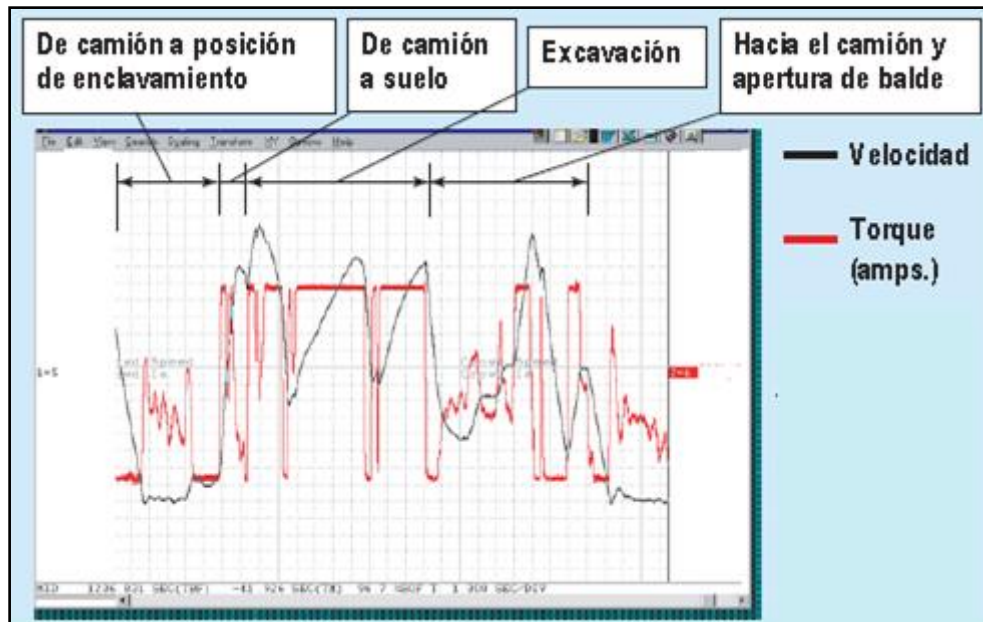


Figura N° 2.13: Registro velocidad de empuje y la corriente de armadura.

2.8 Funcionamiento del motor de giro

El movimiento de giro involucra la rotación de la totalidad de la sobre estructura hasta que el balde se ubica sobre el camión. El peso del material en el balde afecta la estabilidad de la máquina, como también la tasa de aceleración y desaceleración del giro.

El movimiento de giro comienza cuando el balde abandona horizontal y verticalmente el banco. La aceleración debe ser suave en la primera mitad del arco de giro y luego se inicia la desaceleración ver la figura N° 2.14. La aceleración y la desaceleración son proporcionales al movimiento controlador del giro.

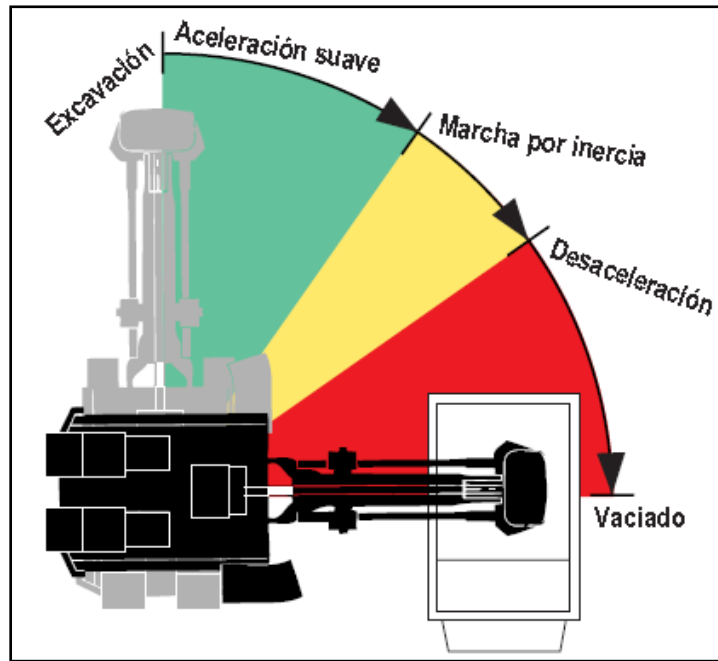


Figura N° 2.14: Tasa de aceleración y desaceleración versus peso en el balde.

El tamaño del balde, la inercia de la pala, el tonelaje del material, el tiempo de ciclo deseado y la coordinación de los movimientos de levante y empuje, determinan los requisitos para la fuerza y la velocidad de rotación del motor de giro. La figura N° 2.15, representa un ejemplo de la fuerza del giro requerida para el torque y la velocidad rotacional de la pala. El rendimiento de la velocidad y el torque del motor de giro está diseñado para cumplir con estos requerimientos. La figura N° 2.16, representa un ejemplo de los límites de operación de la velocidad y del torque del motor de giro, si se compara con el régimen ideal de trabajo de la excavación, el funcionamiento real del giro es muy similar.

Es muy probable que los operadores no usen toda la capacidad de giro debido al uso ineficiente de los movimientos de empuje y levante. El tamaño del balde, la velocidad global de la pala y la posición del camión pueden también limitar el uso del movimiento de giro de parte del operador.

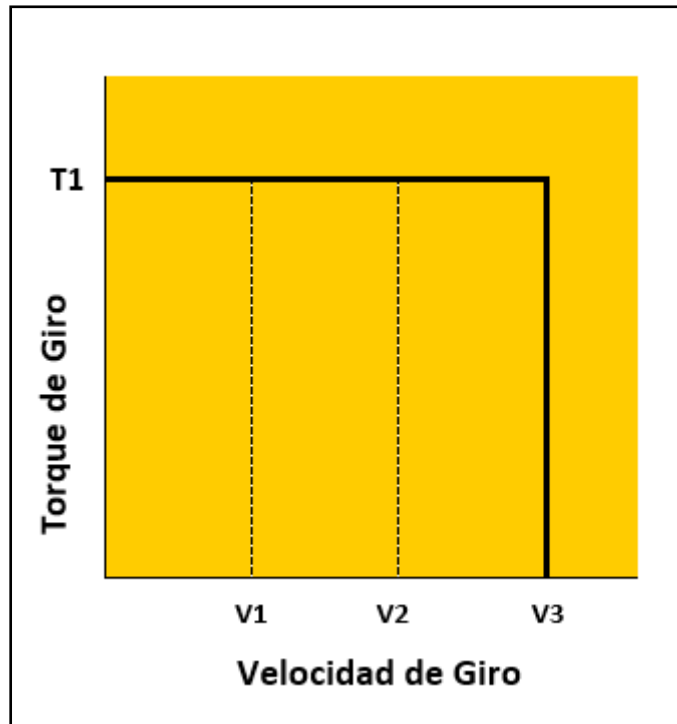


Figura N° 2.15: Velocidad de giro con respecto al torque motor de giro.

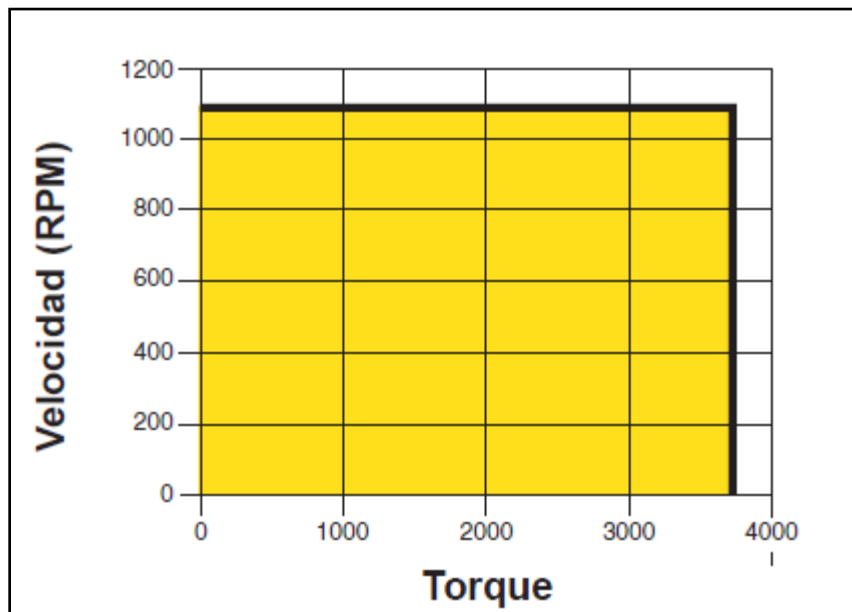


Figura N° 2.16: Torque motor de giro con respecto a la velocidad de giro.

La figura N° 2.17, muestra el registro de un ciclo típico de giro. Los dos gráficos representan la velocidad y la corriente (torque) del motor de giro, después de iniciar la apertura del balde.

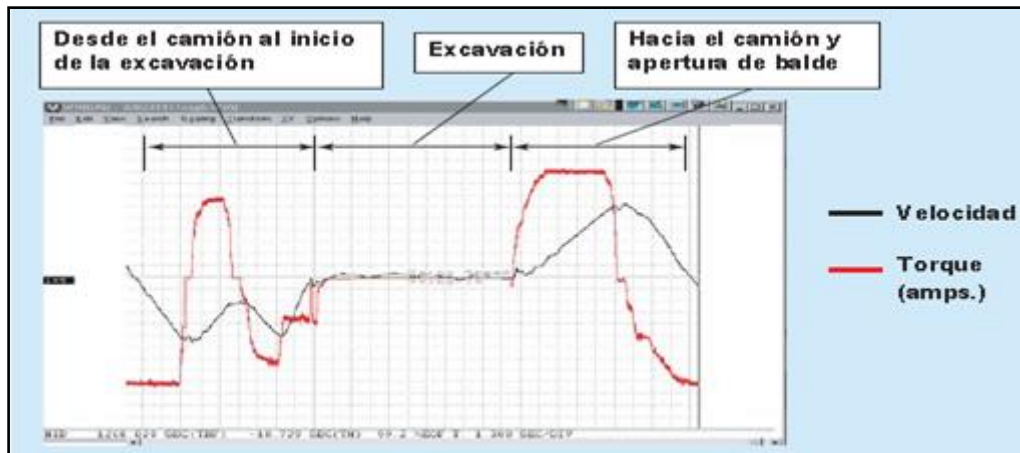


Figura N° 2.17: Ciclos de giro típicos desde y hacia el camión.

2.9 Funcionamiento del motor de avance

El movimiento de avance es usado para reubicar la pala con el fin de mantener una posición apropiada de excavación y para cambiarla de posiciones en el rajo. El avance requiere de una cierta cantidad de esfuerzo de tracción, basados en el siguiente criterio:

- Peso de la pala.
- Material del suelo del rajo.
- Tamaño de las zapatas de la oruga.
- Velocidad máxima de traslado.
- Grado de Inclinación.

Los motores de avance están diseñados para proveer la velocidad y el torque, para producir el esfuerzo de tracción requerido para mover la pala. La figura N° 2.18, muestra un ejemplo del esfuerzo de tracción y la velocidad de la pala en varios grados.

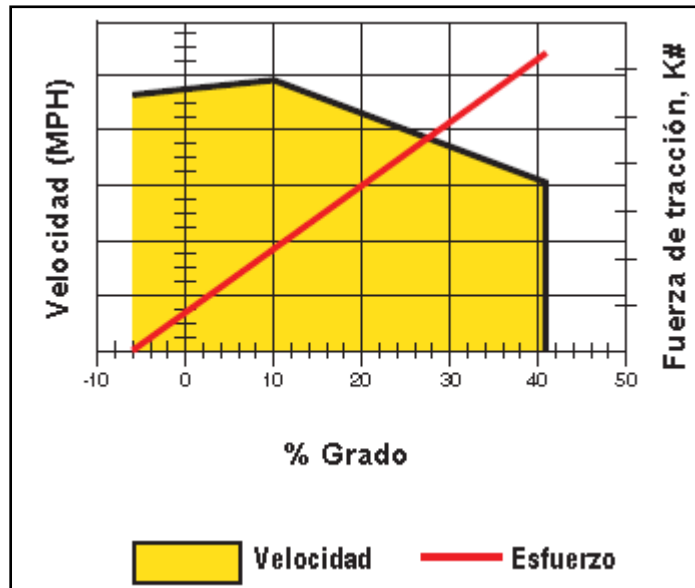


Figura N° 2.18: A mayor grado, mayor esfuerzo para propulsar.

El diseño del funcionamiento de la velocidad, con respecto al torque del motor de avance cumple con los requerimientos de avance, como se indica en la figura N° 2.19.

