

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



### ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL ELECTROTORQUE A SISTEMA DE CONTROL CENTURION EN PALA P&H 4100A – EN SELIN S.R.L. TOQUEPALA

**Informe por experiencia profesional  
presentado por el bachiller:  
JOSE LECH GONZALES SANZ  
Para optar el título profesional de  
Ingeniero Electrónico**

**Asesor: Pedro Rodríguez Gonzales  
Ingeniero Electrónico**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2017**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	Pág. 08
<b>ABSTRACT</b>	Pág. 09
<b>CAPITULO I</b>	
ASPECTOS GENERALES	
1.1 PRESENTACIÓN	Pág. 10
1.2 LOS CONTROLES DC EN PALAS ELÉCTRICAS P&H	Pág. 11
1.2.1 SISTEMA WARD LEONARD	Pág. 11
1.2.2 SISTEMA ELECTROTORQUE	Pág. 12
1.2.3 SISTEMA DE CONTROL CENTURION	Pág. 13
1.3 PROBLEMÁTICA	Pág. 13
1.4 TÍTULO	Pág. 13
1.5 OBJETIVOS	Pág. 14
1.4.1 OBJETIVO PRINCIPAL	Pág. 14
1.4.2 OBJETIVO SECUNDARIO	Pág. 14
<b>CAPITULO II</b>	
GENERALIDADES DE LA EMPRESA	
2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	Pág. 15
2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA	Pág. 15
2.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA	Pág. 16
2.4 EXPERIENCIA LABORAL	Pág. 18

### **CAPITULO III**

#### **DESCRIPCIÓN DE LA PALA ELÉCTRICA**

3.1 LA PALA EN LA MINERÍA	Pág. 21
3.2 VISTA GENERAL DE LA MÁQUINA	Pág. 22
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE LA PALA	Pág. 22
3.3.1 CONCEPTO BÁSICO DE LA OPERACIÓN DE LA PALA	Pág. 23
3.3.2 SECCIONES PRINCIPALES DE LA PALA	Pág. 24
3.3.3 SISTEMAS DE LA PALA	Pág. 24
3.3.3.1 SISTEMA DE LEVANTE	Pág. 25
3.3.3.2 SISTEMA DE EMPUJE	Pág. 26
3.3.3.3 SISTEMA DE GIRO	Pág. 27
3.3.3.4 SISTEMA DE PROPULSIÓN	Pág. 27
3.3.3.5 SISTEMA MECÁNICO	Pág. 28
3.3.3.6 SISTEMA ELÉCTRICO	Pág. 34
3.3.4 MOVIMIENTOS DE LA PALA	Pág. 44

### **CAPITULO IV**

#### **SISTEMA ELECTROTORQUE**

4.1 CONCEPTOS	Pág. 48
4.2 CONTROL ELECTROTORQUE	Pág. 50
4.3 CIRCUITOS DE ALTO VOLTAJE	Pág. 52
4.4 CONFIGURACIÓN DE UN PUENTE RECTIFICADOR A SCR'S	Pág. 56

4.5 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	Pág. 58
4.5.1 PRINCIPIO DE LOS MOTORES Y GENERADORES DC	Pág. 58
4.5.2 MOTORES DC EN PALA	Pág. 61
4.6 CARACTERÍSTICAS DE ARMADURA: MOVIMIENTOS EN LA PALA	Pág. 68
4.6.1 MOVIMIENTO DE LEVANTE	Pág. 68
4.6.2 MOVIMIENTO DE GIRO	Pág. 69
4.6.3 MOVIMIENTO DE EMPUJE	Pág. 70
4.6.4 MOVIMIENTO DE AVANCE	Pág. 72
4.7 CARACTERÍSTICAS DE CAMPO: MOVIMIENTOS EN LA PALA	Pág. 73
4.7.1 MOVIMIENTO DE LEVANTE	Pág. 74
4.7.2 MOVIMIENTO DE GIRO	Pág. 75
4.7.3 MOVIMIENTOS DE EMPUJE/AVANCE	Pág. 76
4.7.4 TABLAS DE CALIBRACION	Pag. 78
4.8 MOTOR DC CONTROLADO EN ARMADURA	Pág. 80
4.9 CIRCUITOS DE PROTECCION	Pág. 83

## **CAPITULO V**

### **CONTROL DE LA ENERGÍA SUMINISTRADA**

5.1 CONTROL DE ARMADURA	Pág. 91
5.1.1 TARJETAS DE CONTROL DE ARMADURA	Pág. 95

5.1.2 CONJUNTO DE TARJETAS DE CONTROL DE ARMADURA	Pág. 101
5.1.2.1 CIRCUITOS DE MOVIMIENTO	Pág. 104
5.1.2.2 CIRCUITOS DE REGULACIÓN	Pág. 111
5.1.2.3 CIRCUITOS DE CONTROL	Pág. 116
5.2 CONTROL DE CAMPO	Pág. 122
5.2.1 REALIMENTACIÓN DE CORRIENTE DE CAMPO	Pág. 124
5.2.2 CIRCUITO DE REALIMENTACIÓN DE CORRIENTE DE CAMPO	Pág. 127
5.2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DEL CAMPO DE IZAR	Pág. 128
5.2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS TARJETAS DE CONTROL DE CAMPO DE EMPUJE/AVANCE Y GIRO	Pág. 132
5.3 COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA	Pág. 133
5.3.1 CONCEPTOS	Pág. 134
5.3.2 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA DE LA PALA 4100A	Pág. 137
5.3.3 DIAGRAMA DEL BANCO #1	Pág. 138
5.3.4 TRANSDUCTOR DE POTENCIA REACTIVA	Pág. 139
5.3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DEL RPC	Pág. 141
5.3.6 TARJETA DE INTERFACE	Pág. 142
5.3.7 MÓDULOS DE DISPARO DEL RPC	Pág. 143

## CAPITULO VI

### SISTEMA DE CONTROL CENTURION

#### 6.1 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL CENTURION

EN PALA 04 P&H 4100A Pág. 147

6.1.1 MONTAJE DE LOS GABINETES DE I/O (ENTRADAS Y SALIDAS) Y GABINETE DE SUPRESORES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR. Pág. 150

6.1.2 CAMBIO DE SOLENOIDES DE AIRE PARA LOS FRENOS Y GRASAS. Pág. 155

6.1.2.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN Pág. 157

6.1.3 CAMBIO DE GABINETE DE CONTROL. Pág. 158

6.1.4 VERIFICACIÓN DEL CIRCUITO DE COMUNICACIÓN FIBRA OPTICA. Pág. 159

6.1.5 PROGRAMACIÓN DE MEMORIAS EN GUIs. Pág. 162

6.1.6 PROGRAMACIÓN DEL PROCESADOR AC800 MODELO PM864A. Pág. 163

6.1.7 PROGRAMACIÓN DE LOS DRIVES DE ARMADURA Y CAMPO. Pág. 164

6.1.7.1 OPERACIÓN DRIVE Pág. 166

6.1.7.2 SISTEMA CODESYS Pág. 166

6.1.8 PRUEBAS DE COMISIONADO ELÉCTRICO Pág. 171

6.1.9 CIRCUITO DIVERTER Pág. 171

#### 6.2 DIAGNÓSTICO DE FALLAS POR MEDIO DE SISTEMA

CENTURION	Pág. 173
6.2.1 INTERFASE DE USUARIO	Pág. 173
6.2.2 PANTALLA DE SISTEMA CENTURION	Pág. 175
6.2.3 FUNCIONES DE DIAGNOSTICO	Pág. 180
6.3 SISTEMA CENTURION VS SISTEMA ELECTROTORQUE	Pág. 184
CONCLUSIONES	Pág. 187
RECOMENDACIONES	Pág. 189
BIBLIOGRAFÍA	Pág. 190
ÍNDICE FIGURAS	Pág. 191
ÍNDICE DE TABLAS	Pág. 200
GLOSARIO TÉCNICO	Pág. 201

## RESUMEN

El presente trabajo realiza la descripción y explicación de la actualización de sistema de control Electrotorque a sistema de control Centurion realizado en la Pala N° 04 de marca P&H modelo 4100A ubicada en la unidad minera Toquepala, perteneciente a la empresa Southern Peru Copper Coporation.

En el primer capítulo se explica la evolución de los sistemas de control en las palas eléctricas, se enuncian los objetivos, se plantea la problemática así como la justificación y alcances del trabajo. El segundo capítulo refiere mi experiencia laboral y generalidades de la empresa donde actualmente me encuentra trabajando. El tercer capítulo describe las generalidades de una pala eléctrica tales como partes, componentes mecánicos, eléctricos y motores que son accionados para cada movimiento de la pala eléctrica. El cuarto capítulo explica el sistema Electrotorque en cuanto a sus sistemas, sub sistemas y la interacción de las señales de control que intervienen para decidir cada movimiento de la pala eléctrica. El quinto capítulo describe la compensación de potencia suministrada a cada motor, mediante un arreglo de condensadores y resistencias llamados bancos. En el sexto capítulo se describe el cambio de componentes necesarios para la actualización a sistema de control Centurion, así como la evaluación en cuanto a rendimiento y desempeño, además de la comparación con el sistema anterior (Electrotorque). Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con el presente trabajo.

**Palabras claves:** Electrotorque, Centurion, Actualización.

## ABSTRACT

The present work realizes the description and explanation of the system update of control Electrotorque to system of control Centurion realized in the Shovel N ° 04 of brand P&H model 4100A located in the mining unit Toquepala, Belonging to the company Southern Peru Copper Coporation.

In the first chapter is explained the evolution of the systems of control in the electrical spades, the aims are enunciated, there are silvered the problematics as well as the justification and scopes of the work. The second chapter recounts my labor experience and generalities of the company where nowadays it me is working. The third chapter describes the such generalities of an electrical spade as parts, mechanical, electrical and motive components that are driven for every movement of the electrical spade. The fourth chapter explains the system Electrotorque as for his systems, sub systems and the interaction of the signs of control that intervene to decide every movement of the electrical spade. The fifth chapter describes the compensation of power supplied every engine, by means of an arrangement of condensers and resistances called banks. In the sixth chapter there describes the cambo of components necessary for the update to system of control Centurion, as well as the evaluation as for performance and performance, besides the comparison with the previous system (Electrotorque). Finally they present the conclusions and recommendations to those who came near with the present work.

**Palabras claves:** Electrotorque, Centurion, Update.

## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 PRESENTACIÓN

El 03 de setiembre del 2013 tuve la oportunidad de ingresar a la empresa SELIN S.R.L. la cual brinda servicios eléctricos, electrónicos industriales y mineros; y actualmente desempeño el cargo de Supervisor de Operaciones en la Mina Toquepala, provincia de Jorge Basadre – Tacna, donde se realizan servicios de mantenimiento en: Sistema Eléctrico y de A/C (Ventilación, Calefacción y Aire Acondicionado) de Maquinaria Pesada: Palas de cable eléctricas, Perforadoras, Volquetes, Tractores y Equipo Auxiliar.

Durante mi desenvolvimiento profesional en la empresa, pude percibir la problemática existente en cuanto a la falta de información con respecto al funcionamiento de los sistemas eléctricos en los equipos a los cuales realizábamos su mantenimiento, y es por ello que en el presente trabajo detallo toda la información perteneciente al sistema eléctrico en una Pala de cable P&H, para reducir los tiempos de diagnóstico de fallas y conocer las mejoras con la implementación del Sistema Centurión.

El presente trabajo justifica la factibilidad y viabilidad operacional de la actualización de un Sistema de Control eléctrico a un sistema de control electrónico de los motores encargados del movimiento en la Pala P&H 4100A mucho más interactivo, moderno y con tecnología de punta de nombre CENTURION. Las razones que motivaron este cambio son: el incremento en la flota de la mina

(incremento de perforadoras y volquetes), el cambio de sistema de transporte de mineral mediante fajas (antiguamente por trenes) y la ampliación del área de concentradora en la mina Toquepala. El trabajo consiste en describir el sistema actual y el sistema que se está implementando, definiendo las ventajas que conlleva la actualización del Sistema de Control.

## **1.2 LOS CONTROLES DC EN PALAS ELÉCTRICAS P&H**

Los controles DC en las palas eléctricas P&H evolucionaron a partir de Ward-Leonard hasta el Electrotorque análogo en 1968, el Electrotorque Plus digital en 1997, y el Centurión en el 2004. La tecnología de adquisición de datos y control supervisor Centurión puso a P&H en posición para ofrecer accionamientos AC como una confiable alternativa a los accionamientos DC.

A continuación se resumen estos 03 sistemas:

### **1.2.1 EL SISTEMA WARD LEONARD**

El sistema Ward - Leonard es un motor-generator-motor destinado a lograr el control del sentido de giro y amplia regulación de la velocidad en motores de Corriente Continua, destinados al accionamiento de grandes guinches, grúas y cabrestantes navales, etc.

El funcionamiento del Sistema Ward – Leonard se basa en que el voltaje de armadura se puede variar mediante cambios en la corriente de campo en el

generador de CC, éste voltaje de armadura permite que la velocidad del motor pueda variarse suavemente entre un valor muy pequeño y la velocidad base.

### **1.2.2 EL SISTEMA ELECTROTORQUE**

La pala P&H 4100A, usa motores de Corriente continua para producir los 4 movimientos básicos: Empuje (Crowd) 1 motor, Izar (Hoist) 2 motores, Giro (Swing) 2 motores y Avance (Propel) 2 motores. La alimentación de Corriente continua de estos motores, es generada por medio de un Transformador principal y un grupo de puentes rectificadores Trifásicos a SCR's controlados electrónicamente. El conjunto de los puentes rectificadores y control electrónico es llamado Electrotorque. El ELECTROTORQUE, se encarga de suministrar la corriente continua que necesitan los motores DC tanto en sus respectivos Campos como en sus Armaduras de acuerdo a las señales de referencia (mando del operador) y de realimentación de voltaje y corriente para controlar los movimientos de la pala, usando para ello un grupo de convertidores estáticos (Rectificadores) Trifásicos a SCR, cuyo ángulo de disparo o conducción es variado según los requerimientos de potencia de los motores. Los Convertidores del Sistema Electrotorque son alimentados por un Transformador Principal con dos devanados Secundarios de 600 VAC cada uno; el sistema así constituido es un Variador de Potencia DC por Angulo de Conducción, basado en el método de la generación de rampa y escalón para producir la variación del ángulo de disparo.

### 1.2.3 EL SISTEMA DE CONTROL CENTURION

El sistema de control eléctrico Centurión aumenta la carga de Pala eléctrica, lo que reduce varios segundos en cada ciclo de excavación y aumenta las unidades movidas por hora. Este diseño maximiza el rendimiento, pero no a expensas de la vida útil del diseño estructural, garantizando el costo más bajo por tonelada cuando se compara con los sistemas impulsores competitivos.

El sistema Centurión mejora el rendimiento con mayores rangos de velocidad en los movimientos de levante y empuje. Si bien los movimientos siguen teniendo un torque de baja velocidad, ahora tienen velocidades mayores en cada dirección. Las velocidades de levante aumentan considerablemente, pero mantienen altos niveles de tracción del aro en el banco. También aumentan las velocidades de empuje y se equiparan con el levante durante el ciclo de excavación.

### 1.3 PROBLEMÁTICA

Se requiere conocer el funcionamiento del Sistema Centurión, así como las ventajas en la operación de la Pala Eléctrica y las facilidades para el mantenimiento.

### 1.4 TÍTULO

“Actualización de sistema de control Electrotorque a sistema de control Centurión en Pala P&H 4100A”

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar las ventajas de realizar el cambio del Sistema de control por Electrotorque a un Sistema de control Centurión y las mejoras en el mantenimiento preventivo debido al monitoreo de condiciones de componentes.

### OBJETIVO SECUNDARIO

- Identificar los motores, mandos e instrumentos presentes en el sistema eléctrico de una Pala Eléctrica P&H 4100A.
- Explicar el cambio del sistema de control Electrotorque a sistema de control Centurión como mejora de tecnología avanzada actual para incrementar la producción, mejorar la distribución de maquinaria y ubicación de los equipos.
- Detallar los sistemas importantes, la simbología que emplea el fabricante en sus diagramas eléctricos y la relación que existe entre cada Subsistema de acuerdo a su codificación.
- Explicar el comportamiento de las señales que intervienen en el sistema de control.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES DE LA EMPRESA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

SELIN S.R.L. es una empresa que brinda servicios electrónicos industriales y mineros Estructuras metálicas, plegado y rolado, corte, mantenimiento electromecánico, proyectos y ejecución de obras en las áreas de: electricidad, electrónica, minería, industrial, mecánica y civil.

En la unidad minera de Toquepala propiedad de SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION, realiza servicios de mantenimiento en: Sistema Eléctrico y de A/C (Ventilación, Calefacción y Aire Acondicionado) de Maquinaria Pesada: Palas eléctricas, Perforadoras, Volquetes, Tractores y Equipo Auxiliar, mantenimiento de Salas eléctricas en las área de Chancadoras I y II, Concentradora, Plataforma Mina y Depósitos Lixiviables, y mantenimiento preventivo de las Grúas puente y Ascensores en las área de Chancadoras I y II, Concentradora, Plataforma Mina y Depósitos Lixiviables. Y el mantenimiento de grúa pedestal 150TN.

#### 2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA

SELIN S.R.L. cuenta con una oficina central en Arequipa en la Av. Industrial 121 Apima - Paucarpata y tres sucursales en Lima, Moquegua y Cusco.



Fig. 2.1 Ubicación geográfica de las oficinas SELIN

Fuente: [Referencia electrónica]

### 2.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

La organización se divide de la siguiente forma.

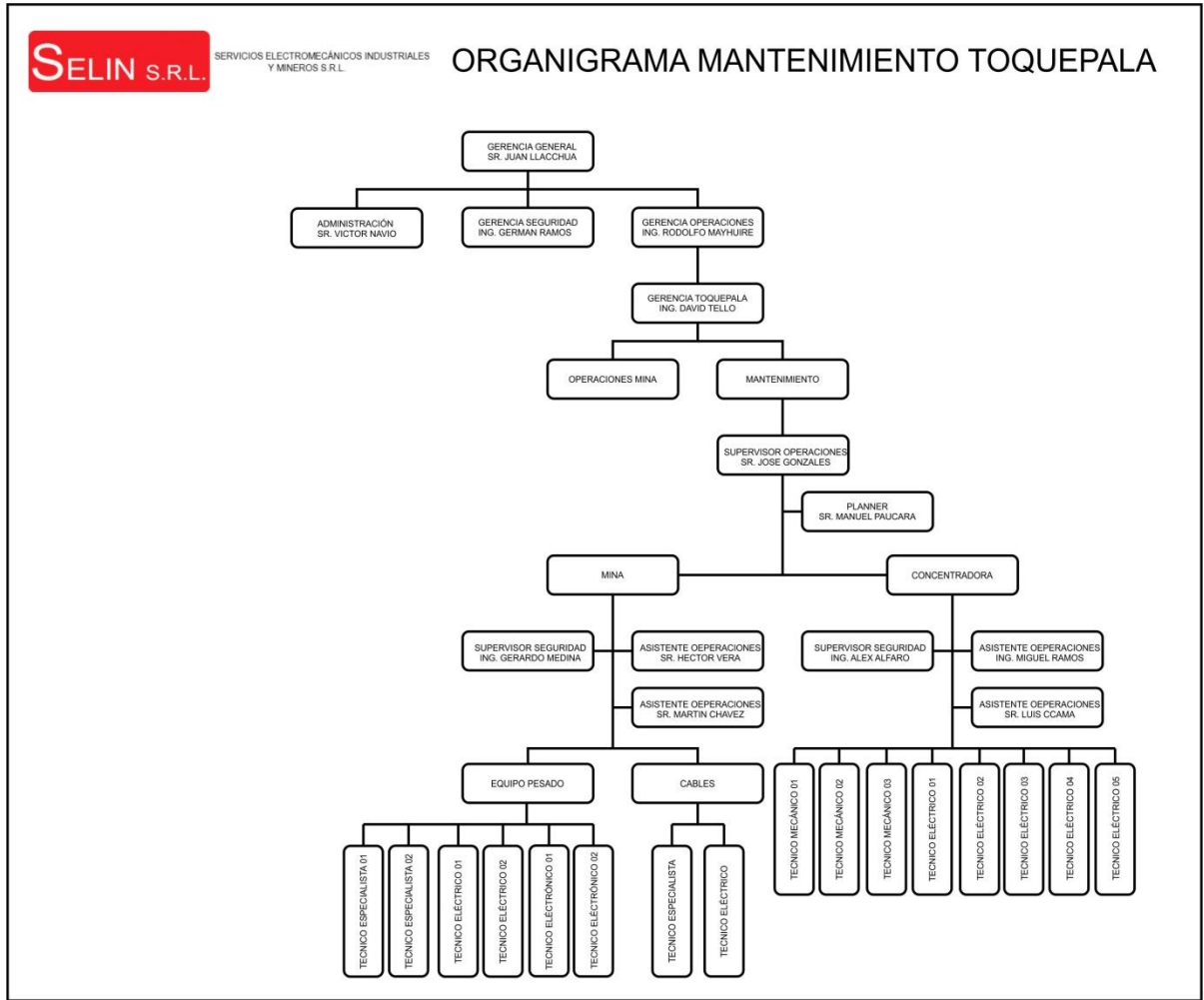


Fig. 2.2 Organigrama general de la empresa

Fuente: [Elaboración propia]

## 2.4 EXPERIENCIA LABORAL

El 03 de setiembre del 2013 desempeñé el cargo de Planner de Mantenimiento en la Mina Toquepala, provincia de Jorge Basadre – Tacna, mis principales funciones fueron:

- Soporte a la supervisión de operaciones asegurando las operaciones con la disponibilidad de recursos (personal, herramientas y repuestos).
- Coordinar los trabajos definiendo la prioridad de atención y el tiempo necesario para el cumplimiento de las actividades propias del mantenimiento preventivo del Sistema Eléctrico y de A/C (Ventilación, Calefacción y Aire Acondicionado) de Maquinaria Pesada: Palas eléctricas, Perforadoras, Volquetes, Tractores y Equipo Auxiliar (Frente de trabajo Mina).
- Programar el mantenimiento preventivo de Salas eléctricas, de Grúas puente y Ascensores, Grúa pedestal 150TN en las área de Chancadoras I y II, Concentradora, Plataforma Mina y Depósitos Lixiviables (frente de trabajo Concentradora).
- Proporcionar los materiales para el mantenimiento (cambio de cabezales, terminales), reparación (empalmes completos, reparación de chaquetas) y Elaboración de cables Mineros de 10KV en Palas y Perforadoras.
- Velar por el cumplimiento de los objetivos, normas y política de la empresa.
- Llevar el registro y control administrativo del presupuesto asignado a la unidad, del control de los bienes y materiales dispuestos, de la facturación y seguimiento al pago de servicios, del control de contratos, pago de alimentación, tareo y trámites de ingreso del personal.
- Llevar el control de unidades móviles (camionetas, combis y camiones).

Posteriormente en Enero del 2015 fui promovido al cargo de Asistente de Operaciones en la misma provincia, donde mis funciones fueron:

- Distribuir diariamente el personal técnico y unidades vehiculares de acuerdo al cumplimiento del programa de mantenimiento semanal así como la atención de mantenimientos correctivos en los Frentes de Trabajo de Mina y Concentradora.
- Verificar el cumplimiento de los mantenimientos programados, llevando el control de la atención de los equipos en Taller y en Campo.
- Realizar el requerimiento de repuestos necesarios para atender los equipos en su mantenimiento programado y en las atenciones en campo.
- Supervisar que la operación se realice cumpliendo las normas y procedimientos.
- Comunicar al responsable del área de SSOMA sobre los incidentes ocurridos durante la operación.
- Programar atenciones correctivas de acuerdo a la disponibilidad del cliente en el Frente de Concentradora.
- Llevar control de inventario de materiales para la reparación de los Cables Mineros.
- Informar al supervisor de operaciones el desarrollo de los servicios, el cumplimiento del programa, nivel de KPI's, desempeño del personal y las incidencias presentadas.
- Atender y gestionar con el supervisor de operaciones los posibles reclamos, observaciones y quejas del cliente.

Finalmente, en Junio del 2015 fui promovido al cargo de Supervisor de Operaciones, donde mis funciones fueron:

- Supervisar diariamente las actividades operacionales en campo y el desempeño de los Asistentes de Operaciones y el Personal técnico en los Frentes de Trabajo de Mina y Concentradora.
- Dirigir las operaciones, estableciendo las prioridades del servicio.
- Liderar la prestación y operación de los servicios, asegurando cumplimiento de los contratos.
- Elaborar Informes de avance detallando el cumplimiento del programa de mantenimiento y la atención en campo.
- Programar actividades diarias, semanales y mensuales en coordinación con el Planner de Mantenimiento.
- Asegurar y verificar el cumplimiento de los trabajos programados y planificados.
- Implementar y evaluar el cumplimiento de los planes de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.
- Responder y dar cumplimiento a las auditorías en la Unidad.
- Asegurar el inventario de materiales para los trabajos de reparación en los Cables Mineros.
- Indicar al Planner de Mantenimiento los trabajos prioritarios, ejecutados y por programar.
- Presupuestar servicios adicionales solicitados por el cliente.
- Definir los KPIs de los servicios y velar por su cumplimiento.