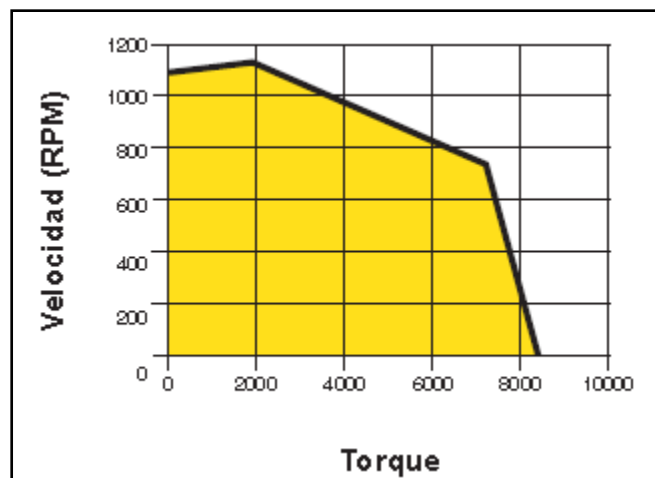


Figura N° 2.19: Torque respecto a la velocidad del motor de propulsión.

2.10 Enfriamiento del motor

Las pesadas cargas y las tasas de aceleración y desaceleración rápidas generan una enorme cantidad de calor en los motores de la pala. El calentamiento excesivo puede ocasionar un daño térmico a los materiales aislantes. El control del aumento de la temperatura requiere poner mucha atención a la ventilación del motor. Los motores del movimiento de la pala incorporan un ventilador tipo centrífugo montado directamente a la caja del motor. La figura N° 2.20, muestra la disposición de un montaje típico.



Figura N° 2.20: Motor típico de levante con ventilador centrífugo.

Como se indica en la figura N° 2.21, típicamente el ventilador deriva el aire a través de la entrada del ventilador y envía aire de enfriamiento directamente al motor. El aire fluye a través del motor sobre las bobinas y sale por la parte inferior, o el extremo del motor opuesto al ventilador.

La construcción interna del motor está diseñada para proveer los pasos del flujo de aire sobre y a través del conmutador y la armadura. La construcción de la bobina del interpolo y del polo principal, también proporcionan áreas con gran superficie para que el flujo del aire de enfriamiento elimine eficientemente el calor.

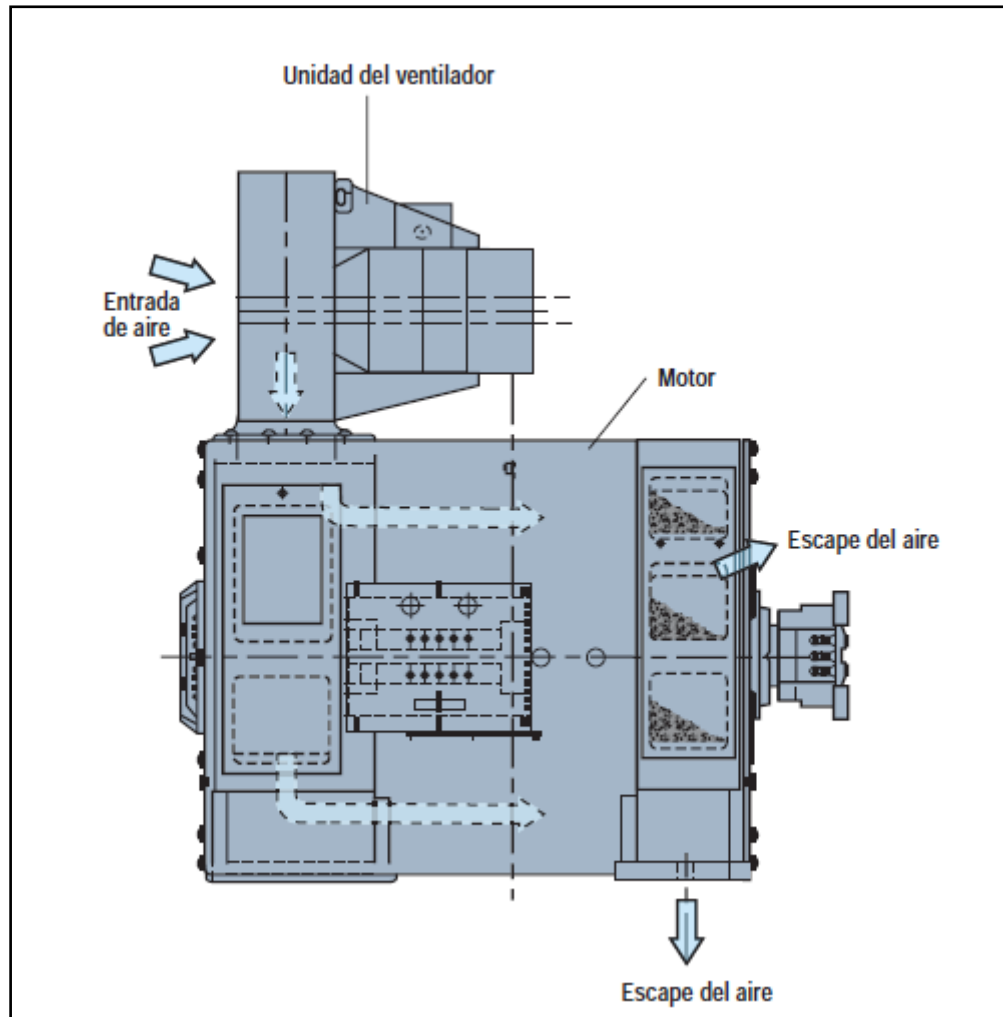


Figura N° 2.21: Flujo de aire para el enfriamiento del motor.

El volumen del aire requerido para los motores de las palas puede abarcar de 2,500 a 7,800 cfm (70.8 a 220.7 m³/min.), dependiendo del tamaño, aplicación y cantidad de calor generada por el motor. Los motores usados para operar los ventiladores generalmente varían de 4 a 20 Hp (2.98 a 14.91 kW).

CAPITULO III

CONTROLADOR AC800MM

3.1 Generalidades

Es de gran importancia mencionar, que para llevar a cabo el proyecto fue necesario estudiar el funcionamiento y el control de la Pala 4100 a cabalidad, la cual se encuentra bajo las instrucciones de una plataforma de hardware, responsable de controlar todos sus accionamientos. Esta plataforma se detallará a continuación.

3.2 Controlador Advant 800M

El AC800MM, refiérase a la figura N° 3.1, es una plataforma de hardware donde se pueden conectar las unidades individuales del hardware y el cual puede programarse para realizar múltiples funciones, dependiendo de la configuración específica de la unidad y del sistema de operación seleccionado.

Una vez configurado, la plataforma del hardware AC800MM se convierte efectivamente en el Controlador AC800MM.

Las unidades del hardware que conforman el Controlador AC800MM son:

- a) Unidades procesadoras.
- b) Módulos de interface de comunicación.
- c) Unidades fuentes de alimentación, incluyendo varios niveles de potencia de salida.
- d) Unidad de respaldo de batería.



Figura N° 3.1: Controlador AC800MM.

El Controlador AC800MM puede actuar como un controlador de proceso autónomo, o como un controlador para el desarrollo de tareas de control local, en una red de control compuesta por varios controladores. Se pueden conectar varios sistemas de I/O (entrada/salida), al Controlador AC800MM, ya sea directamente o vía Profibus DP-V1.

El Controlador AC800MM consiste en una unidad procesamiento central (CPU) y la placa base que aloja la tarjeta de terminación de la unidad. Esta se encuentra montadas en rieles horizontales DIN, refiérase a la figura N° 3.2. La placa-base porta la mayoría de las conexiones y alimentaciones a interfaces de comunicación, como también los buses externos y sistemas.



Figura N° 3.2: AC800MM con módulos de interfaz para profibus DP-V1.

3.3 identificación del módulo AC800MM

A continuación, se puede identificar los distintos puertos de conexiones, como se observan en la figura N° 3.3.

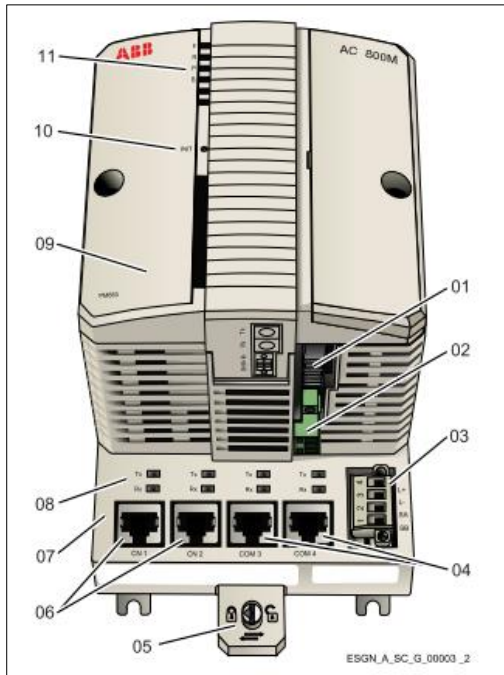


Figura N° 3.3: Identificación modulo AC800MM.

- 01) Puertos ópticos Tx/Rx.
- 02) Toma corriente de alimentación batería externa.
- 03) Toma corriente de señal de supervisión y fuente de alimentación.
- 04) Puertos COM3/COM4.
- 05) Dispositivo de bloqueo del riel DIN.
- 06) Puertos CN1/CN2
- 07) Placa base.
- 08) Indicadores de estado Tx/Rx.
- 09) Unidad procesadora.
- 10) Botón INIT.
- 11) Indicadores de estado LED.

Dentro de la Unidad Procesadora hay un tablero para la CPU y la Fuente de Alimentación, el tablero de la CPU contiene el microprocesador y la memoria RAM, los controladores para todas las interfaces de comunicación instaladas, el reloj en tiempo real, los indicadores LED y el pulsador de INIT. Refiérase a la figura N° 3.4.

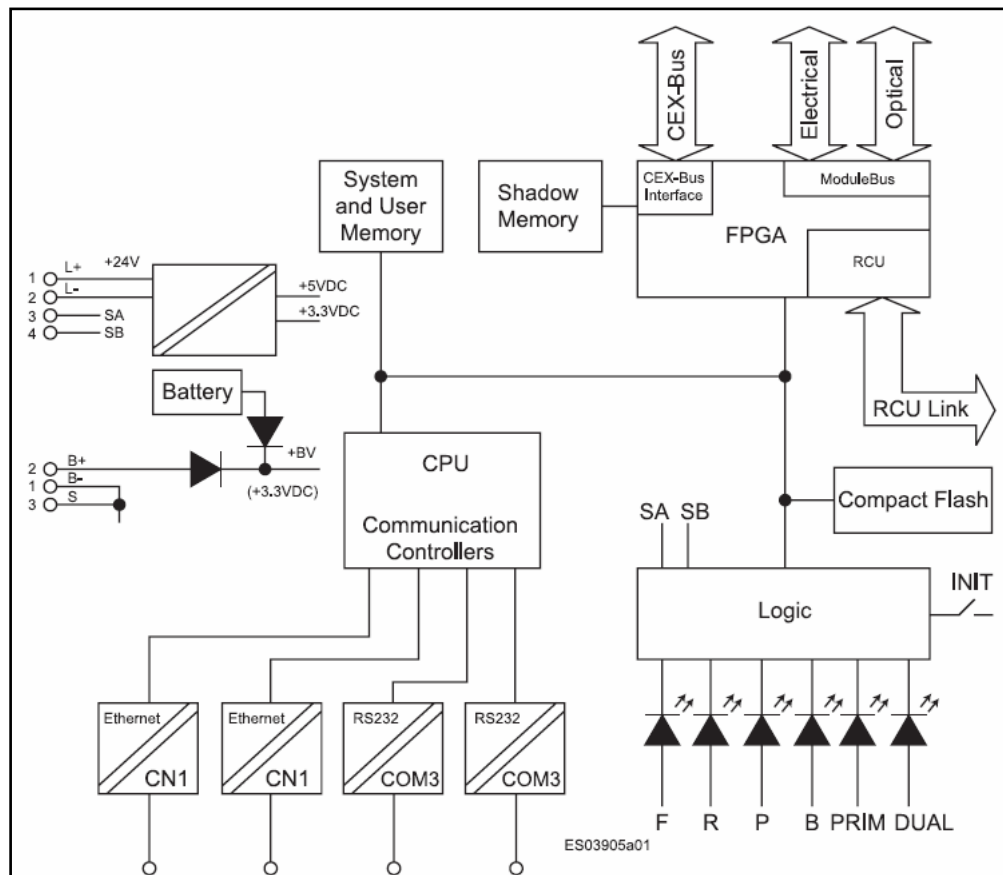


Figura N° 3.4: Diagrama bloque funcional del AC800MM.