## CAPITULO III

### DESCRIPCIÓN DE LA PALA ELÉCTRICA

#### 3.1 LA PALA EN LA MINERÍA

Para el desarrollo y la explotación de minas a tajo abierto es necesaria una gran maquinaria de extracción y movimiento de tierra. Este conjunto de máquinas se puede clasificar en cuatro importantes grupos: palas, perforadoras, volquetes y equipos auxiliares-tractores. Las más importantes en la cadena de producción son las palas ya que de éstas dependen unos diez a quince volquetes que llevan el material estéril o el mineral dependiendo del caso. Es por este motivo que una falla inesperada que ocurra en una pala impacta mucho más a la producción que si fallara un volquete, una perforadora u otro equipo auxiliar.



Fig. 3.1 Explotación de Minas a tajo abierto

Fuente: [Referencia electrónica]

### 3.2 VISTA GENERAL DE LA MÁQUINA

La Pala para Minería está diseñada y construida para proporcionar un eficiente servicio bajo las condiciones más severas. La máquina se construye a los estándares más altos posibles y proporcionará operación libre de dificultades si es apropiadamente mantenida. A continuación se presenta la máquina, a todas sus capacidades funcionales y limitaciones.

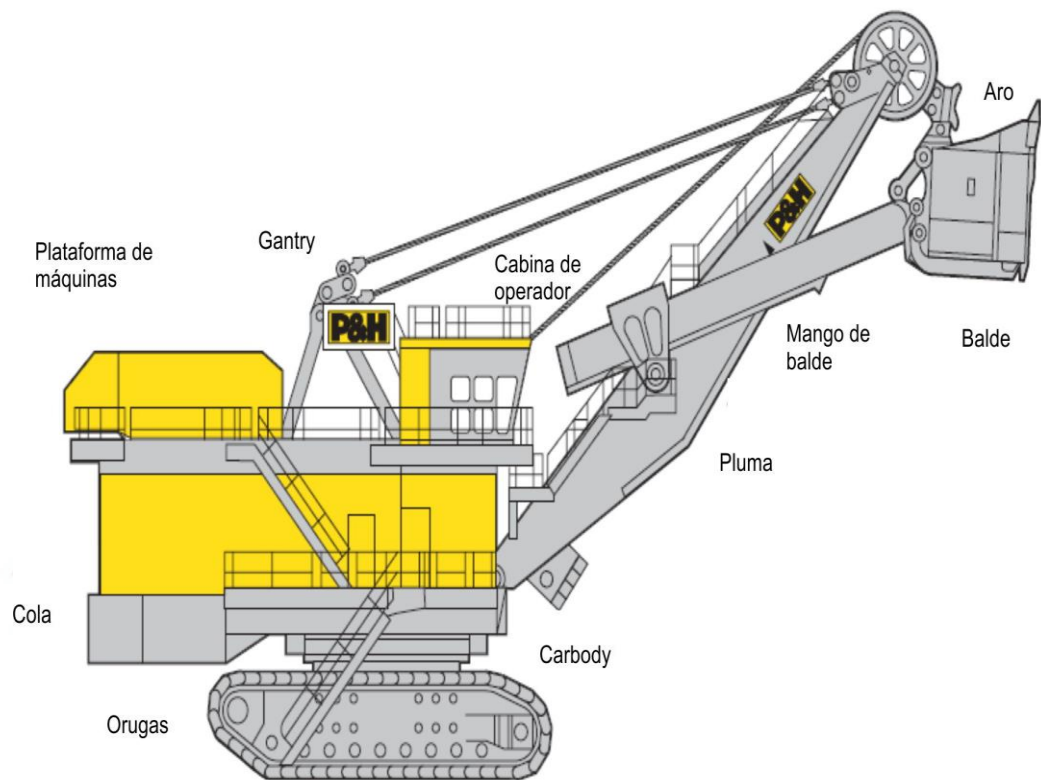


Fig. 3.2 Componentes de una Pala

Fuente: [Elaboración propia]

### 3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE LA PALA

La pala eléctrica P&H es un equipo minero muy complejo. El propósito principal de las palas en una mina es remover material de recubrimiento y cargar minerales.

### 3.3.1 CONCEPTO BÁSICO DE LA OPERACIÓN DE LA PALA

La excavación se logra mediante la coordinación de tres movimientos principales:

- Levante
- Empuje
- Giro



Fig. 3.3 Movimiento de la Pala

Fuente: [Referencia electrónica]

El movimiento de levante jala el balde hacia arriba a través del banco. El movimiento de empuje mueve el mango del balde hacia afuera o hacia dentro para controlar la profundidad de corte y colocar el balde en la posición de vaciado. El movimiento de giro rota la pala entre las posiciones de excavación y vaciado.

También se provee el movimiento de propulsión para mover la pala desde una posición de excavación a otra.

### 3.3.2 SECCIONES PRINCIPALES DE LA PALA

La pala se divide en tres secciones principales:

- Chasis superior
- Chasis inferior
- Accesorio

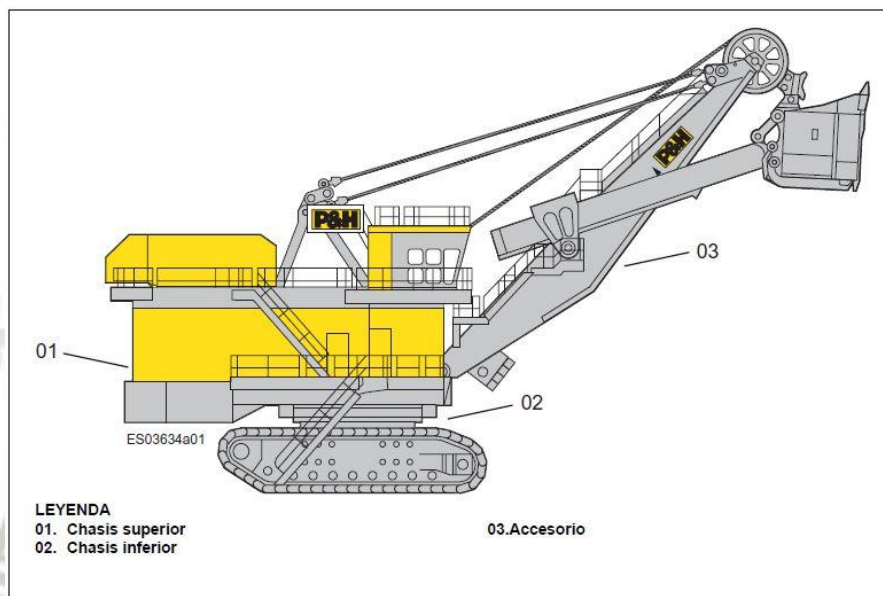


Fig. 3.4 Secciones principales de la Pala

Fuente: [Referencia electrónica]

### 3.3.3 SISTEMAS DE LA PALA

Los sistemas principales de la pala eléctrica constan de:

- Sistema de levante
- Sistema de empuje
- Sistema de giro
- Sistema de propulsión
- Sistema mecánico
- Sistema eléctrico

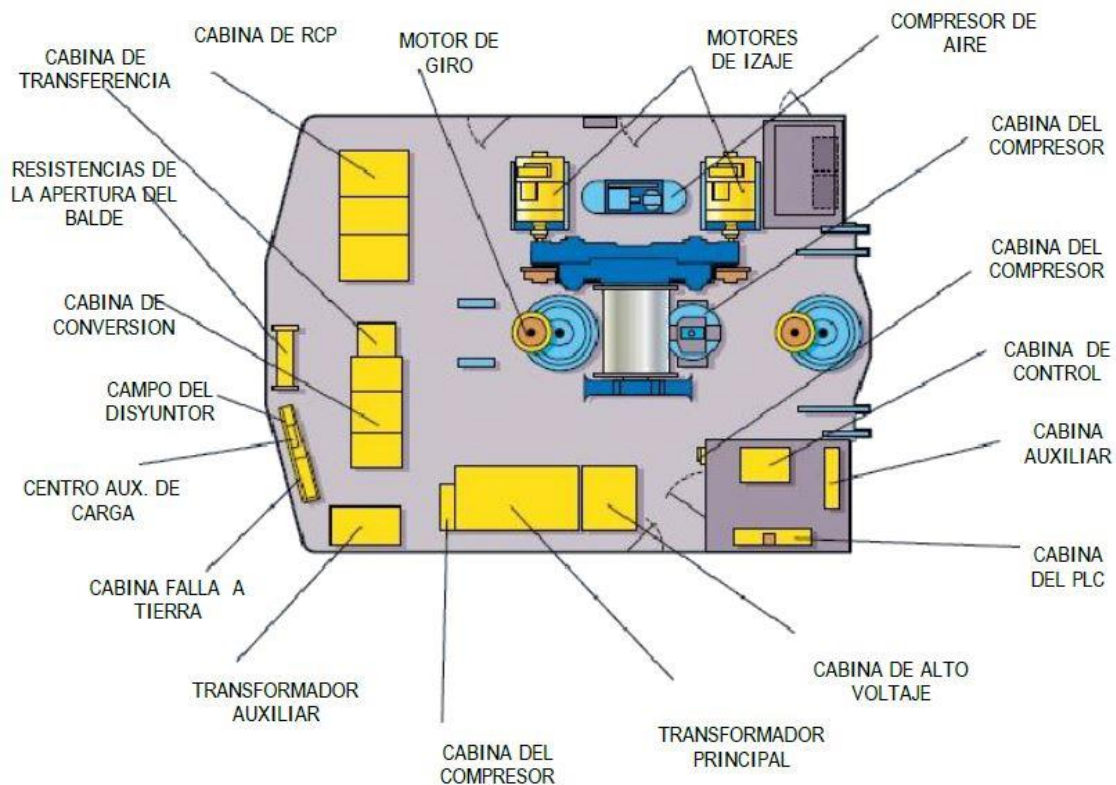


Fig. 3.5 Ubicación de los Sistemas de la Pala

Fuente: [Referencia electrónica]

### 3.3.3.1 SISTEMA DE LEVANTE

El sistema de levante consta de dos motores de CC de respuesta rápida. Los motores de levante se encuentran ubicados al frente y atrás del lado izquierdo de la transmisión de levante. Cada motor está acoplado en el extremo del eje del piñón de la primera reducción de la transmisión de levante, el cual acciona dicha transmisión y suministra el movimiento de levante de la pala por medio del cable de levante.

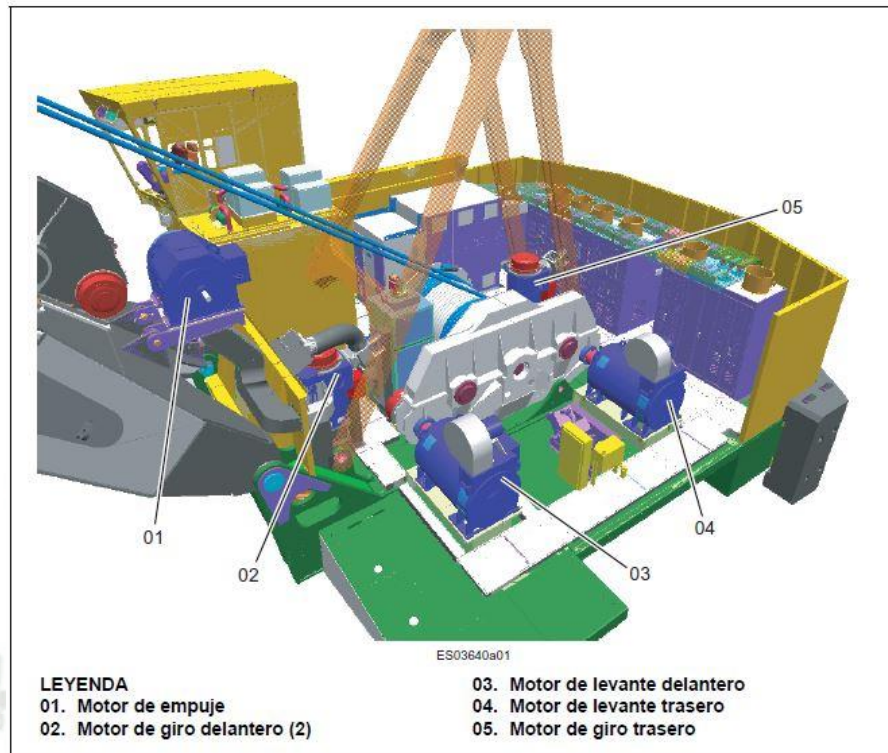


Fig. 3.6 Movimientos de la Pala

Fuente: [Referencia electrónica]

### 3.3.3.2 SISTEMA DE EMPUJE

El sistema de empuje es accionado por un solo motor de CC. El motor está montado en la pluma con el mecanismo de empuje. El mecanismo de empuje se encuentra firmemente alojado sobre y dentro de la caja de engranajes del empuje, la cual forma parte integral de la pluma. Un sistema de transmisión por correas acopla el motor de empuje a la transmisión de empuje. Este sistema de transmisión por correas proporciona protección contra golpes, mientras el mecanismo de empuje suministra el movimiento de empuje a la pala.

### 3.3.3.3 SISTEMA DE GIRO

El sistema de giro usa dos transmisiones ubicadas en la parte delantera y trasera de la tornamesa. Cada transmisión es accionada por un motor de CC de respuesta rápida, el cual está montado verticalmente.

### 3.3.3.4 SISTEMA DE PROPULSIÓN

El sistema de propulsión usa dos mecanismos impulsores independientes para suministrar los movimientos de avance, reversa y una dirección diferencial suave. Cada mecanismo impulsor consta de un motor de CC, transmisión planetaria, conjunto de frenos, eje de rueda propulsora, bastidor lateral y conjunto de tren de oruga. Los motores van montados sobre una base acoplada al carbody de la pala. Las transmisiones van acopladas a los bastidores laterales de las orugas.

Los motores de propulsión comparten la misma fuente de alimentación que los movimientos de levante y empuje.

Después de transferir la potencia a los motores de propulsión, los movimientos de levante y empuje se deshabilitan.

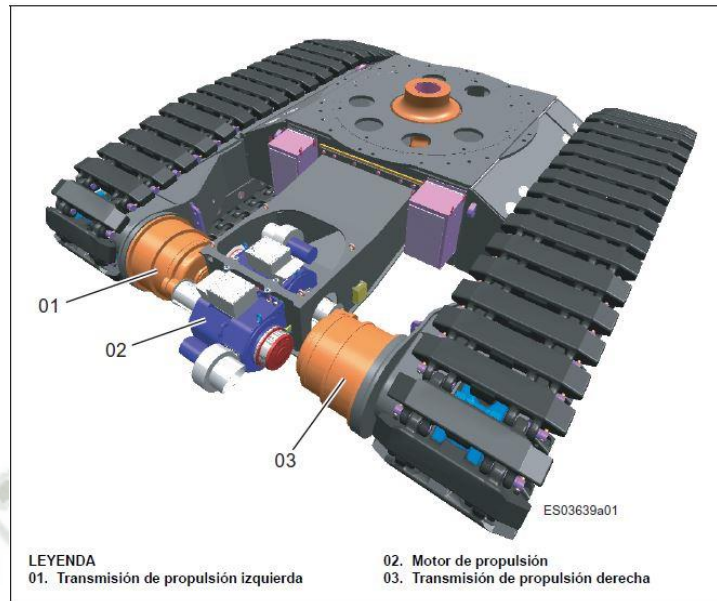


Fig. 3.7 Motor de propulsión

Fuente: [Referencia electrónica]

### 3.3.3.5 SISTEMA MECÁNICO

- **Aro.** Una horquilla o separador instalado con bisagras a ambos lados del balde



Fig. 3.8 Aro de balde

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Punta pluma.** Parte superior extrema de la pluma la cual sostiene la polea de la punta pluma



Fig. 3.9 Punta de pluma

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Poleas de la punta pluma.** Bloques que guían y soportan los cables de levante firmemente en la punta pluma.
- **Carbody.** La base móvil donde va montado el chasis superior y los bastidores laterales

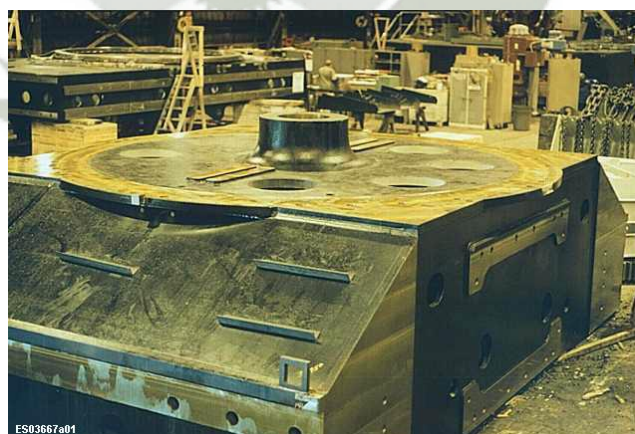


Fig. 3.10 Carbody

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Oruga.** Conjuntos de orugas sobre los cuales la pala descansa y se desplaza.  
Par de cadenas de polines usadas para soportar y propulsar la pala.



Fig. 3.11 Oruga

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Balde.** Tipo de cucharón acoplado al mango del balde el cual es forzado dentro del material y luego levantado.
- **Mango del balde.** Ejes rectos los cuales conectan el balde con la pluma.



Fig. 3.12 Mango de balde

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Gantry.** Estructura elevada la cual soporta máquinas o partes en operación. Extensión ascendente de la tornamesa de la pala la cual sostiene las poleas de las líneas de la pluma



Fig. 3.13 Gantry

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Lado izquierdo.** El lado izquierdo de la pala se ubica a la izquierda del operador cuando está sentado a los controles mirando de frente hacia los accesorios.
- **Chasis inferior.** Equipamiento inferior el cual incluye la pista de polines de giro, la corona principal, el pin central, el carbody, los bastidores laterales de las orugas y la maquinaria de propulsión.
- **Plataforma de máquinas.** La parte del chasis superior donde se ubican los sistemas de levante, giro y los paneles Eléctricos
- **Centro de control de carga.** El centro de control de carga forma parte de la cabina del operador, la cual es una sala blindada donde se ubican los

controles, indicadores y manómetros de operación. Desde aquí se controla la operación de la pala

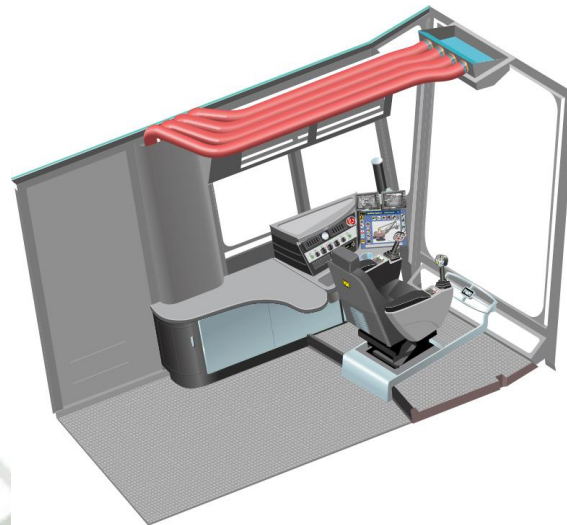


Fig. 3.14 Cabina de control

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Tornamesa.** Parte de la pala ubicada sobre el carbody.
- **Lado derecho.** El lado derecho de la pala se ubica a la derecha del operador cuando está sentado a los controles mirando de frente hacia los accesorios.
- **Shipper shaft.** Es un eje grande centrado y extendido desde la pluma, el cual tiene piñones estriados en sus extremos, que engranan con la cremallera en la parte inferior del mango del balde y habilita el movimiento de empuje.

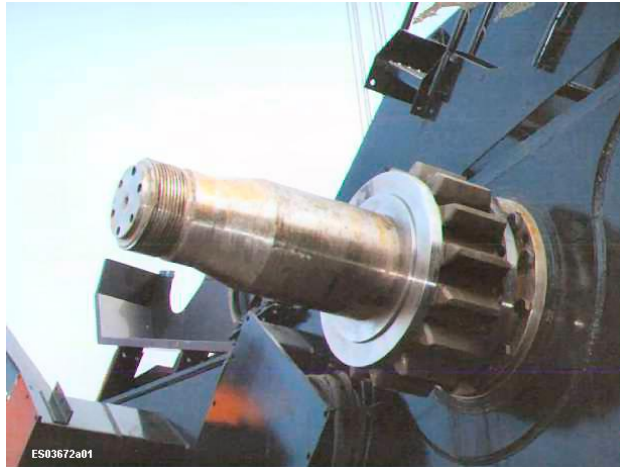


Fig. 3.15 Shipper Shaft

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Cola/Contrapeso.** Parte trasera de la pala.
- **Cable cola.** Cable eléctrico de gran dimensión el cual se arrastra típicamente detrás de la pala y suministra alto voltaje al equipo.



Fig. 3.16 Cable de fuerza

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Chasis superior.** Parte de la pala la cual incluye la tornamesa, la sala de máquinas, la cabina del operador y todos los mecanismos de la sala de máquinas, incluyendo los sistemas de giro y levante.

- **Frente superior de la máquina.** Lado del chasis superior donde se ubica la pluma y el mango del balde de la pala.
- **Trasero superior de la máquina.** Lado del chasis superior donde se ubica la cámara plenum y el contrapeso.

### 3.3.3.6 SISTEMA ELÉCTRICO

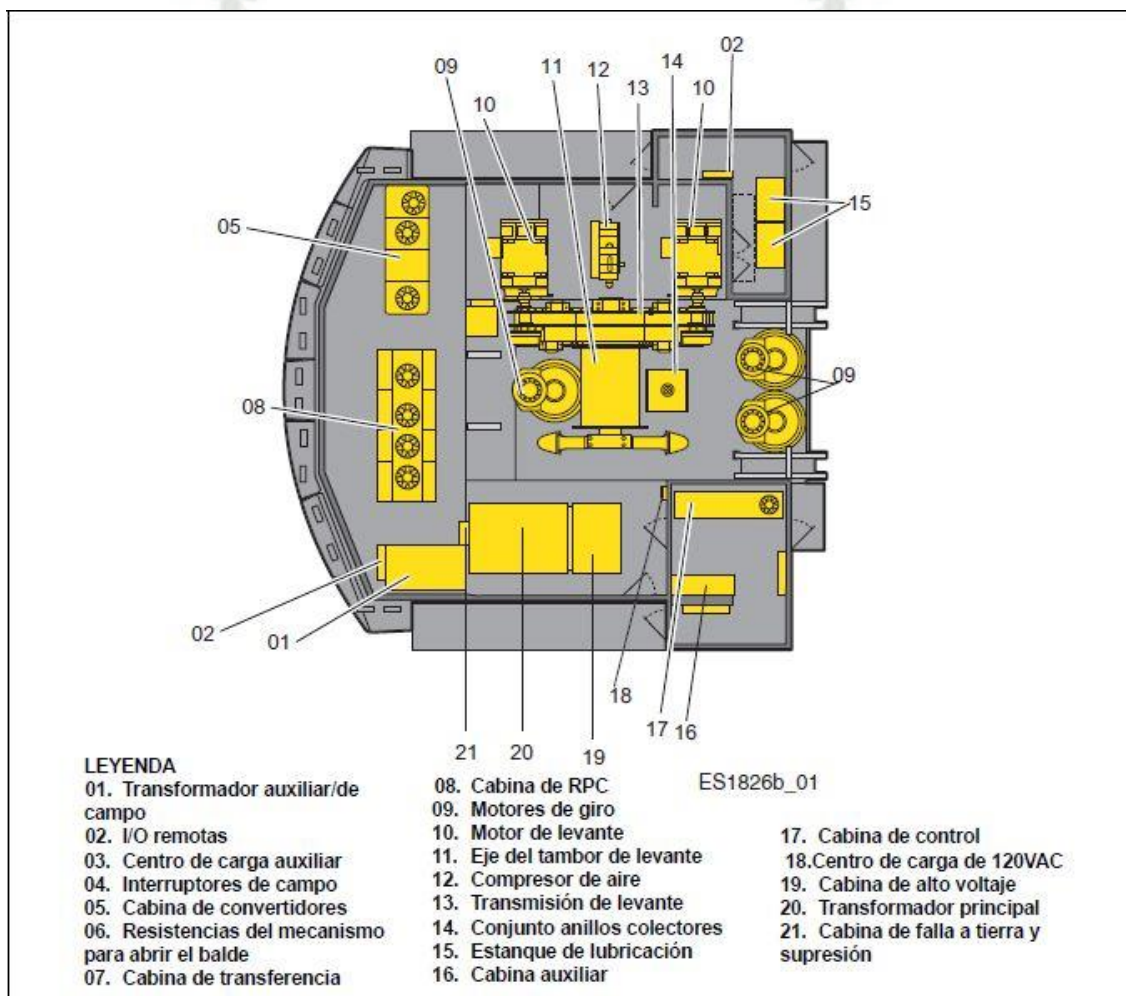


Fig. 3.17 Sistema eléctrico – ubicación de componentes

Fuente: [Referencia electrónica]

### - Transformador auxiliar de campo

El transformador auxiliar de campo recibe energía de alto voltaje desde los componentes de la cabina de alto voltaje y convierte, por acción del transformador, la entrada de alto voltaje en 480VAC, 240VAC, 180VAC, 120VAC y 208VAC. Estos voltajes son distribuidos a las cargas ubicadas en toda la pala.