La RAM incluida en la unidad del procesador, proporciona la función de “Memoria de Perfil” automática para la detección de errores de bit arbitrarios en la memoria.

- a) Todas las actualizaciones de la memoria están escritas tanto en la memoria primaria como en la memoria de “perfil” en paralelo.
- b) En cada ciclo de lectura de la memoria, se comparan los datos de las dos memorias.
- c) Si los datos no concuerdan, se fuerza una conmutación a línea de reserva.

El manejo de la memoria de “perfil” se realiza en el hardware y sin ningún retardo para el tiempo de ciclo de la memoria, el tablero de alimentación genera + 5 VDC y + 3.3 VDC aislados, a prueba de circuitos para la CPU y las unidades I/O.

El tablero también cuenta con drivers y recibidores opto-aislados RS232-C para la puerta de servicio, junto con el soporte de la batería de respaldo para la memoria / reloj de tiempo real (RTC). Refiérase a la figura N° 3.5.

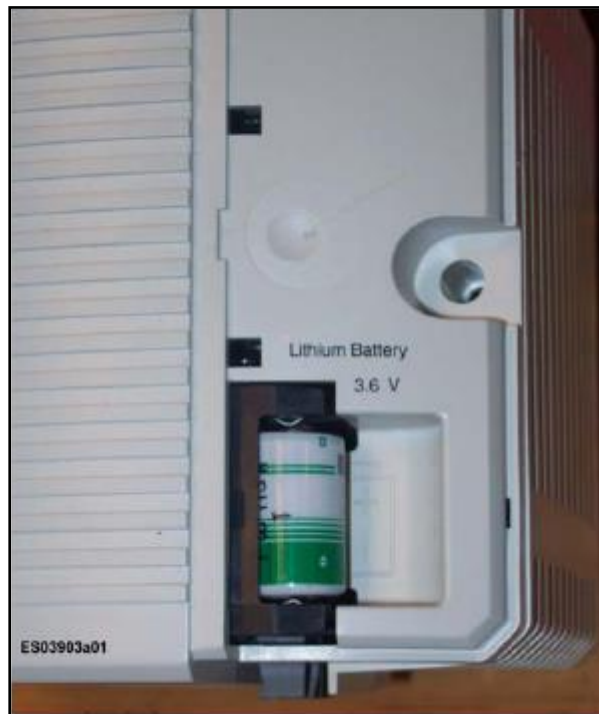


Figura N° 3.5: Batería litio 3.6 VDC.

La placa-base, aloja un panel de terminales donde se encuentran la mayoría de las conexiones externas, refiérase a la figura N° 3.6. El tablero está conectado a tierra al riel-DIN a través de los componentes metálicos de la caja. El panel de terminales cuenta con terminales o bornes de tornillos para el monitoreo de la fuente de alimentación y la fuente de alimentación redundante, con conectores para la red de control y la puerta serial, un conector para la puerta de servicio, ModeluBus y CEX-Bus.

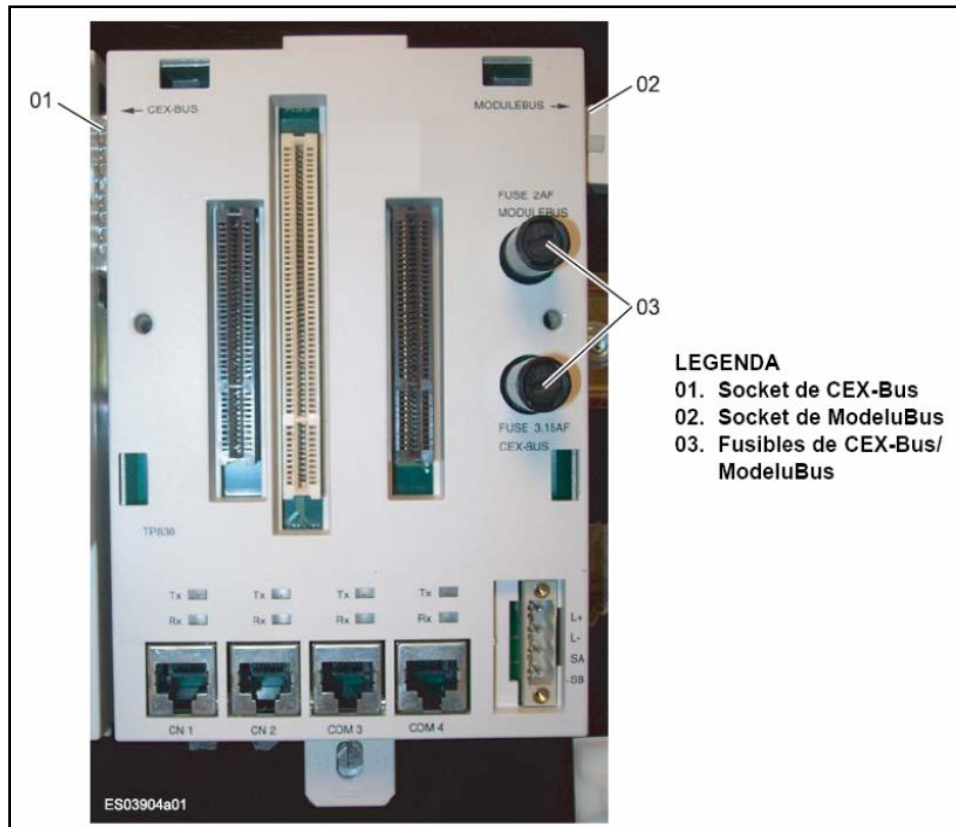


Figura N° 3.6: Placa base.

Se generan 24 VDC a la placa base y alimentan todas las unidades en la CEX-bus y la ModeluBus. En una CPU de configuración única es posible conectar un grupo de I/O S800, directamente al enchufe incorporado para la ModeluBus, ubicado a mano derecha de la placa-base. La unidad procesadora tiene un conector de bus para la expansión de comunicación ubicado a mano izquierda de la placa-base, esta CEX-bus provee unidades de comunicación adicionales para la extensión de puertas de comunicación a bordo.

3.4 Software de control

El software usado por el Controlador AC800MM se llama Software Control Builder. Es un nombre genérico para abarcar funciones usadas en el controlador. Estas funciones son proporcionadas por:

- a) Funciones del hardware (supervisión, buses de comunicación, buses de I/O).
Funciones firmware cargadas en el controlador (sistema ejecutor del tiempo real, reloj de tiempo real, comunicación redundante).
- b) Programas de aplicación cargados en el controlador (funciones de programación, protocolos de comunicación).
- c) Para producir una aplicación, es necesario usar la herramienta Control Builder M.
Esta herramienta es extremadamente versátil, la cual cuenta además con muchas funciones útiles para la configuración de sistemas.

3.5 Dirección de ethernet (MAC)

La placa-base cuenta con una dirección de Ethernet exclusiva (Dirección de Control Acceso a Medios (MAC)). Esta dirección es utilizada por el sistema de gestión de licencias para identificar el hardware. Para ordenar licencias para Software de Control, se debe cotizar siempre a la dirección exclusiva de Ethernet (MAC).

La dirección se puede encontrar en la etiqueta de la dirección de Ethernet (MAC), adjunta a la placa-base, como se indica en la figura N° 3.7.



Figura N° 3.7: Etiqueta de la dirección Ethernet.

3.6 Conexión del profibus DP-V1

El cable del Profibus DP-V1 se conecta por medio del conector hembra tipo DB9, ubicado en el TP854. La tabla N° 3.1, explica la conexión del Profibus DP-V1.

Tabla N° 3.1: Conexiones COM 4.

Pin	Designación	Descripción
1	Apantallado	Tierra de protección / Apantallado
2	-	No asignado
3	RxD/TxD-P	Recibe/Transmite Datos Línea P
4	CNTR-P	Indica dirección al repetidor (TTL)
5	DGND	Tierra digital
6	VP	+5V para resistencia de terminación
7	-	-
8	RxD/TxD-N	Recibe/Transmite Datos Línea N
9	DGND	Tierra digital

3.7 Procesador AC800MM

El Procesador AC800MM consiste en un Microprocesador de 48 MHz, y una memoria RAM de 16 MB, también tiene un soporte para la batería de 3.6 VDC, además 12 unidades de entradas y salidas pueden ser conectadas (12 x I/O) al module Bus eléctrico, ver figura N° 3.8. Otra característica es que dispone de Cuatro puertas de comunicación a bordo:

- a) CN1, Puertas ethernet (IEEE 802.3, 10 Base T).
- b) CN2, Puertas ethernet (IEEE 802.3, 10 Base T).
- c) COM3, Puerta serial con soporte de modem.
- d) COM4, Puerta serial para herramienta de servicio.

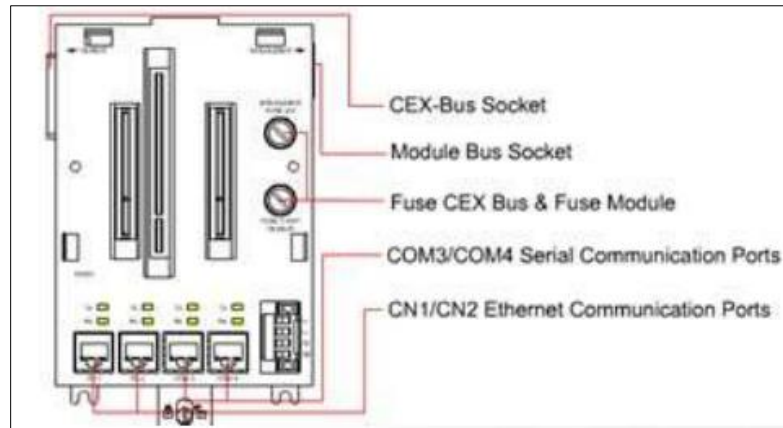


Figura N° 3.8: Procesador AC800MM.

3.8 Indicadores Led (diodos emisor de luz)

Los indicadores led, en el panel frontal del controlador, cumplen la función de indicar el o los estados en los cuales se encuentra el controlador. Ver la tabla N°3.2

Tabla N° 3.2: Indicadores led.

LED	Color	Función
F(ault) (falla)	Rojo	Estado normal – OFF Reinicio (INIT) temporalmente enciende F(ault). También puede ser operada por programa software.
R(un) (ejecución)	Verde	Estado normal – ON Reinicio (INIT) temporalmente apaga R(un). Al reiniciar presione el botón (INIT) (3 segundos o más) hasta que R(un) parpadee. También puede ser operada por programa software.
P(ower) (alimentación)	Verde	Estado normal – ON Cuando está encendida, indica que el convertidor de la CPU DC/DC está generando una tensión de suministro válida de +5VDC y +3.3VDC. Sin control por software.

3.9 Interfase del Profibus DP-V1

La unidad de la Interfase del Profibus DP-V1 y sus Placas-base asociadas, ver la figura N° 3.9, se usan para la conexión de I/O Remotas por medio de una puerta de acceso externa en el Profibus DP.

Pueden conectarse instrumentos de campo al AC800MM. La placa-base tiene dos conectores hembras DB9 para la conexión del Profibus DP, con soporte de redundancia de línea, la placa-base cuenta con un bloqueo de código que impide la instalación de un tipo de unidad incorrecta en la placa-base.

La unidad de expansión de la Interfase del Profibus DP-V1, contiene la lógica CEX-Bus, la CPU-Kernel con memoria, la Interfase del Profibus con unidad de redundancia de línea y un convertidor DC/DC que suministra los voltajes apropiados desde el suministro de + 24 VDC vía CEX-Bus. El Profibus DP debe ser terminado siempre en los dos nodos de salida.



Figura N° 3.9: Módulos de interfaz del profibus DP-V1.

3.10 Indicadores led de estado profibus

El módulo de interfaz del profibus, posee cuatro leds para indicar el estado operativo actual y el estado de diagnóstico en el cual se encuentra. Dichos leds señalizan los significados siguientes. Como se puede ver en la tabla N° 3.3.

Tabla N° 3.3: Indicadores de estado de la interfaz profibus DP-V1.

LED	Función
F(ault) / Rojo	Error de unidad detectado. Controlado por Software de Control. Ajustado y eliminado por Hardware durante el Reseteo del Controlador.
R(un) / Verde	Operativo. Controlado por Software de Control. Eliminado por Hardware durante el Reseteo del Controlador.
RxA / Amarillo	Datos recibidos en Línea A. Por cada telegrama recibido el LED parpadea aproximadamente 150ms.
RxB / Amarillo	Datos recibidos en Línea B. Por cada telegrama recibido el LED parpadea aproximadamente 150ms.