### - I/O remotas

Los módulos de I/O remotas proporcionan comunicación hacia el Controlador desde áreas remotas en la pala. Estos módulos de I/O remotas están ubicados en la cabina de convertidores, cabina de transferencia, cabina del RPC y la sala de lubricación.



Fig. 3.18 Módulo de I/O Remotas

Fuente: [Referencia electrónica]

### - Centro de carga auxiliar

El centro de carga auxiliar contiene los interruptores de circuitos para todos los circuitos auxiliares de la pala

- **Interruptores de campo**

Panel de interruptores de circuitos el cual contiene los interruptores para los campos de movimiento.

- **Cabina de convertidores**

Esta cabina contiene los equipos electrónicos de potencia y los componentes asociados, suministrando corriente directa a las armaduras de cada motor de movimiento. Esta cabina consta de cuatro secciones principales: Protección y distribución de potencia de entrada, realimentación de corriente, convertidores y circuitos del derivador.

Las secciones son enfriadas por ventiladores axiales de paletas montados en la parte superior. Estos ventiladores introducen aire filtrado de la maquinaria a través de las puertas de las cabinas y sobre los componentes para su enfriamiento y ventilación.

- **Cabina de transferencia**

La cabina de transferencia contiene seis contactores de interfaz de relés y componentes de suministro de energía para la alimentación de la bobina del contactor de 100VDC. Una sección aislada de la cabina contiene un conjunto de I/O remotas.

### - **Cabina de RPC**

La cabina de compensación de potencia reactiva está formada por componentes que proporcionan medios para controlar la potencia reactiva demandada por los convertidores y proporciona simultáneamente un filtro para los armónicos predominantes, generados en el sistema eléctrico durante la operación normal de la pala.

### - **Eje del tambor de levante**

El conjunto del eje tambor de levante va montado a ambos lados entre la caja de engranaje de levante y el soporte lateral. El conjunto del eje del tambor de levante consiste de un tambor mecanizado y ajustado a presión, un engranaje cilíndrico de dientes rectos, un eje soportado por rodamientos de rodillo, abrazaderas para cables montadas al tambor, junto con otros componentes más pequeños.



Fig. 3.19 Eje de tambor de levante

Fuente: [Referencia electrónica]

### - **Compresor de aire**

La pala eléctrica utiliza aire comprimido suministrado por un compresor de aire accionado por un motor eléctrico. El aire comprimido opera los frenos para los movimientos de levante, empuje, giro y propulsión, las bombas neumáticas del sistema de lubricación automático, la bobina de aire, la escalera de acceso, el limpiaparabrisas y los ajustes para el asiento del operador.



Fig. 3.20 Compresor de aire

Fuente: [Referencia electrónica]

### - **Transmisión de levante**

La transmisión de levante es una caja hermética al aceite la cual aloja los engranajes y funciona como uno de los pedestales para el conjunto del tambor de levante. La caja de engranajes está fabricada de una estructura firme soldada totalmente con una gran cantidad de nervios para mayor resistencia y estabilidad.

La transmisión de levante convierte la velocidad de los motores del movimiento de levante en par de torsión, para levantar el balde a través del banco.



Fig. 3.21 Transmisión de levante

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Conjunto de anillos colectores**

Este conjunto proporciona conexiones eléctricas continuas, permitiendo al chasis inferior y al chasis superior rotatorio girar y mantener la continuidad eléctrica en toda la rotación de 360° durante el ciclo de excavación

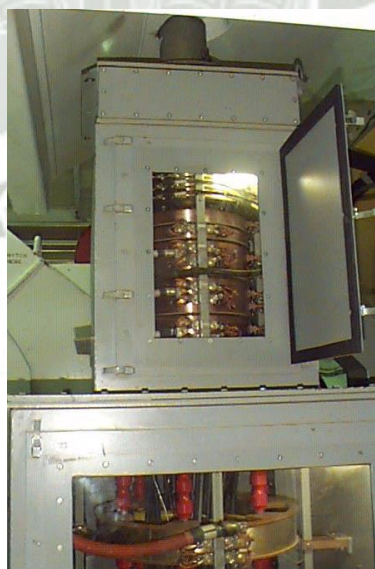


Fig. 3.22 Conjunto de anillos colectores

Fuente: [Referencia electrónica]

### - Estanque de lubricación

Hay dos estanques de lubricante ubicados en la sala de lubricación. El primer estanque contiene grasa multipropósito para ser utilizada en los rodamientos. El segundo estanque contiene lubricante para engranajes abiertos para ser utilizado en la pista de polines, la corona de giro y el mango del balde.



Fig. 3.23 Estanque de lubricación

Fuente: [Referencia electrónica]

### - Centro de control de carga

El centro de control de carga consta del asiento del operador, joystick de control izquierdo, panel de interruptores izquierdo, panel de interruptores derecho y joystick de control derecho



Fig. 3.24 Centro de control de carga

Fuente: [Referencia electrónica]

#### - **Cabina de control**

La cabina de control contiene los componentes y sistemas electrónicos para controlar los movimientos de la pala.

La cabina tiene puertas con ventanas en el lado izquierdo para monitorear los indicadores de estado en los módulos de control de drives. La cabina de control de la pala eléctrica consta de los siguientes sub-conjuntos:

- Indicadores de mantención externos, interruptores, botones e interruptores automáticos.
- Módulos de control del drive de control de la armadura
- Módulos de control del drive de control de campo.
- Controlador de drive AC800.
- Touch panel para commissioning, servicio, mantención y diagnóstico de fallas.

#### - **Centro de carga de 120VAC**

El centro de carga de 120VAC contiene interruptores de circuito para las luces de la cabina, los calefactores, calentadores de motores y transformadores, receptáculo de la cabina, alimentación de cabina de alto voltaje, alimentación de freno inferior, alimentación de relés de voltaje, alimentación de contactor, sistema de pesómetro.

#### - **Cabina de alto voltaje**

La cabina de alto voltaje proporciona los componentes y los circuitos requeridos para la distribución del suministro de alto voltaje proveniente desde el conjunto de anillos colectores hacia el transformador principal y el transformador auxiliar/de campo. En esta cabina se ubica un interruptor desconectador de alto voltaje principal, un interruptor aislador de alto voltaje del transformador principal, pararrayos, un contactor del transformador principal y un medidor de calidad de potencia (PQM).

#### - **Transformador principal**

El transformador principal recibe alimentación de alto voltaje trifásico desde los componentes de la cabina de alto voltaje. El alto voltaje se reduce a 600VAC el cual es aplicado a las barras colectoras que alimentan a los cuatro convertidores de armadura.

#### - **Cabina de falla a tierra y supresión**

La cabina de falla a tierra y supresión contiene componentes sensores para la detección de fallas a tierra, que ocurren en ambos secundarios del transformador principal y el secundario de suministro auxiliar, secundario de suministro de control y secundario de suministro de campo del transformador auxiliar.

Esta cabina también contiene los componentes que proporcionan la supresión de voltaje transitorio en las barras colectoras de 600VAC. La supresión del voltaje transitorio es necesaria debido a las transientes producidas por la conmutación mecánica del motor de CC de movimiento y la conmutación natural de los conjuntos de tiristores de los cuatro convertidores de armadura.

#### - **Motores de corriente continua**

La pala P&H 4100A, usa motores de Corriente continua para producir los 4 movimientos básicos: Empuje (Crowd) 1 motor, Izar (Hoist) 2 motores, Giro (Swing) 2 motores y Avance (Propel) 2 motores. La alimentación de Corriente continua de estos motores, es generada por medio de un Transformador principal y un grupo de puentes rectificadores Trifásicos a SCR's controlados electrónicamente.

### 3.3.4 MOVIMIENTOS DE LA PALA

La pala 4100A tiene 4 movimientos producidos por motores DC:

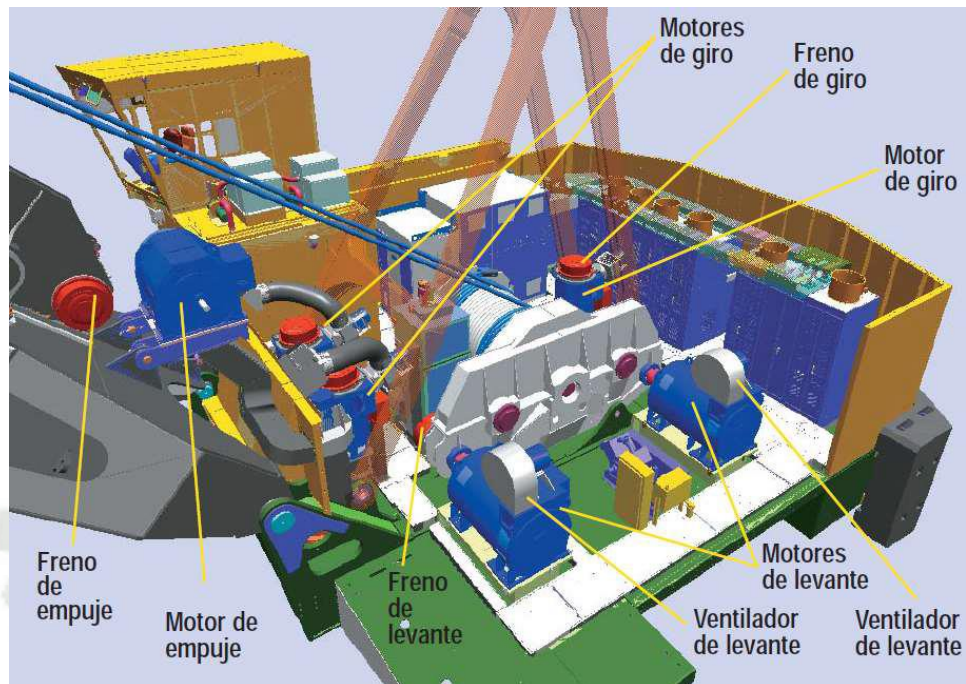


Fig. 3.25 Motores de movimiento

Fuente: [Referencia electrónica]

- **MOVIMIENTO DE LEVANTE.**- A través de 2 motores acoplados a una caja de engranajes comunican movimiento a un tambor sobre el que un cable es enrollado para levantar o bajar el balde. Se utiliza:
  - 01 Convertidor de Campo conectado con los dos campos de los motores de Levante (Hoist) enseriados.
  - 02 Convertidores de Armadura conectados con las 2 armaduras de los motores de Levante enseriadas.

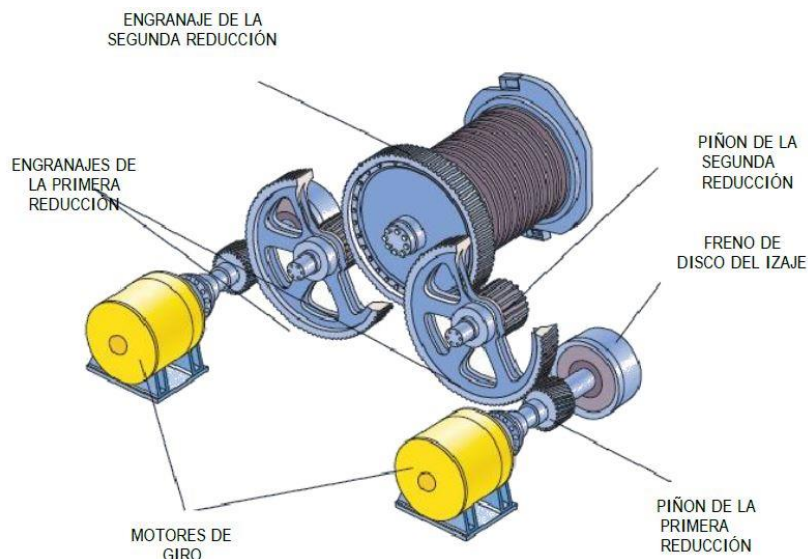


Fig. 3.26 Movimiento de Levante

Fuente: [Referencia electrónica]

- **MOVIMIENTO DE EMPUJE.-** A través de un Motor de Empuje, acoplado por medio de fajas a una caja de engranajes, comunica movimiento al brazo. Se utiliza:

- o 01 Semiconvertidor de Campo conectado al Campo del Motor.
- o 01 Convertidor de Armadura conectado a la Armadura del Motor.

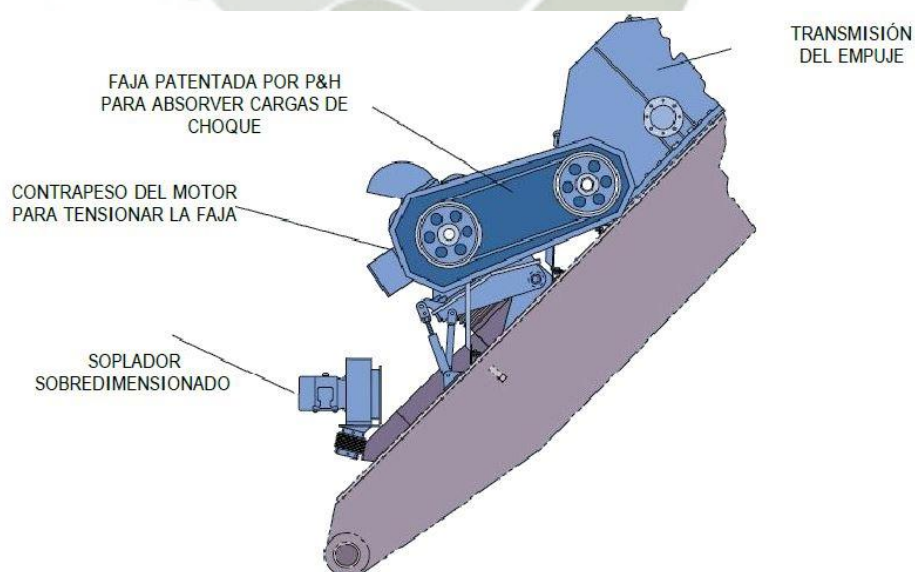


Fig. 3.27 Movimiento de empuje

Fuente: [Referencia electrónica]

- **MOVIMIENTO DE GIRO.-** A través de 2 Motores de Giro acoplados a 2 cajas planetarias que comunican su movimiento al anillo dentado de la tornamesa. Se utiliza:
  - o 01 Semiconvertidor de Campo conectado a los dos campos de los motores enseriados.
  - o 01 Convertidor de Armadura conectado con las 2 armaduras de los motores de Giro enseriadas.

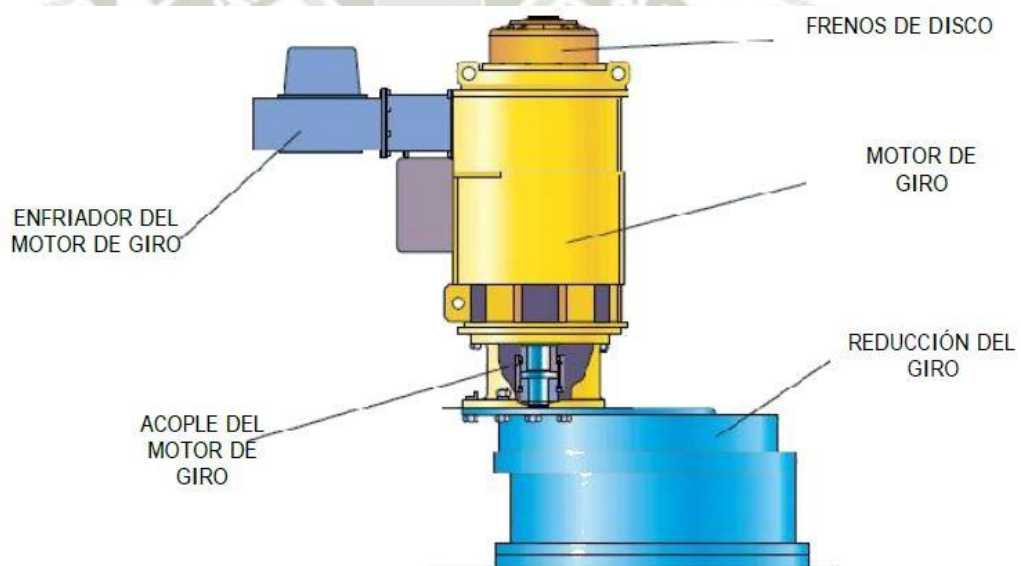


Fig. 3.28 Movimiento de giro

Fuente: [Referencia electrónica]

- **MOVIMIENTO DE AVANCE.-** A través de 2 motores de Avance acoplados a 2 cajas planetarias que comunican movimiento independiente, una a cada oruga de la pala. Cuando se produce la transferencia de Empuje/Avance utiliza:

- 01 Convertidor de Armadura de Levante (Levante 1) conectado a la armadura del motor de Avance 1 (Propel 1).
- Convertidor de Armadura de Empuje conectado a la Armadura del Motor de Avance 2 (Propel 2)
- 01 Semiconvertidor de Campo de Empuje conectado a los Campos de los Motores de Avance enseriados.

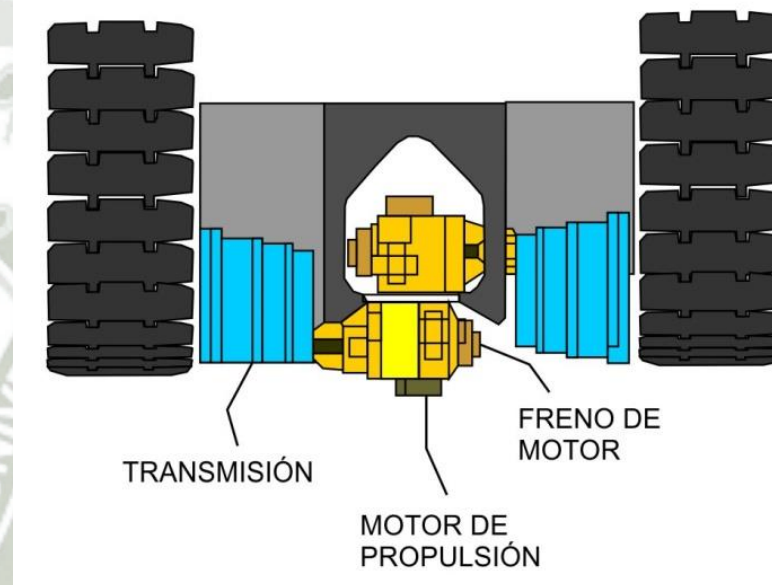


Fig. 3.29 Movimiento de avance

Fuente: [Referencia electrónica]

## CAPITULO IV

### SISTEMA ELECTROTORQUE

#### 4.1 CONCEPTOS

En el presente capítulo se detalla el funcionamiento del sistema Electrotorque, así como la relación con sus subsistemas y el comportamiento de las señales que controlan los movimientos de la Pala.

El electrotorque, se encarga de suministrar la corriente continua que necesitan los motores DC tanto en sus respectivos Campos como en sus Armaduras de acuerdo a las señales de referencia (mando del operador) y de realimentación de voltaje y corriente para controlar los movimientos de la pala, usando para ello un grupo de convertidores estáticos (Rectificadores) Trifásicos a SCR, cuyo ángulo de disparo o conducción es variado según los requerimientos de potencia de los motores. Los Convertidores del Sistema Electrotorque son alimentados por un Transformador Principal con dos devanados Secundarios de 600 VAC cada uno; el sistema así constituido es un Variador de Potencia DC por Angulo de Conducción, basado en el método de la generación de rampa y escalón para producir la variación del ángulo de disparo. (Llaguno, 2015, pp. 02-03)

Las regulaciones de tensión y corriente para los motores DC son hechas en las diferentes tarjetas electrónicas que conforman el control electrónico. Los mandos en la cabina del operador, establecen las señales de entrada o referencia para el control de movimientos de la pala según la demanda de potencia requerida en ese momento. (Llaguno, 2015, pp. 02-03)

Como segundo sistema tenemos que el control eléctrico (Comenzar, Parar, Luces, Ventiladores, etc.), la transferencia de movimientos, restricciones de funcionamiento (Interruptor de Limite de Movimiento, Interruptor limite de Levante, Interruptor Limite de la Escalera) y protecciones del sistema (relé de bajo voltaje, relé monitor de fase, relé falla a tierra, relé de falla en transformador principal, etc) son controladas a través de un sistema PLC Allen-Bradley de la familia SLC-5/04 que se comunica con el Electrotorque, a través de las tarjetas convertidoras de característica y los módulos de protección de este (Diverter, Diferencial de tensión, sobrecorriente, falla de SCR, etc.); para determinar el cambio de movimiento (y entonces encender el convertidor o puente rectificador respectivo a SCR's) o la condición de paro o alarma en la máquina. La lubricación de todos los puntos de engrase en la pala, también es controlada a través de este PLC Allen-Bradley SLC-5/04 que trabaja verificando el cumplimiento de los ciclos de lubricación y avisando a través de alarmas de una falla en la secuencia. (Llaguno, 2015, pp. 02-03)

El control de la potencia reactiva, producida por el trabajo de los puentes rectificadores y motores DC, es regulado a través del sistema RPC o compensador de potencia reactiva integrado al sistema Electrotorque en el mismo panel que él; es un sistema electrónico que va agregando o retirando bancos de resistencias y condensadores a los secundarios del transformador principal, según el factor de potencia en ese momento, con el objeto de acercar este valor a la unidad, para esto usa SCR's y diodos a manera de Switches electrónicos para conectar o retirar los bancos, que son controlados por un grupo de tarjetas electrónicas, las cuales deben ser ajustadas por niveles según un

procedimiento de calibración para el orden de ingreso y salida de los mismos.  
(Llaguno, 2015, pp. 02-03)

## 4.2 CONTROL ELECTROTORQUE

De acuerdo a las funciones de control, el sistema Electrotorque puede dividirse en 04 bloques a continuación descritos:

- **Convertidor de Armadura.-** Convierte una AC en una DC controlada, tanto en voltaje como en corriente. También convierte la DC de exceso a través de la regeneración en una AC.
- **Control de Armadura.-** Regula la Velocidad y el Torque desarrollado por el motor DC a través de la comparación de la señal del control del operador con la señal de realimentación de Voltaje de Armadura ; el resultado es la señal de error  $I_{ref}$ , es comparada con la señal de realimentación de corriente de armadura " $I_{afb}$ " y la señal diferencial es la señal Voltaje de Control " $V_c$ ", que se usa para cambiar el ángulo de disparo de los SCR's del Convertidor de Armadura.
- **Convertidor de Campo.-** Convierte la AC de entrada en una DC controlada de tal modo que la corriente de campo que circula en un motor sea siempre constante.
- **Control de Campo.-** Regula la corriente de Campo a un nivel fijo, compara la referencia con la realimentación de corriente de campo " $I_{ffb}$ ".

La figura siguiente presenta un diagrama de bloques de las relaciones funcionales de estos cuatro bloques, tanto los convertidores de armadura como

los de campo tienen fuentes AC independientes, así como los motores DC tienen excitación separada pues los campos y armaduras se alimentan de fuentes independientes. (Llaguno, 2015, pp. 10)

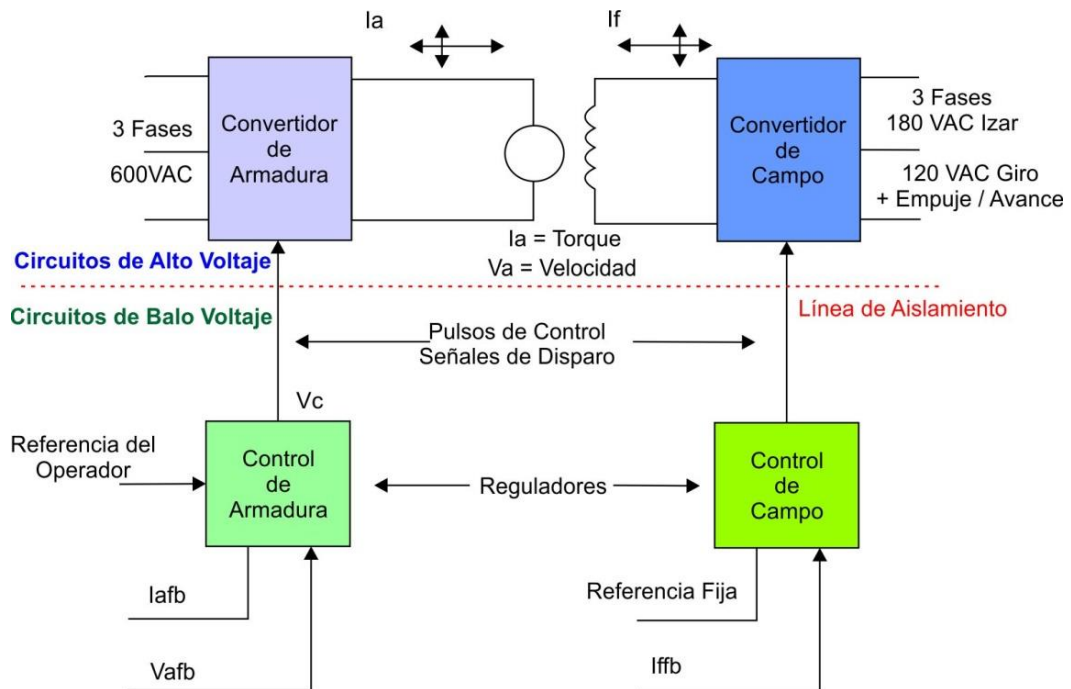


Fig. 4.1 Control Electrotorque – Diagrama de bloques

Fuente: [Referencia electrónica]

### 4.3 COMPONENTES DE ALTO VOLTAJE

A continuación se detallan los componentes que forman parte del circuito previo de potencia y que llevan la energía desde el cable de fuerza hasta los convertidores de los motores encargados de los movimientos en la Pala.