3.11 Entradas y salidas remotas

El sistema I/O Remoto, está basado en el estándar de comunicación Profibus. Profibus se define como un estándar fieldbus abierto para el uso en la manufactura y construcción de la automatización, como también en el control de procesos.

Profibus utiliza una red eléctrica basada en una línea de dos-cables protegidos o una red óptica basada en cable de fibra óptica. Profibus está estandarizado bajo el Estándar Europeo Fieldbus EN 50 170. Las versiones principales que se utilizan en la industria son:

- a) FMS.
- b) PA - 1 - P&H Mining.
- c) DP.
- d) DP-V1.

3.12 Profibus-FMS

La variante Profibus-FMS (fieldbus message specification o especificación de Mensaje fieldbus), entrega al usuario una amplia selección de funciones que, sin embargo, hacen más complejas de implementar en comparación a otras variantes.

Los poderosos servicios Profibus-FMS pueden utilizarse para resolver hasta las más extensivas y complejas tareas de comunicación. La variante Profibus-FMS soporta la comunicación entre sistemas de automatización, además del intercambio de data con dispositivos de terreno. Profibus-FMS, por lo tanto, puede utilizarse para un amplio rango de aplicaciones, operando a velocidades promedias de transmisión.

3.13 Profibus-PA

Profibus es un estándar de comunicaciones para buses de campo. El protocolo derivado PA (derivado de automatización de procesos), es un subconjunto de este estándar, orientado a las comunicaciones de instrumentos de proceso. Es decir, equipos que transmiten señales análogas como presión, temperatura, y otros. Profibus-PA y Profibus-DP son en esencia el mismo protocolo. Cambian el soporte físico y la velocidad. Por lo mismo la conexión entre ambas redes es muy simple.

Si la velocidad de Profibus DP es muy cercana, basta un conversor de medios, y la conexión se hace en un modo "transparente". El maestro de la red DP ve directamente los nodos de la red PA, con sus mismas direcciones. Y la comunicación es directa. En este esquema, varios segmentos PA pueden conectarse a una red común Profibus DP, sumando un total de 126 nodos. En el caso de que se requiera un troncal Profibus DP de mayor velocidad (hasta 12 Mbps), la comunicación se realiza a través de una Interfase DP/PA, que en el segmento PA hace las veces de maestro de la red, y en el segmento DP hace las veces de esclavo. Se comunica con los nodos PA y asignando direcciones en su memoria, para luego comunicarse con el maestro DP.

Este esquema es menos directo, pero permite compartir el troncal de alta velocidad, con otro tipo de señales discretas que son conectadas en forma directa en la red. A diferencia de las aplicaciones de automatización en la ingeniería de manufactura que requieren ciclos cortos (pocos milisegundos), otros factores son importantes en la automatización de procesos, como los siguientes:

- a) Técnicas de transmisión intrínsecamente seguras.
- b) Dispositivos de terreno son energizados sobre el cable bus.
- c) Data de transmisiones confiable.
- d) Interoperación (estandarización de funciones de dispositivos).

Los aspectos “intrinsic safety” (seguridad intrínseca) y “bus supply” (fuente de bus), no fueron tomados en cuenta cuando Profibus fue originalmente estandarizado. Solo cuando el estándar internacional IEC 1158-2 fue publicado en octubre de 1994, se encontró una técnica de transmisión adecuada internacionalmente especificada para esta área de aplicación y fue implementada en el estándar europeo EN 61158-2.

3.14 Profibus-DP

La variante Profibus-DP (periferia descentralizada), es la solución de alta velocidad de Profibus. Ha sido diseñada y optimizada especialmente para la comunicación entre sistemas de automatización y dispositivos de terreno descentralizados. Por lo tanto, Profibus-DP requiere menos de 2 ms (milisegundos) para la transmisión de 1K bytes de data de entrada y salida (input/output).

De esta forma hasta las tareas de comunicación más tiempo-críticas pueden ser resueltas. Cada dispositivo de terreno intercambia su entrada y salida con el dispositivo de automatización, dentro de un ciclo de tiempo. En la ingeniería de procesos al igual que en la automatización de procesos, tareas de operación y monitoreo, requieren un dispositivo de visualización adicional al dispositivo de automatización.

3.15 Profibus DP-V1

Debido a que las especificaciones originales del Profibus-DP no entregaban servicios especiales para estas tareas, las extensiones apropiadas para estas funciones fueron definidas en 1997.

Estas extensiones pueden implementarse opcionalmente y son compatibles con el protocolo actual de Profibus-DP y todas las versiones anteriores. Adicionalmente a los servicios de comunicación cíclicos Profibus-DP, también ofrece servicios no-cíclicos para mensajes de alarma, diagnósticos, parámetros y control de los dispositivos de terreno.

Profibus tiene tres versiones o variantes:

- a) DP-V0. Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones.
- b) DP-V1. Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.
- c) DP-V2. Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas

3.16 Profibus DP-V1 maestros y esclavos

El Profibus DP-V1 (máster links) vincula el AC800MM con el sistema remoto I/O. El Profibus DP-V1 (máster exchanges) intercambia data con los sistemas remoto I/O y monitorea el sistema bus del Profibus DP-V1. El sistema remoto I/O, o esclavos, preparan la data desde los dispositivos remotos que están conectados localmente al remoto I/O, para que estos puedan ser transmitidos vía del Profibus DPV1 al AC800MM.

3.17 Estructura de la red profibus DP-V1

La figura N° 3.10, muestra la estructura de red del PROFIBUS DP-V1. El máster del DP-V1, está integrado al sistema AC800MM. EL AC800MM tiene un Módulo de Interfaces Profibus DP-V1. Los esclavos DP-V1 son el sistema remoto I/O conectados al DP-V1 vía del Profibus DP-V1.

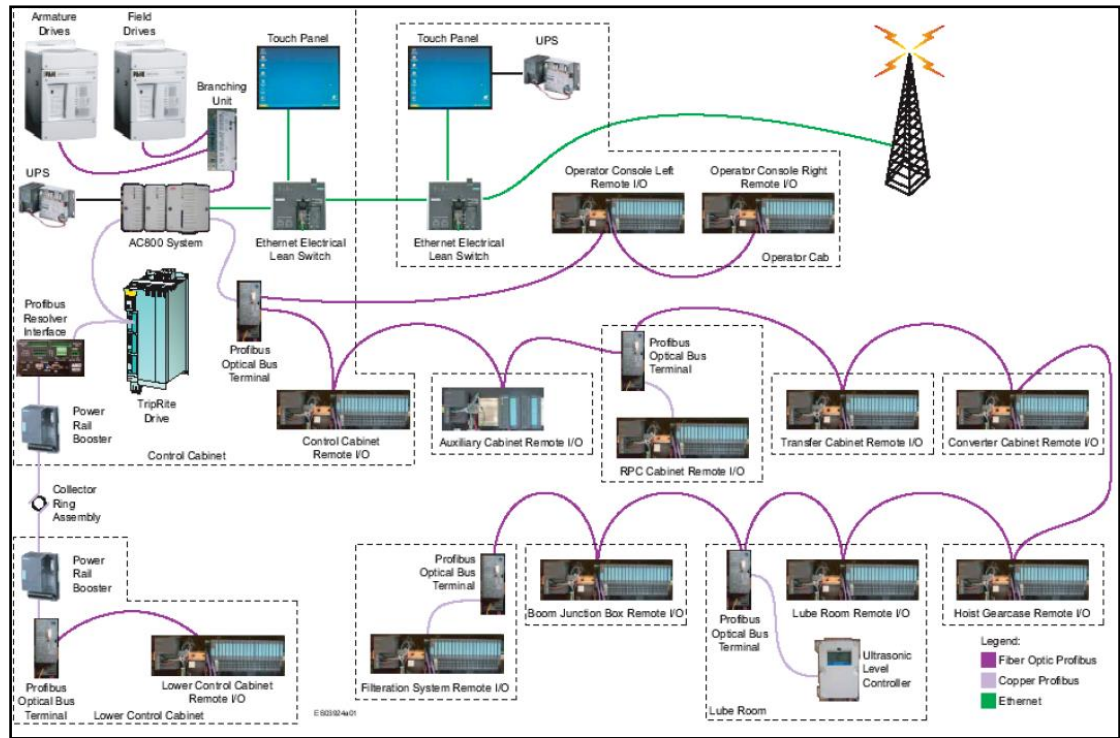


Figura N° 3.10: Estructura de la red profibus DP-V1.

3.18 Sistemas de entradas y salidas remotas

El Sistema Remoto I/O es un módulo esclavo DP-V1 finamente graduado y altamente flexible. Virtualmente cualquier número de módulos de I/O y en distintas combinaciones, pueden conectarse al lado adjunto al módulo de interfaces que transfiere los datos al máster DP-V1. La configuración del I/O puede ajustarse a un sin fin de requerimientos. Dependiendo del tipo de módulo de interfaces que se utilice, cada sistema remoto I/O puede consistir en hasta 63 módulos.

Por ejemplo, módulos de energía, módulos I/O, y arrancadores de motor. El hecho de que los arrancadores de motores pueden ser integrados (cambiando y protegiendo cualquier carga trifásica de hasta 7.5 kW), aseguran que el sistema remoto I/O puedan ser adaptado rápidamente.

El Sistema Remoto I/O consiste principalmente de varios módulos de terminales pasivos, a los cuales se les conectan los módulos electrónicos y arrancadores de motores. El Sistema está conectado al sistema bus Profibus DP-V1, vía de los conectadores del Profibus DP-V1 en el módulo de Interfaces. Cada Sistema Remoto I/O es un esclavo DP-V1 en el sistema bus Profibus DPV1.

3.19 Módulos electrónicos de entrada análoga

El rango de los módulos electrónicos de entrada análoga incluye módulos para la medición de voltajes y corrientes. Para la medición crítica de voltajes y corrientes, se pueden usar los módulos de alta velocidad:

- a) Los módulos de altas características (High Feature) entregan mayor resolución y exactitud.
- b) También están disponibles para conectar termocuplas y termómetros de resistencia o resistores.

3.20 Módulos RTD de 2 entradas análogas

El módulo RTD de dos entradas análogas posee las siguientes características:

- a) Entradas para los termómetros de resistencia o la medición de resistencia.
- b) Termómetros de resistencia: Pt100, Ni100; resolución de 15 bits +.
- c) Medición de resistencia: 150, 300, 600; resolución de 15 bits +.
- d) Aislado de la tensión de carga L+.
- e) Linealización característica en las curvas de los sensores.

3.21 Asignación de terminales

Los resistores / termómetros de resistencia son medidos en una conexión de cuatro conductores.

Estos resistores / termómetros de resistencia son alimentados por corriente constante mediante conexiones IC+ e IC-. El voltaje generado en estos resistores / termómetros es medido por medio de conexiones M+ y M-. Con esto se asegura que los resultados de la medición sean muy precisos con la conexión de cuatro conductores. En caso de la conexión de dos/ tres conductores, se aplican puentes correspondientes al módulo entre M+ e IC+ o M- e IC-. Ver la figura N° 3.11.

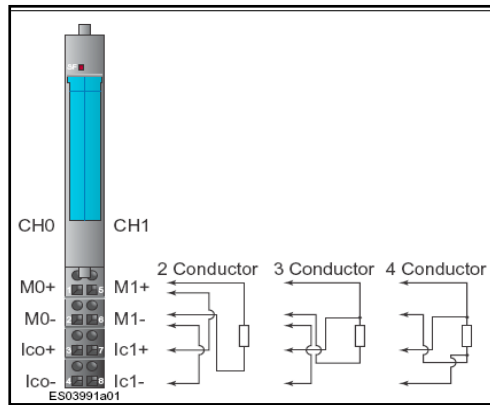


Figura N° 3.11: Asignación de Terminales Modulo RTD.

3.22 Diagrama de bloque RTD

A continuación, la figura N° 3.12, muestra el diagrama en bloque del módulo RTD de 2 entradas análogas.

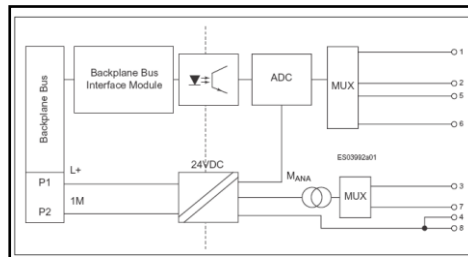


Figura N° 3.12: Diagrama Modulo RTD.