La pala 4100A se alimenta de 4,160 Voltios AC usando 2 transformadores; uno principal de 2.5 MVA de 4,160/2 x 600 Voltios que energiza a los convertidores de las armaduras de los motores DC de la Pala y otro auxiliar de 4,160/480-240-208-120 Voltios, para alimentar a los convertidores de campo de los motores

DC, los motores ventiladores, los circuitos de control y de Iluminación.

(Llaguno, 2015, pp. 29)

- **Transformador Principal**

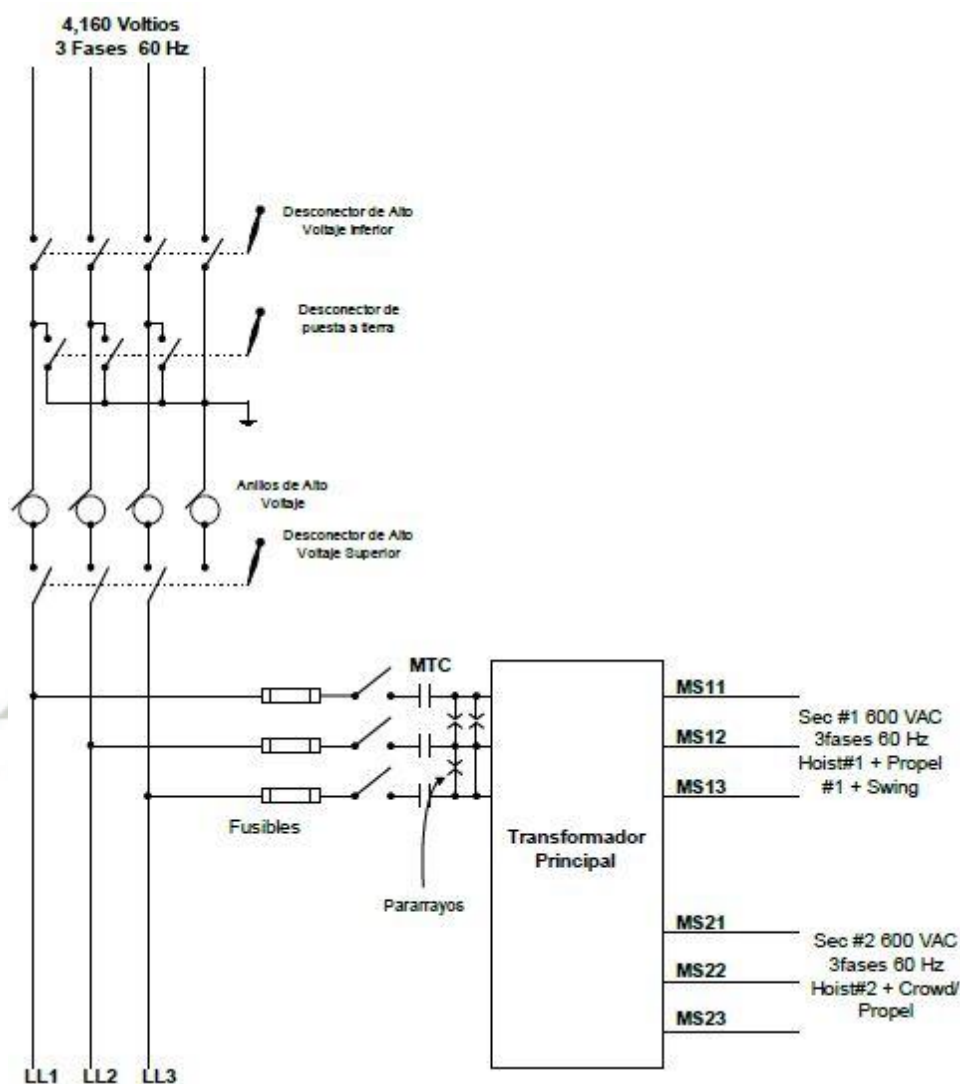


Fig. 4.2 Transformador principal

Fuente: [Referencia electrónica]

- **Transformador Auxiliar**

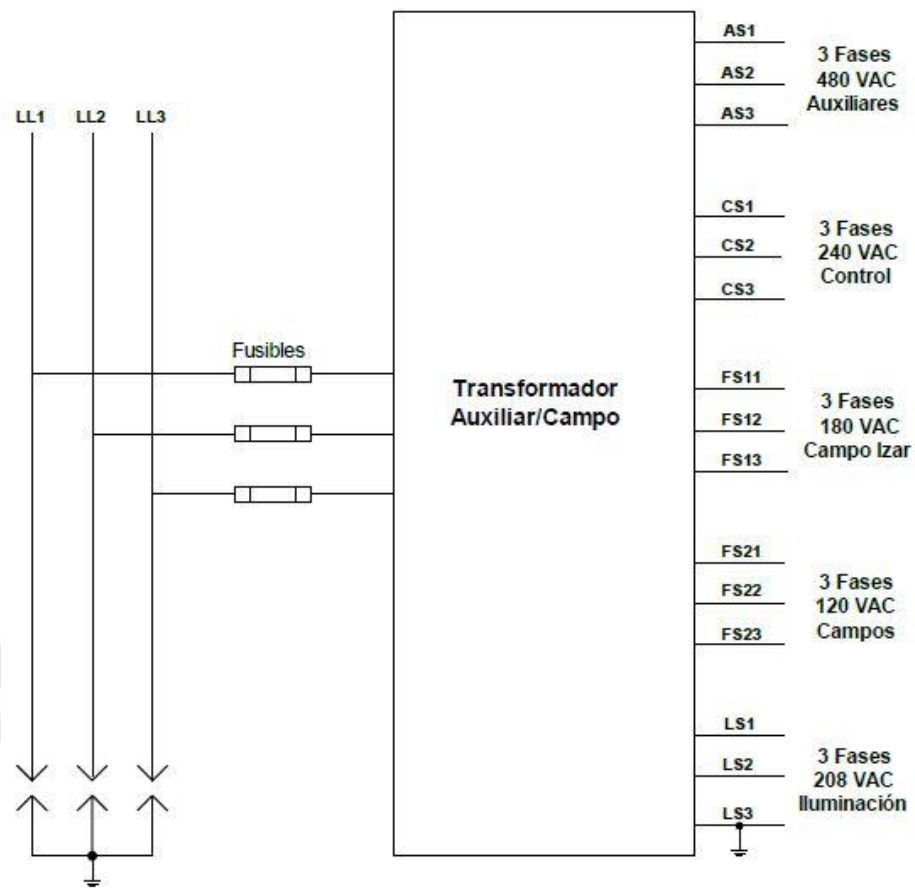


Fig. 4.3 Transformador auxiliar

Fuente: [Referencia electrónica]

#### - Sistema Colector de Alto Voltaje

El sistema colector de alto voltaje, permite que la pala tenga el movimiento de Giro, llevando energía de 4,160 Voltios hasta los transformadores de Alto Voltaje por medio de anillos colectores y zapatas. La figura a continuación muestra este sistema.

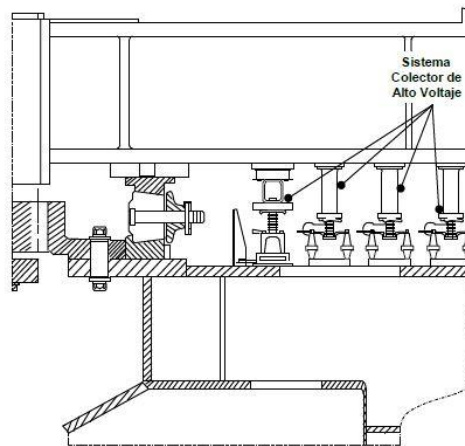


Fig. 4.4 Transformador de alta voltaje

Fuente: [Referencia electrónica]

#### ○ Zapatas de Alto Voltaje

Son las que reciben la alimentación de 4,160 Voltios, están situadas en el Carbody y en contacto con los anillos de Alto Voltaje. En la Pala 4100A hay 2 tipos de Zapatas; el primer tipo corresponde realmente a especificaciones de Alto Voltaje y se diferencia de las otras por estar montadas sobre aisladores; hay 6 zapatas de estas (3 juegos de 2 zapatas cada uno) distribuidas diametralmente en el Carbody con el objeto de llevar la energía hasta el revolving Frame. El segundo Tipo de zapatas corresponden a las de tierra y no están montadas sobre aisladores, hacen la conexión de tierra del Carbody al revolving Frame. (Llaguno, 2015, pp. 32)

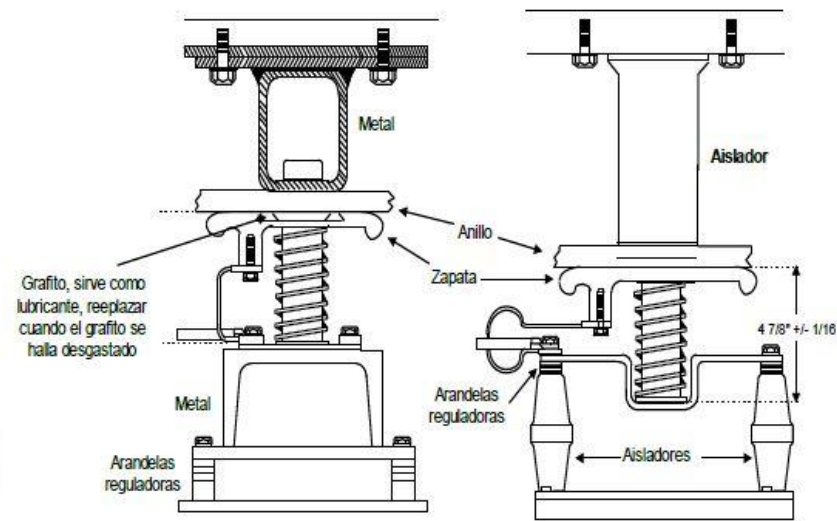


Fig. 4.5 Zapatas de alto voltaje

Fuente: [Referencia electrónica]

○ **Anillos de Alto Voltaje**

Los Anillos de Alto Voltaje están montados en el Revolving Frame y por contacto con las Zapatas de Alto Voltaje llevan 4,160 Voltios hasta los Transformadores de la Pala. Existen 4 anillos: 3 de 4,160 Voltios (1 por fase) y uno de tierra.

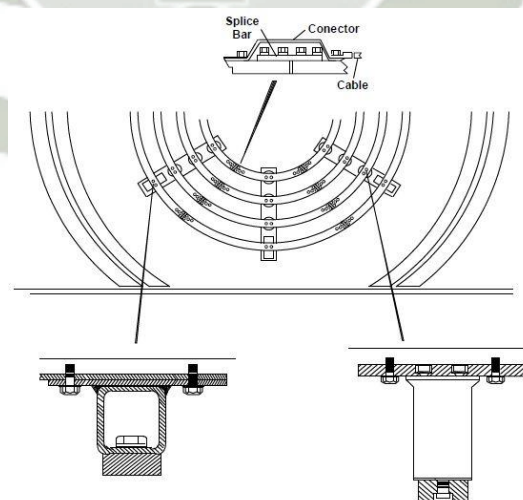


Fig. 4.6 Anillos de alto voltaje

Fuente: [Referencia electrónica]

#### 4.4 CONFIGURACIÓN DE UN PUEBTE RECTIFICADOR A SCR'S

Para el movimiento de las Palas el sistema Electrotorque utiliza convertidores que son controlados por la activación o desactivación de combinaciones de SCR's agrupadas en modo rectificador completo o semiconvertidor.