CAPITULO IV

MONITOREO DE TEMPERATURA

4.1 Control de temperatura

El registro de temperatura es cada vez más importante en el funcionamiento de los motores de corriente continua. El funcionamiento óptimo del motor dependerá de los rangos de temperaturas en los cuales se encuentra durante toda su operación, ya que las temperaturas altas dañarían las características propias de su aislación del bobinado, como también las bajas temperaturas y la humedad interna con la cual se encuentra el rotor como también el estator, estos dos últimos elementos principales son los que logran que el motor funcione. A continuación, se detallará la instalación de los sensores de temperaturas en los motores para obtener registros en tiempo real y a su vez monitorear temperaturas de operación de los motores principales de la pala.

4.2 Instalación de los sensores de temperaturas

Para llevar a cabo la instalación de los sensores de temperatura (RTD), al interior de los motores de corriente continua, se procedió utilizando el procedimiento del fabricante, para la instalación de los sensores. El procedimiento se mencionará a continuación mediante pasos.

Paso 1: Remueva los terminales del cabezal. Desarme la tapa del cojinete y la eslinga frontal externa. Retire el cojinete y tuberías frontales de grasa. Desensamble la eslinga trasera externa y el espaciador, retire las tapas del cojinete trasero, y la eslinga interna. Desensamble la conexión que va a la bobina del interpolo, a los conectores cruzados, caja de terminales, y conexiones, retire el conjunto de la armadura. Consulte la figura N° 4.1.

Paso 2: Reemplace las bobinas del interpolo superiores con bobinas del interpolo con RTD (02) y una de las bobinas inductoras adyacentes con una bobina en paralelo con RTD (01).

Paso 3: Introduzca las terminales de los RTD en la caja de terminales. Etiquete el block de terminales de manera que corresponda con las tomas de conexión de los RTD y conecte.

Paso 4: Enmangue las tomas de conexión de los RTD de los cojinetes (07) y subensamble a un nuevo cabezal de motor (03 y 05) con accesorios de compresión (08). Asegúrelos al interior de los cabezales con abrazaderas para cables (09) y tornillos autoroscantes.

Paso 5: Conecte las tomas de conexión del RTD de los cojinetes a los terminales del ensamblado del cabezal (13).

Paso 6: Reensamble todas las otras partes, nuevas y ya existentes.

Paso 7: Selle todas las uniones mecánicas y la maquinaria con el sellante para bridas FST-3.

Paso 8: Ajuste el neutro de la escobilla.

Paso 9: Trabe el neutro de la escobilla con el pasador de resorte (14).

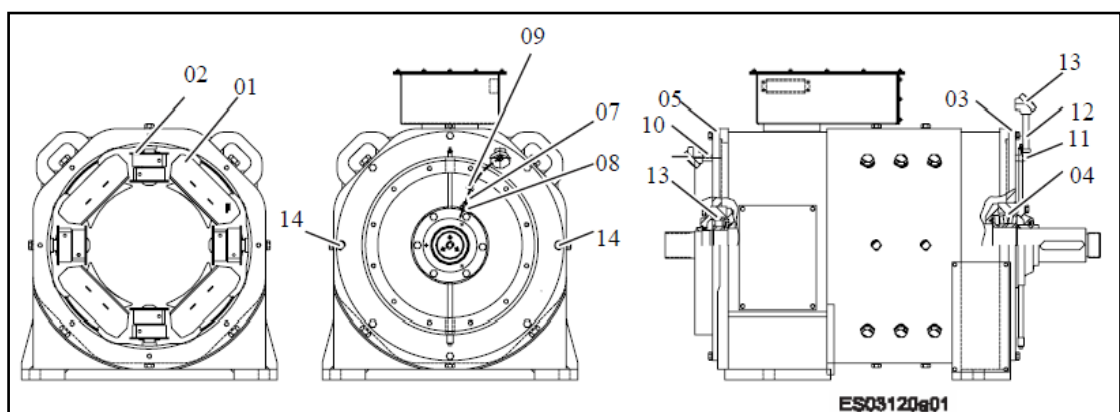


Figura N° 4.1: Instalación sensores de temperaturas RTD.

La figura N° 4.2 muestra el conexionado de los sensores de temperatura, los cuales se conectan en la regleta, para luego conectar con las líneas que saldrán hacia las tarjetas de entrada del Controlador Lógico Programable (PLC).



Figura N° 4.2: Regleta conexiones RTD, ubicada en la caja conexiones del motor.

4.3 Características RTD – PT100

Un Pt100 (platino temperatura 100) es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohm y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

La figura N° 4.3, muestra el incremento de la resistencia que no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

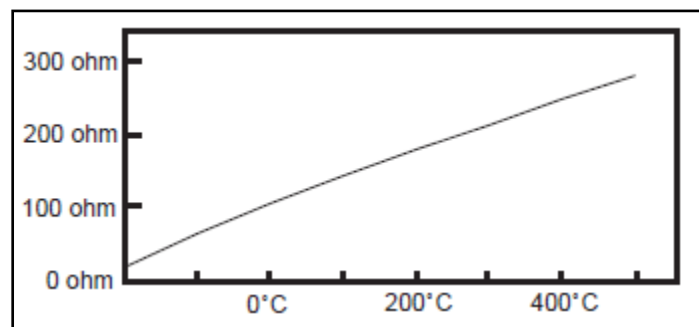


Figura N° 4.3: Grafica de una PT100.

Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo), normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

4.4 Ventajas del PT100

Por otra parte, los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado, con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas, donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave. Además, la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros), utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

4.5 Existen 3 modos de conexión para las PT100

Cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica $R(t)$ del elemento sensor de platino, sin que influya en la lectura la resistencia de los cables R_c .

A. Modo 1, el más sencillo de conexión (pero menos recomendado), es con solo dos cables. En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable, ver la figura N° 4.4. El lector medirá el total $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$ en vez de $R(t)$.

Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura.

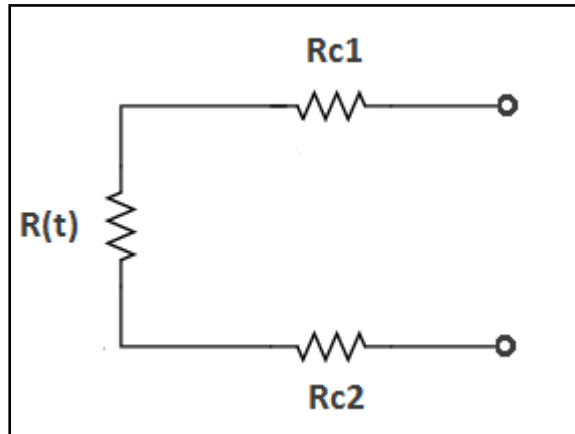


Figura N° 4.4: Conexión PT100 de 2 hilos.

B. Modo 2, conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables, ver la figura N° 4.5.

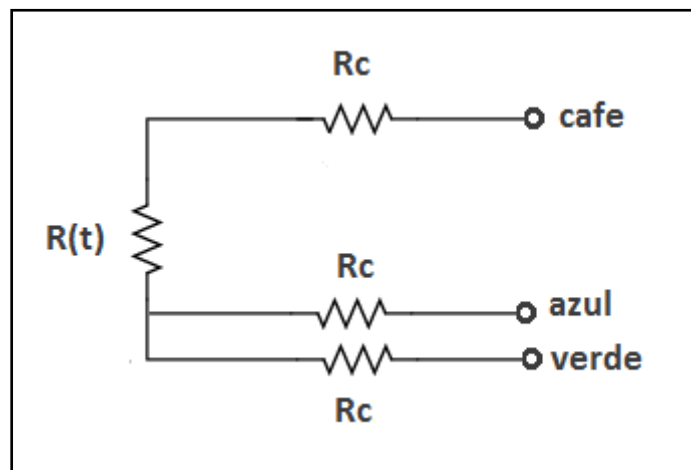


Figura N° 4.5: Conexión PT100 de 3 hilos.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica, pues el sistema de medición se basa por lo general en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

C. Modo 3, el método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia), pero el instrumento lector es más costoso, ver la figura N° 4.6.

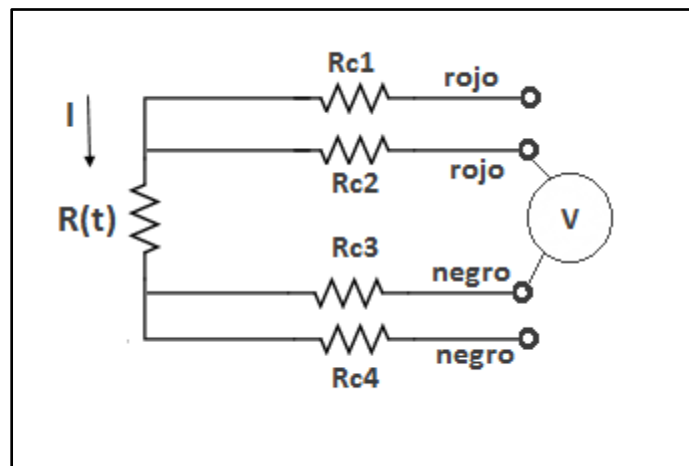


Figura N° 4.6: Conexión PT100 de 4 hilos.

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$, provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$.

Los cables 2 y 3 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia, luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($dv = I_c \times R_c = 0 \times R_c = 0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$.

Finalmente, el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir voltaje (V) medido entre la corriente (I) conocida.

4.6 Consideraciones de las RTD

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura, que son propias del elemento de detección. El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia”, que expresa a una temperatura especificada la variación de la resistencia en ohm del conductor por cada grado que cambia su temperatura. La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R = R_0 \times (1 + \alpha) \times \Delta T \quad (\text{Ec. N}^\circ \mathbf{4.1})$$

Donde:

- ✚ R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia T_0 .
- ✚ ΔT es la desviación de temperatura respecto a T_0 ($\Delta T = T - T_0$).
- ✚ α es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0°C , interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura.

El detector de temperatura de resistencia (RTD), se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500°C .

Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino, ver la figura N° 4.7. En cuanto a las desventajas, el platino encarece a los RTD, y otro inconveniente es el auto calentamiento.

Para medir la resistencia hay que aplicar una corriente, que por supuesto, produce una cantidad de calor que distorsiona los resultados de la medida.

En general no se debe montar un RTD en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.



Figura N° 4.7: RTD.

4.7 Temperaturas de trabajo normal en los motores

A continuación, en la tabla N° 4.1, se describen las temperaturas normales de trabajo, las cuales fueron configuradas utilizando la unidad de temperatura en grados Celsius, correspondiente a cada motor de corriente continua. En ella se indican los sectores de donde se encuentran instalados los sensores de temperaturas RTD.

Las temperaturas de trabajo normal se encuentran configuradas bajo las características de los componentes prefijados por el fabricante de dichos motores. El tipo de Aislamientos de los motores se caracterizan por los tipos de clase, convencionalmente identificados por una letra y contramarcados por la máxima temperatura durante el ejercicio, para esta clase es tipo H Temperatura 180 °C.

Tabla N° 4.1: Valores de temperaturas de trabajo normal de los motores.

MOTOR	RODAMIENTO LADO CARGA (°C)	RODAMIENTO LADO LIBRE (°C)	INTERPOLO (°C)	CAMPO (°C)
Levante Delantero	73.75	73.75	155	180
Levante Trasero	73.75	73.75	155	180
Propulsión Izquierda	73.75	73.75	155	180
Propulsión Derecha	73.75	73.75	155	180
Empuje	73.75	73.75	155	180
Giro Delantero	73.75	73.75	155	180
Giro Trasero	73.75	73.75	155	180

4.8 Temperaturas shut down de los motores

En la tabla N° 4.2, se describen los valores de las temperaturas de detención del equipo, esto quiere decir que cuando los valores registrados de temperatura independientemente sean del rotor o estator, el PLC discriminará como un valor condenatorio, procediendo posteriormente a la detención del equipo por encontrarse con temperatura de trabajo fuera de rango. Este evento origina una protección del motor, evitando una falla con potencial alto en cualquiera de sus partes, en sus componentes internos o externos de los motores. Con esta detención los motores logran enfriarse, ya que los motores no se encuentran energizados y por ende el paso de corriente no existe al interior del motor. De esta manera la temperatura interna del motor desciende a valores aceptables en un tiempo determinado, para luego continuar con su funcionamiento normal.

Tabla N° 4.2: Valores de temperaturas shut down (detencion) de los motores.

MOTOR	RODAMIENTO LADO CARGA (°C)	RODAMIENTO LADO LIBRE (°C)	INTERPOLO (°C)	CAMPO (°C)
Levante Delantero	90	90	171.25	220
Levante Trasero	90	90	171.25	220
Propulsión Izquierda	90	90	171.25	220
Propulsión Derecha	90	90	171.25	220
Empuje	90	90	171.25	220
Giro Delantero	90	90	171.25	220
Giro Trasero	90	90	171.25	220

4.9 Configuración lógica de control AC800M

A continuación, se muestra la configuración en el programa Centurión Máster del controlador lógico programable AC800M. Ingresando los valores de 220 °C (faul set point), para valor fuera de rango de operación del motor, por lo tanto, el programa da orden de detención en el funcionamiento de la pala en general. Por otra parte, se ingresa el valor de 185 °C (warning set point), como valor de alarmar en la operación del motor, indicándose esta alarma en el monitor (pantalla operador), en forma de gráficos de temperaturas, como también a que motor corresponde esta condición, registrándose la hora y fecha. Ver la figura N° 4.8.

Name	Current Value	Data Type	Attributes	Direction
Fault	false	bool		out
Warning	false	bool		out
AlarmMsgTes	false	bool		in
Templn		DintIO		in
FaultSetpoint	220.0	real		in
WarnSetpoint	185.0	real	retain	in
Ambient	0.0	real	retain	in
Reset_Fault	false	bool	retain	in
Deg_C	0.0	real	retain	out
LocationCode	U61XD2W	string[30]		in_out
OSEnable	false	bool		in
OpenSensor	false	bool		out

Figura N° 4.8: Configuración lógica de control de temperatura AC800M.

4.10 Monitor de temperaturas en pantalla táctil

El panel tiene una caja de aluminio cerrillado a precisión que se presta para condiciones duras. Son construidos para resistir terrenos rudos, lluvia, polvo, viento, temperaturas extremas, agua, etc. Con el amplio rango de voltaje de entrada entre 9 VDC y 36 VDC, el panel trabaja perfectamente con la pala minera sin la necesidad de una conversión de voltaje. El Panel incluye: (2) puertos Serial DB9, (2) puertos USB 1.1, puerto de Ethernet de 10/100, puerto de Audio, puerto de teclado y mouse DB9, (2) ranuras PCMCIA de Tipo II, Conexión de energía, un display de 15,1" 1024 x 768 XGA y una ranura de Tarjeta PC HDD iniciable (arrancable).

Diseñado para ser montado fijamente y requerir considerablemente menos espacio que un portátil montado o un computador notebook. Construcción en una sola pieza, completamente sellado y ultradelgado. La caja exterior está compuesta de dos mitades sólidas de aluminio cerrillado a precisión, aproximadamente 3/16" en espesor con disipación de calor pasivo integrado. El diseño asegura la robustez y la habilidad de aguantar temperaturas extremas.

4.11 Especificaciones de la pantalla táctil

El Panel al tacto ofrece una gran variedad de opciones para usos en aplicaciones y ofrece un display nítido y claro de 1024 x 768 XGA que es visible en luz de día. El display más grande permite abrir múltiples ventanas/aplicaciones y ofrece un ángulo de visión de 129 grados desde los cuatro lados. Esta pantalla o monitor se encuentra instalada en la cabina del operador de la Pala, el cual mantendrá contacto directo visual, de los registros de temperaturas de los motores en tiempo real, durante la operación de la Pala.

1. El Panel tiene un display de resolución de brillo de alto contraste de 1024 x 768. Procesador Intel Pentium III 700 MHz.
2. L2 Cache.
3. 256 kB ráfagas de conducción forzada.
4. RAM.
5. SODIMM 256 MB.
6. Display 15.1" Diagonal XGA.
7. Angulo de vista de 120°.
8. Luz reducible de 0-100 %.
9. Resolución XGA (1024 × 768).
10. Luminosidad 400 NIT.
11. Interface de Usuario.
12. Pantalla al tacto resistente y de alta resolución.
13. Puerto DB9 robusto de Teclado/Mouse.
14. Gráficos.
15. MB, acelerador 2-D y 3-D, DVD listo.
16. Almacenaje Flash Disk 1.8 GB to 6 GB, 2.5" ATA/IDE PC-Card slot for ATA/IDE (ranura de tarjeta PC para ATA/IDE).
17. Interfaces PCMCIA: 2 tipo II o 1 tipo III (PCMCIA 2.1) 16-bit.
18. Puertos Serial RS232C.
19. USB 1.1 A.
20. 1 Ethernet 10/100-TP, RJ 45.

21. 1 PS2 puerto de Mouse/Teclado compacto [cable adaptador PS/2 disponible].
22. Timbre, Micrófono, línea de entrada y de salida para CD.
23. Fuente de Energía 9 VDC – 36 VDC.
24. Sistemas Operativos Windows XP Interno (Embedded).
25. Medio Ambiente Temperatura Operativa: -20 C (-4 F) a 50 C (122 F).
26. Temperatura de Almacenaje: -30 C (-22 F) a 75 C (167 F).
27. Sello de Agua y Polvo: IP-54.
28. Humedad: 10 - 95 % RH, sin condensar.
29. Vibración: 5-500 Hz / 4.5 g RMS 3 horas XYZ (discos no rotativos).
30. Shock (Impacto): 30 g para 11 ms (discos no rotativos).
31. Accediendo a MILSPEC 810 E y 810 C.
32. Probada con vida útil altamente acelerada (HALT).
33. Caja de Aluminio Cerrillado a Precisión 14" (w) x 11" (h) x 2.5" (d).
34. 10 lb. (4.5kg).

4.12 Controles y conectores

Como se muestra en la figura N° 4.9, el botón de encendido prende y apaga el panel, el botón de reducción de luz se utiliza para aumentar o reducir la luz del display. La tarjeta de PC IDE, permite que un sistema computacional embutido pueda usar SRAM Tipo I, II y III SRAM, tarjetas PC Flash y ATA Flash.

Las ranuras de tarjeta PCMCIA, (Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria para PC), las ranuras de las tarjetas de PC adicionales pueden ser utilizadas como: tarjetas de radio, discos duros, tarjetas LAN, etc. El Conector de energía se utiliza para conectar el cable de energía voltaje de corriente continua al Panel. El puerto de Ethernet 10/100, es utilizado para poner el Panel en Red. El Ethernet manejará alrededor de 10 MB por segundo o 100 MB por segundo y puede ser usado con casi cualquier tipo de computador COM 1 y COM 2.

Los puertos COM 1 y COM 2 son utilizados para periféricos con interfaz en serie (RS 232), como un scanner o impresora, conector de teclado, utilizado para conectar un teclado o ratón PS/2. Puerto de Sonido, el puerto de sonido es compatible con SB16.

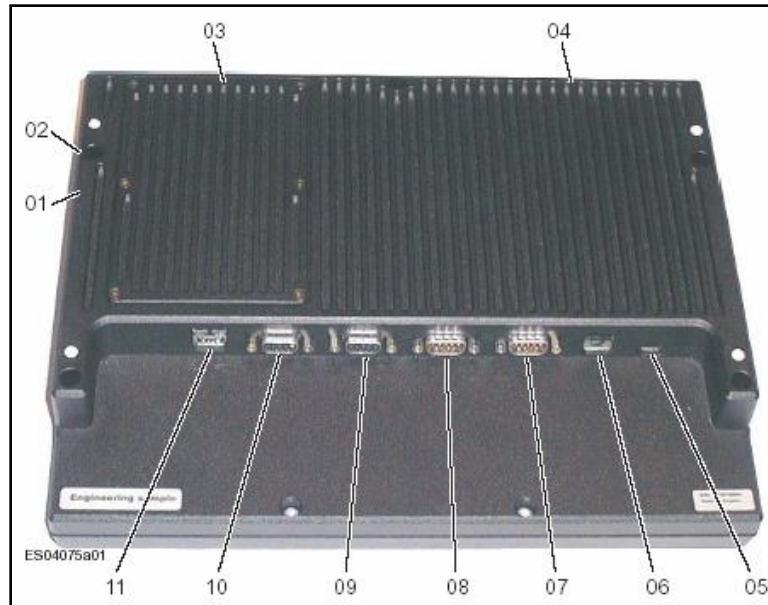


Figura N° 4.9: Controles y conector del panel.

4.13 Identificaciones de los puertos en la pantalla táctil

La pantalla táctil, está conformada por 2 botones uno de encendido y apagado y el otro botón de reducción de luz, además consta de 9 puertos, los cuales se detallan a continuación.

- 01. Botón de Encendido.
- 02. Botones de Reducción de Luz.
- 03. Tarjeta PC IDE
- 09. Teclado.
- 04. Ranuras de Tarjeta PCMCIA.
- 05. Conector de Energía.
- 06. Ethernet.
- 07. COM 1.

- 08. COM 2.
- 09. Teclado.
- 10. Portal de Sonido.
- 11. Portales USB.

4.14 Indicaciones de temperaturas en pantalla táctil.

La figura N° 4.10, muestra cómo se visualizan las indicaciones mediante gráficos y valores numéricos, las temperaturas de trabajo normal correspondiente a cada motor v/s los valores de temperatura para la detención del equipo, además registra la actividad en la cual se encuentra el equipo, indicando al operador que tipo de falla presenta la Pala, también indica al personal de mantención la posible falla en el sistema. La Pala 4100 A, cuenta con 2 pantallas instaladas, una de ellas se ubica en la cabina del operador y la otra pantalla se encuentra en el sector de la sala de máquinas, esta última es utilizada por el personal del área de mantención, para identificar fallas, revisar parámetros y configuraciones de funcionamiento.

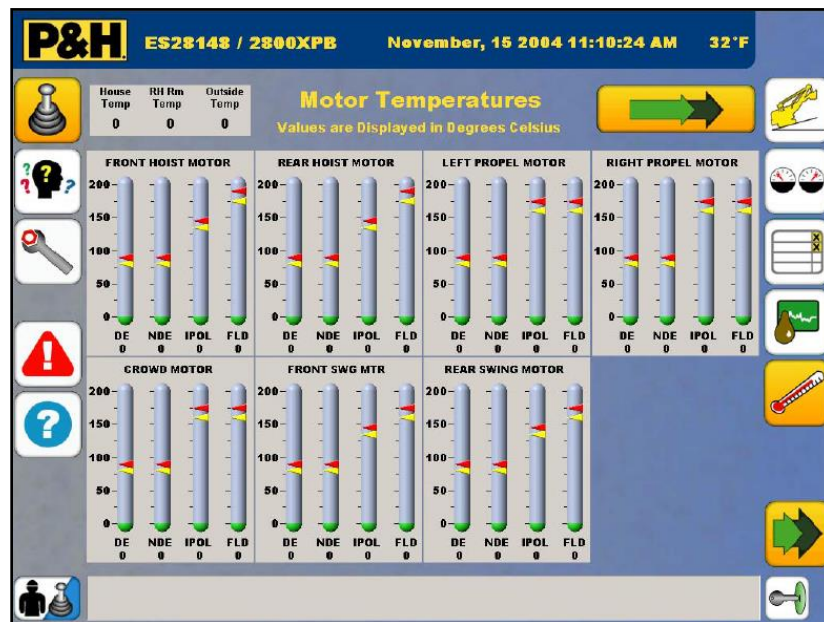


Figura N° 4.10: Gráficos de temperaturas en motores.



Figura N° 4.11: Indicación de la actividad y condición del equipo.

La figura N° 4.11 y N° 4.12 muestra y detallan las posibles fallas o eventos relacionados a las RTD de los motores indicando la hora y fecha de ocurrencia de la falla. Los datos registrados se pueden descargar mediante puerto pendrive, como también se puede visualizar en pantalla ubicada en sala de maquina como también en cabina del operador.



Figura N° 4.12: Indicación de falla y alarma del equipo.

4.15 Análisis de costo

Como se mencionó anteriormente en el punto 1.1 generalidades, en el equipo de extracción como lo es la pala 4100 A, consta de 7 motores de corriente continua, cada uno con accionamiento para realizar los movimientos de trabajo, como el de sacar el material del cerro y luego a cargar el camión de alto tonelaje.

Una Falla inesperada en el equipo de extracción, significa la detención por completo de la Pala, lo cual afecta directamente la disponibilidad, la confiabilidad y por ende la producción en general.

Una Pala detenida deja de producir aproximadamente: \$ 8.000.000 x hora. Si un motor principal de los ya mencionados anteriormente se viera afectado por una falla de sobre temperatura, este evento desencadena una serie de pasos a seguir para poder atacar o solucionar el problema a esta actividad no programada, por consiguiente, afectaría directamente los costos de la empresa. Ver tabla N° 4.3.

A. Costo de falla: Corresponden a las pérdidas de ingresos debido a la detención causada por mantenimiento.

$$Cf = \text{Facturación} - \text{Costos variables} \quad (\text{Ec. N}^\circ 4.2)$$

$$Cf = 13.514 \text{ (US$/h)} - 984,5 \text{ (US$/h)}$$

$$Cf = 12.529 \text{ (US$/h)}$$

$$Cf = 12.529 \text{ (US$/h)} \times 24 \text{ (h)}$$

$$Cf = 300.696 \text{ (US\$)}$$

$$Cf = \$ 186.747.000 \text{ (convertido a peso chileno).}$$

B. Costo de reparación por motor: El costo de reparación de estos componentes depende netamente del tipo de daño sufrido y de los alcances o solicitudes requeridas al momento de la reparación, es decir la reparación general del motor es: de unos \$ 50.000.000 de pesos, versus la reparación parcial o el reacondicionar con un valor de: \$ 12.000.000. de pesos.

Tabla N° 4.3: Costos de falla, costos variables y facturación.

cobre [lbr/año]	270.822.000	Flota	disponibilidad	utilización	días trabajados
precio cobre [\$us/lbr]	3,2	2800XP	86,70%	62,80%	16,33428
ingreso [\$us/año]	866.630.400	41100A	84,40%	70,50%	17,8506
ingreso [\$us/Hrs]	98.930,41				
Costo de cobre [us\$/lbr]	1,4				
Utilidad cobre n[us\$/lbr]	1,8				

media [Kton/mes]	media material extraído x mes 12-13	ley	Cu extraído [kton/año]
mineral alta	1.084	0,673%	7,294
mineral baja	290	0,268%	0,775
estéril	4.719	0,000%	0
suma	6.092		8,069
ley media	0,132%		

promedio leyes
 0,00673187
 0,00267571

libras extraídas	ton	Lbs	ley	Rec M	Rec trans	Lbs extr /hr
2800Xp	1.800	3.968.280	0,132%	92%	99,80%	4.826,34
4100A	2.800	6.172.880	0,132%	92%	99,80%	7.507,64

Facturación	libras vendidas/hr	Utilidad CU [us\$/lbr]	total [\$us]
2800Xp	4.826,34	1,80	8.687,41
4100A	7.507,64	1,80	13.513,76

costos variable	pala	costo total 12-13	media mes	Cost flota	C. opera [\$us/mes]	C. opera [\$us/Hrs]	C oper. Pala /hr
2800XP	pala N° 10	273.862,0	13.693,1	34536,75	-34.536,75	-2.114,37	-704,8
	pala N° 11	150.369,0	7.518,5				-704,8
	pala N° 12	266.504,0	13.325,2				-704,8
4100A	pala N° 20	424.631,0	21.231,6	52724,15	-52.724,15	-2.953,63	-984,5
	pala N° 21	342.442,0	17.122,1				-984,5
	pala N° 22	287.410,0	14.370,5				-984,5

Costo de ineficiencia	Facturación	Costo variable	Total [\$us/Hr]
2800XP	8.687	-704,8	7.983
4100A	13.514	-984,5	12.529

4.16 Pareto fallas eléctricas

Tabla N° 4.4: Pareto fallas eléctricas.

	N° Eventos	N° Eventos acumulados	Duración Eventos (horas)	Duración Acumul (horas)
Cable Alim.	30	30	1	1
Límite Crowd (Ajuste)	28	58	1	2
Convertidor HP1	26	84	3	5
Partidor Suave	15	99	2	7
Joystick	13	112	2	9
Modulo/Tarjeta PLC	11	123	3	12
Ventilador Cabinas	10	133	1	13
Driver Campo	9	142	3	16
Ventilador Sala Máquina	8	150	2	18
Bocina	8	158	1	19
Breaker BT (Auxiliares)	7	165	1	20
Switch - House	6	171	3	23
Contactador Principal	4	175	3	26
Cheq/diag/eval Motores	3	178	4	30
Falla Motor por Temperatura	1	179	24	54

Del grafico de la figura N° 4.13, se puede observar el impacto que origina una falla de este componente en la pala, en este caso un motor de accionamiento eléctrico de los movimientos principales en la pala, si bien es cierto que la falla es de una probabilidad baja de ocurrencia o de números de eventos, esta se caracteriza por demandar mucho tiempo en normalizar esta situación la que conlleva al reemplazo de este componente, el número de eventos es calculado para un periodo de 30 días.

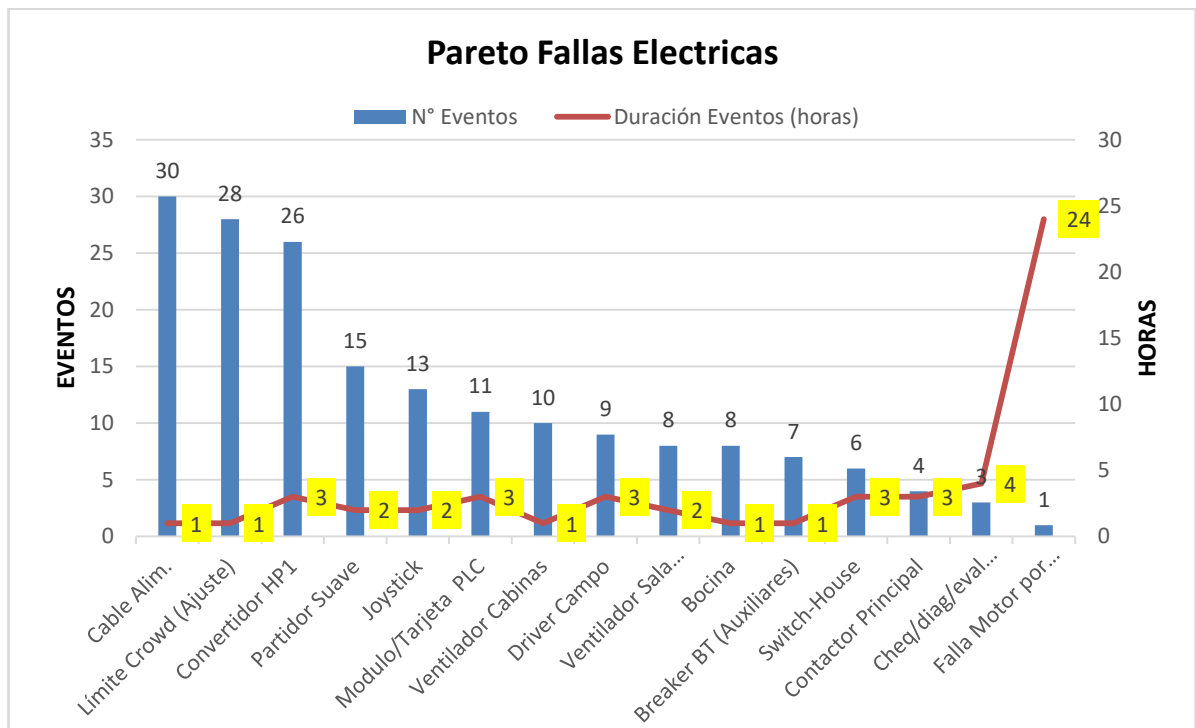


Figura N° 4.13 Pareto eléctrico.

Este cambio de componente no programado impacta directamente en la productividad del proceso de extracción del mineral, también en los costos y recursos asociados a las áreas de mantención, ya que se debe disponer de grúas, personales eléctricos, mecánicos y principalmente en la extracción del mineral, afectando directamente al cumplimiento en las toneladas proyectadas.

4.17 Indicadores de disponibilidad

Dado que el periodo para el cálculo y el desarrollo de estos indicadores de confiabilidad se utilizó 600 horas (en 30 días) de tiempo estimado para el normal funcionamiento de la Pala, y con las horas de detención con un valor de 54 horas acumuladas representadas en la tabla anterior del Pareto de fallas eléctricas tabla N° 4.4, con estos valores los resultados obtenidos indican una Disponibilidad del orden del 91 %, indicador considerado como un valor que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para la empresa.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{horas Detencion}}{\text{Horas Totales}} \quad (\text{Ec. N}^\circ 4.3)$$

$$D(\text{anterior}) = \frac{600 - 54}{600} = 0.91 \times 100 = 91\% \quad (\text{Ec. N}^\circ 4.4)$$

En cambio, para realizar los nuevos cálculos de indicadores despejando la falla de temperatura de motor que se encuentra indicada en el diagrama de Pareto eléctrico que corresponde a un valor de 24 horas, y manteniendo el mismo periodo de 600 horas de tiempo estimado para el normal funcionamiento de la pala, se logra obtener una disminución notable en las horas acumuladas las que corresponden a un valor de 30 horas, a diferencia de la anterior de un valor de 54 horas acumuladas, por lo tanto las cifras o valores obtenidos indican una Disponibilidad del orden del 95 %. A continuación, se indica este nuevo valor de Disponibilidad.

$$D(\text{actual}) = \frac{600 - 30}{600} = 0.95 \times 100 = 95\% \quad (\text{Ec. N}^\circ 4.5)$$

De lo anterior se desprende que la capacidad del equipo que tenia de estar en condiciones de ejecutar sus funciones específicas en el proyecto, durante un intervalo de tiempo determinado, se vio mejorado de un 91 % a un 95 %, su indicador de disponibilidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Una Falla inesperada en los motores de las Palas 4100 A, afecta directamente los costos e indicadores de producción, confiabilidad y disponibilidad, motivo por el cual se justifica la implementación del sistema de monitoreo en los motores principales.

El monitoreo de las temperaturas en los motores principales se basa en la obtención de datos y registros de forma continua, es decir todo esto en tiempo real. Con este tipo de mejora, se logra dar cumplimiento con las horas estimadas de servicio por cada motor y a la vez evitar un deterioro prematuro, lo cual nos asegura el de poder realizar los cambios de motores de forma preventiva y no de forma correctiva, beneficiando en su totalidad a los costos por pérdidas de producción.

Con la implementación de los sensores de temperatura, en el interior de los motores de accionamiento eléctrico de los movimientos principales de la Pala, y el monitoreo continuo de temperaturas en estos motores, se logró obtener una mejora en la disponibilidad del equipo de un 95 %.

De los resultados obtenidos se evidencia una considerable disminución en los costos de producción de \$ 186.000.000, esto equivale al tiempo de ineficiencia de la Pala durante las 24 horas, tiempo que dura aproximadamente el cambio del componente durante una falla catastrófica del motor por temperatura excedida en una Pala 4100 A.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB. (s.f). Manual the Controller Hardware AC 800M.
2. Comision Electrotecnica Internacional. (2010). Obtenido de <http://www.iec.ch>
3. Equipment, P. M. (s.f.). Manual de Mantencion Electrica ES28148.
4. Equipment, P. M. (s.f.). Peak Performance Motor Practices.
5. Funcionamiento Motor Electrico. (s.f.). Obtenido de:
<http://www.areatecnologia.com>
6. Instituto de Ingenieria y Electronica. (2012). Obtenido de <http://iee.org>.
7. Motores de Corriente Continua. (s.f.). Obtenido de <http://www.e-ducativa.catedu.es>
8. Sole, A. C. (2010). Instrumentacion Industrial. S.A MARCOMBO. Obtenido de
<http://www.casadellibro.com>

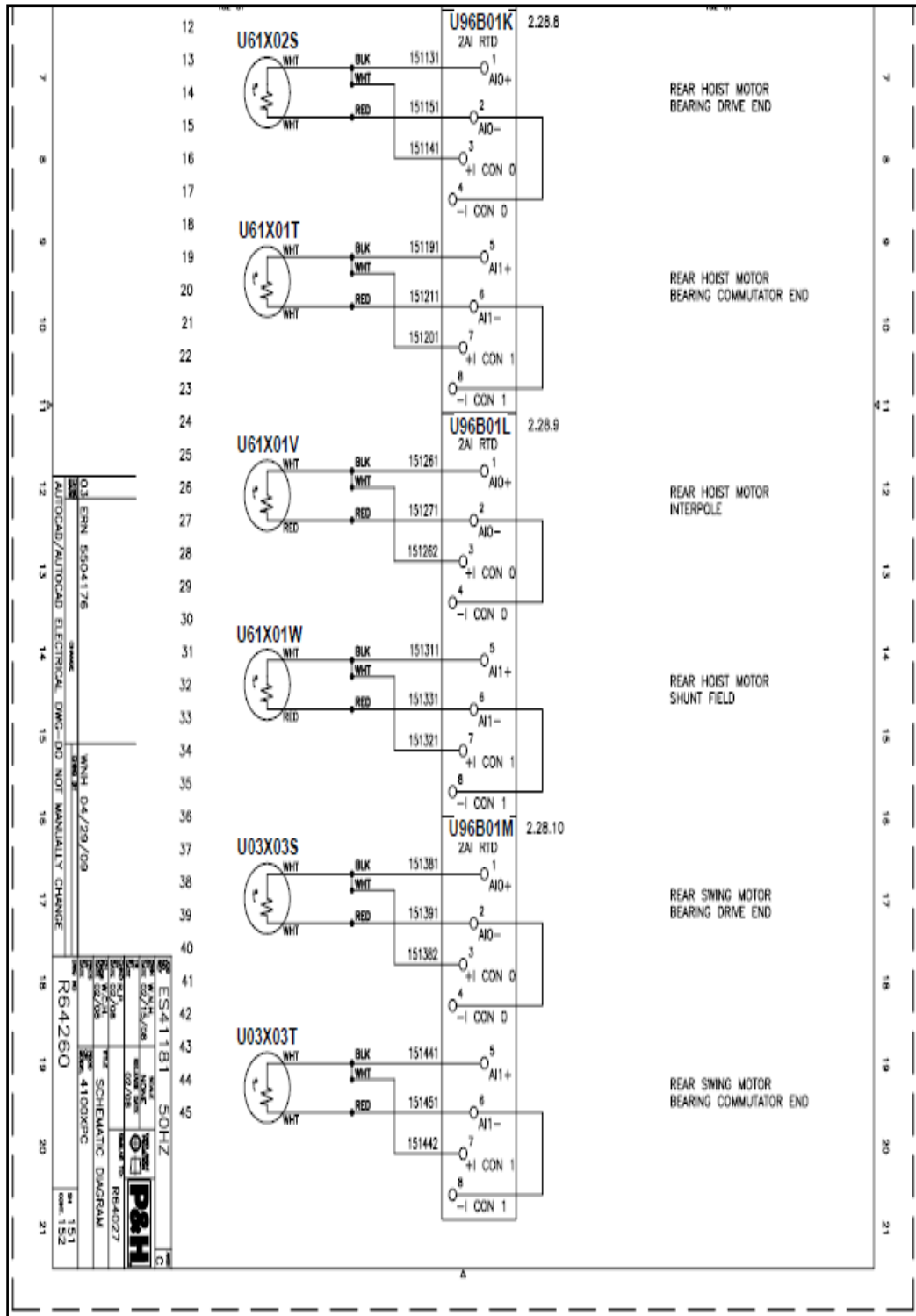


Figura N° A.2: Conexión RTD motor levante.

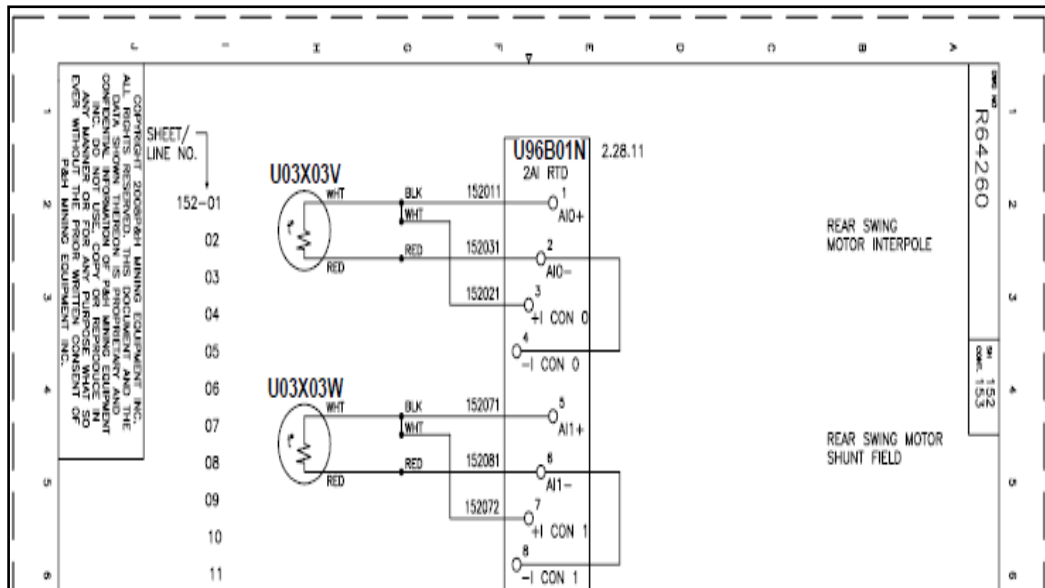


Figura N° A.3: Conexión RTD motor giro interpolo.

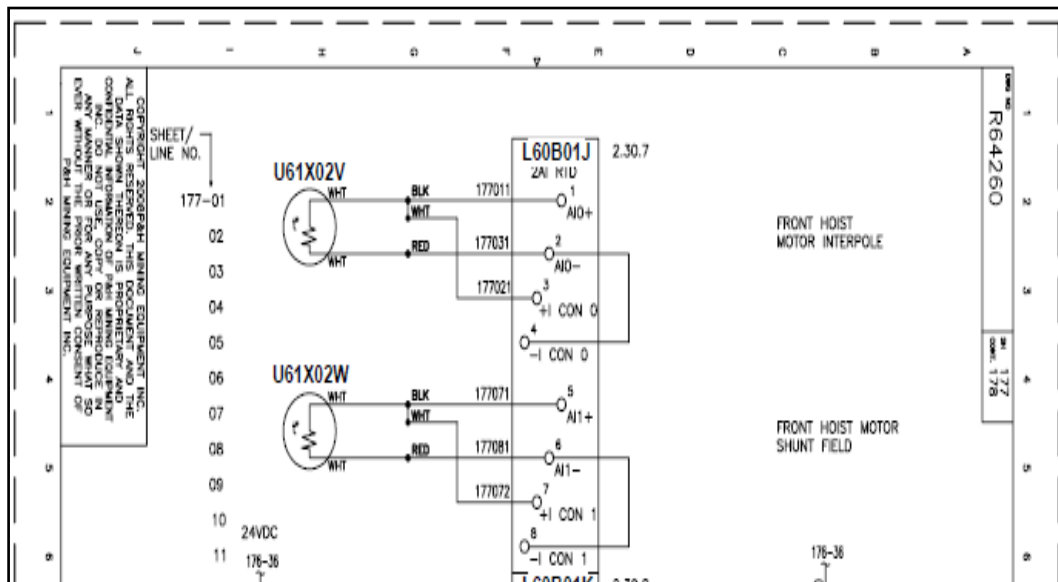


Figura N° A.4: Conexión RTD motor levante interpolo.

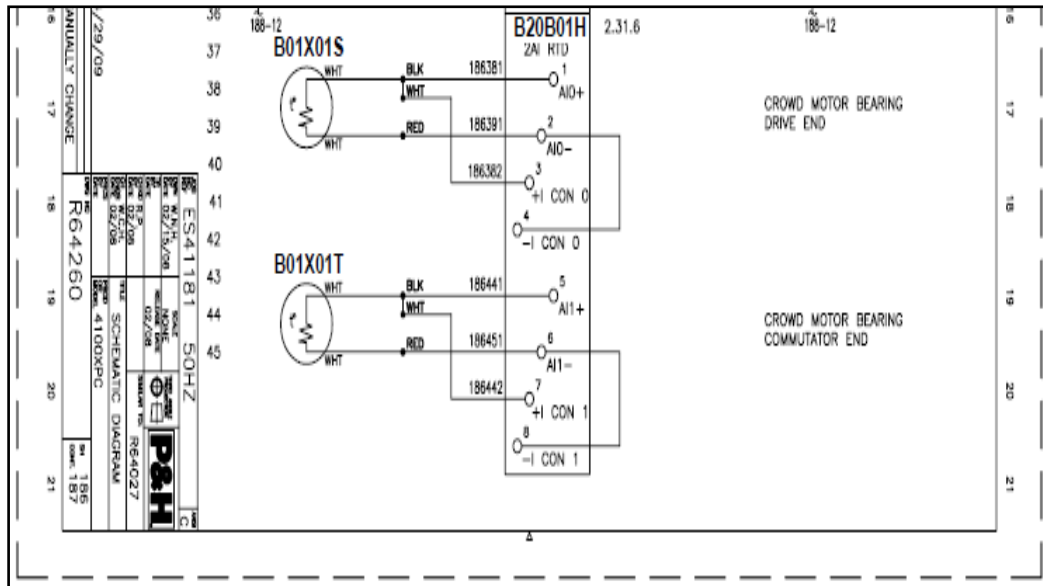


Figura N° A.5: Conexionado RTD motor empuje.

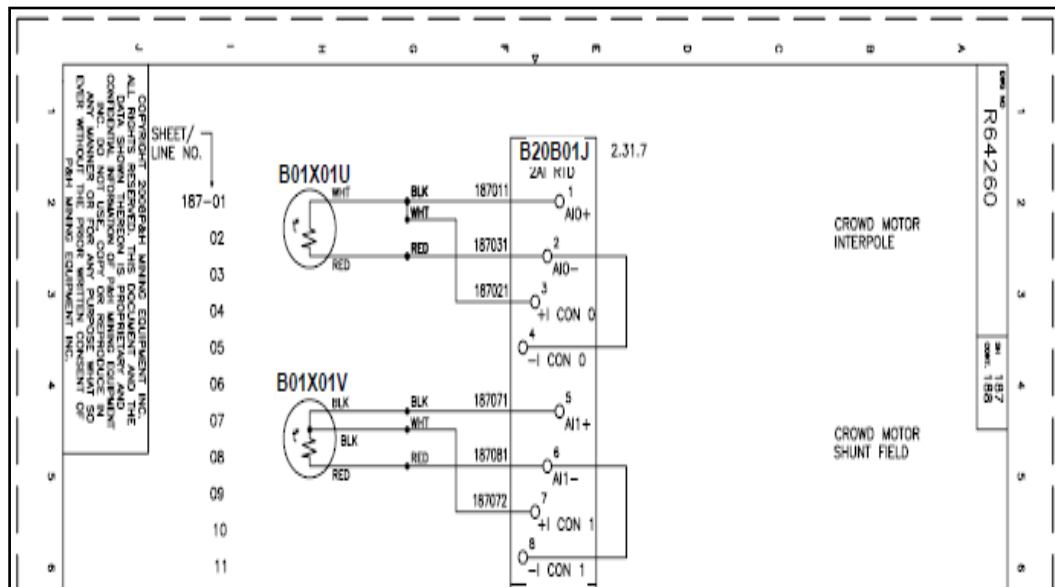


Figura N° A.6: Conexionado RTD motor empuje interpolo.

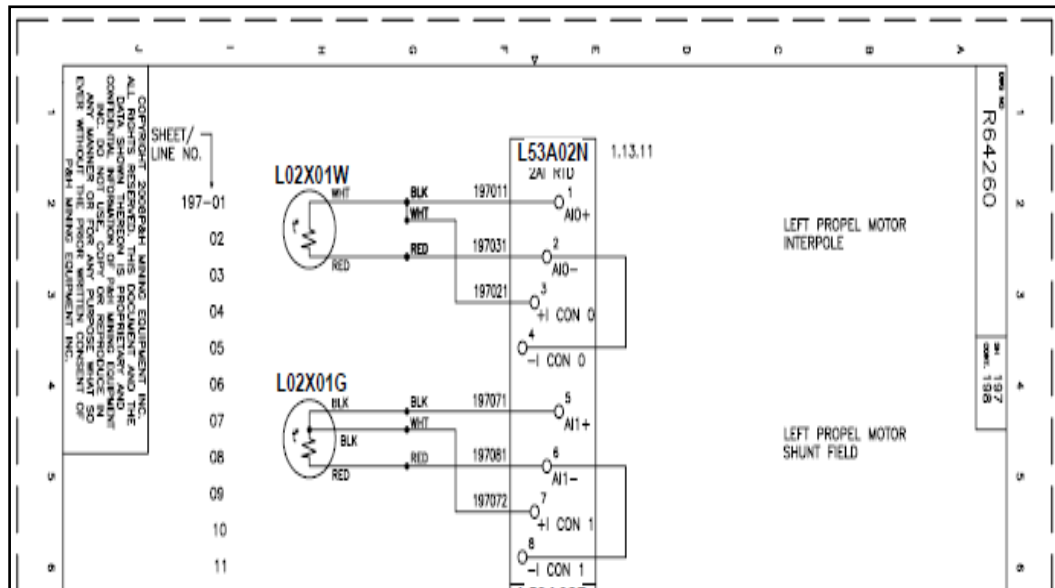


Figura N° A.8: Conexión RTD motor propulsión interpolo.

- ✚ La lógica utilizada para el control y monitoreo de las temperaturas es la misma que se utiliza para los 7 motores principales de la Pala 4100A.
- ✚ La programación cambia en la configuración de los valores de temperaturas ya sea para alarmar o como para detener por completo la Pala.
- ✚ La tabla de valores de las temperaturas se encuentra en la tabla 4.1 alarma de temperaturas y en el punto 4.2 detención del equipo por temperatura.