##### - **Puente Reversor**

La siguiente figura muestra la configuración de un puente rectificador completo con posibilidad de inversión de movimiento al que comúnmente se le llama reversor.

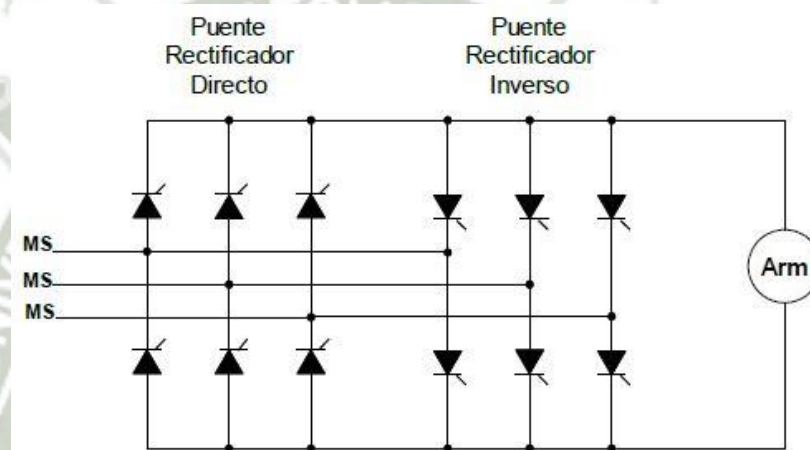


Fig. 4.7 Puente reversor

Fuente: [Referencia electrónica]

En este tipo de puente, solo uno de ellos, el directo o el inverso conducirá en un instante determinado, nunca los dos al mismo tiempo.

##### - **Puentes en Serie**

El máximo voltaje que un puente a SCR's puede producir, está limitado por el voltaje de línea AC y por las características de Voltaje de los SCR's que lo conforma. En el caso de la Pala 4100A, los dos motores de Levante están

conectados en serie y por lo tanto se usa un arreglo de puentes conectados en serie. (Llaguno, 2015, pp. 54-55)

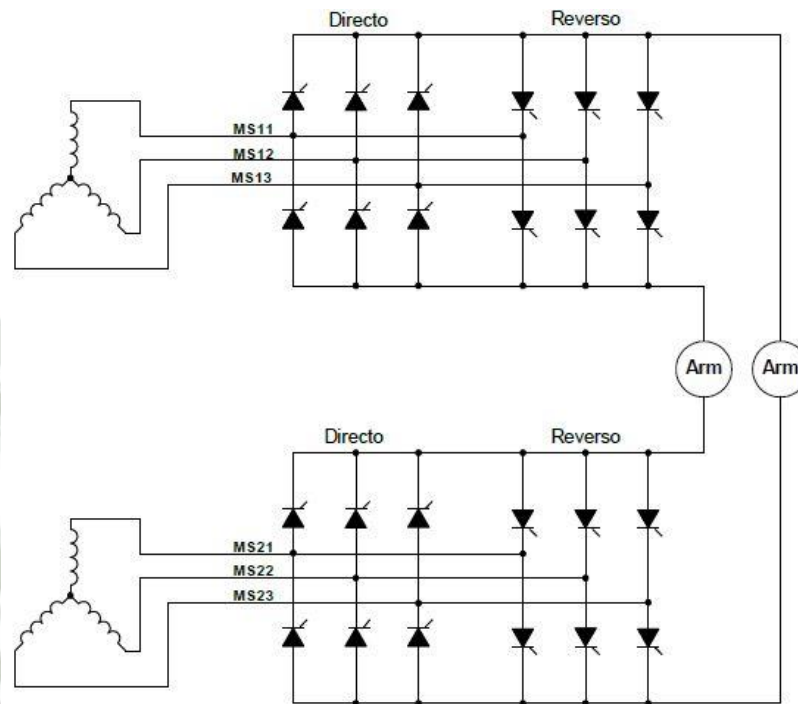


Fig. 4.8 Puentes en serie

Fuente: [Referencia electrónica]

Los SCR's de los puentes correspondientes; esto es, Directo-Directo o Reverso-Reverso, son energizados al mismo tiempo, la tarjeta que se encarga de esta función es la Booster Circuit.

Es necesario disponer de 2 alimentaciones trifásicas independientes que estén en fase para que el sistema trabaje.

- **Semiconvertidor**

Un Semiconvertidor es un puente que esta compuesto de 3 SCR's y 3 diodos. Este puede convertir un Voltaje trifásico AC en un Voltaje DC Controlado, Pero no puede Convertir el Voltaje DC en AC (No puede Regenerar). Este tipo

de puente es usado para alimentar a los campos de todos los Motores DC que necesitan corriente constante.

La figura siguiente muestra el circuito de un Semiconvertidor y las formas de onda de salida del puente. (Llaguno, 2015, pp. 56)

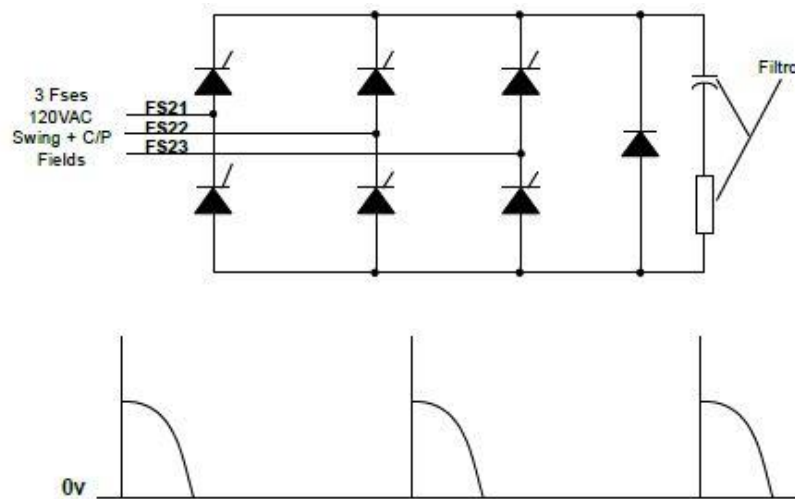


Fig. 4.9 Semiconvertidor

Fuente: [Referencia electrónica]

## 4.5 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

### 4.5.1 PRINCIPIO DE LOS MOTORES Y GENERADORES DC

Los motores en la Pala funcionan controlando la corriente y voltaje de armadura que es un motor DC viene a ser el rotor, y controlando la corriente y voltaje de campo que es el estator del motor.

El devanado inducido o Armadura de un Generador o Motor de Corriente continua esta situado en el rotor tomándose la corriente de él a través de escobillas de carbón. El devanado inductor o Campo está en el estator y

se excita con corriente continua. La figura siguiente representa esquemáticamente un generador elemental de dos polos.

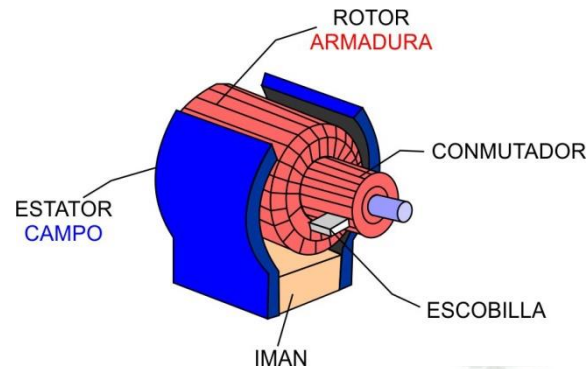


Fig. 4.10 Motor DC – Principio de funcionamiento

Fuente: [Referencia electrónica]

El devanado inducido o armadura se reduce a una única bobina con  $N$  espiras cuyos laterales, representados por  $a$  y  $-a$ , están situados paralelamente al eje sobre dos generatrices diametralmente opuestas del rotor: el rotor gira a velocidad uniforme arrastrado mecánicamente por su eje. El flujo en el entrehierro se distribuye según una onda plana en lugar de hacerlo en la forma senoidal como lo haría una máquina de alterna. La rotación de la bobina induce en ella una tensión función del tiempo, cuya forma de onda es semejante a la de la distribución espacial de la densidad de flujo. (Llaguno, 2015, pp. 58-59)

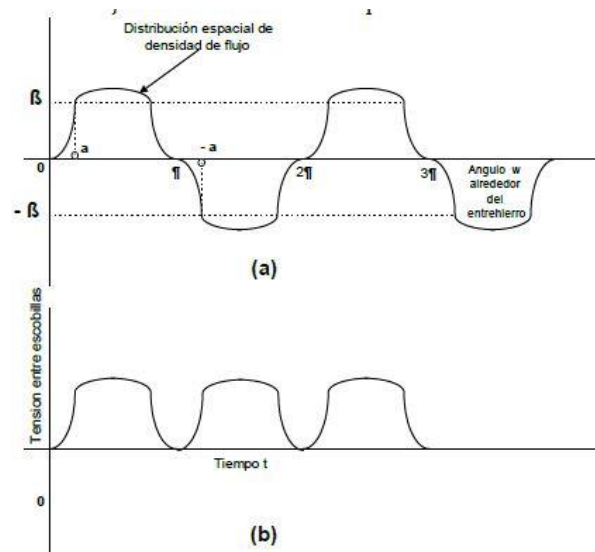


Fig 4.11 (a) Distribución espacial de la densidad de flujo en el entrehierro de una máquina de continua elemental, y (b) onda de tensión entre las escobillas.

Fuente: [Referencia electrónica]

Aun cuando el fin perseguido es el de engendrar una tensión continua, la tensión inducida en una bobina única es siempre alterna, por lo que se requiere rectificarla posteriormente, lo que en ocasiones se realiza en el exterior mediante, por ejemplo, rectificadores de semiconductores: en este caso, la máquina no es mas que un alternador con el aditamento de un rectificador externo. En los generadores clásicos la rectificación se hace mecánicamente por medio del Colector, que es un cilindro formado por segmentos de cobre (delgas) aislados entre si con mica y montado el conjunto sobre el mismo eje de la armadura aunque aislado de ella. Unas escobillas fijas que se apoyan sobre la superficie del colector conectan el devanado inducido o armadura con el circuito exterior. La necesidad de proceder a la conmutación es el motivo por el cual en las máquinas de continua el inducido se sitúa en el rotor. (Llaguno, 2015, pp. 59)

#### 4.5.2 MOTORES DC EN PALA

Los motores DC en la Pala son controlados a través de su corriente y voltaje de armadura como de campo, a continuación se explican las relaciones resultantes de la interacción de los campos magnéticos generados.

Las Palas P&H con Electrotorque, tienen 2 fuentes de alimentación independientes. Una fuente es para la corriente de Armadura, la otra suministra la corriente de Campo. Por esta razón, estos motores son llamados Motores DC de excitación separada. La siguiente figura muestra un diagrama de la excitación.

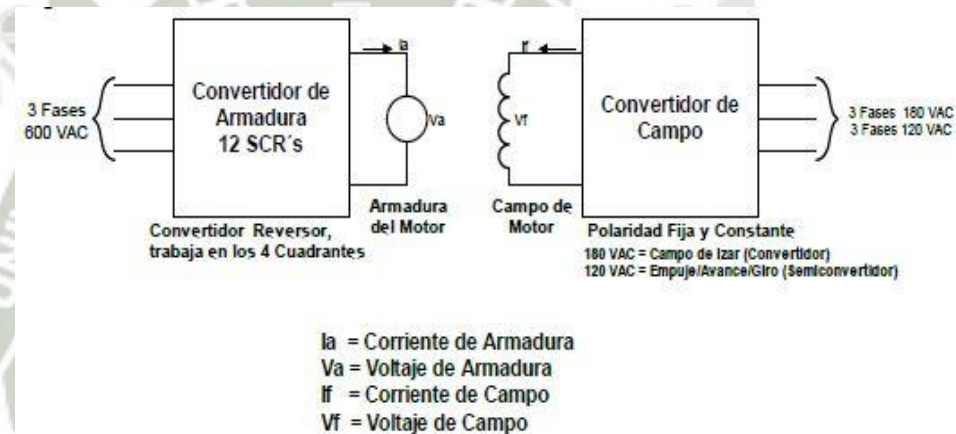


Fig. 4.12 Motor DC – Excitación separada

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 61)

La corriente fluye a través de las bobinas de Campo y genera un campo magnético, la fuerza de este campo magnético es proporcional a la corriente de campo “If” y al número de vueltas de las bobinas de campo.

La corriente de Armadura fluye a través de las escobillas de carbón y el conmutador hasta las bobinas de armadura del motor. Esta corriente

también produce un campo magnético. La interacción de estos dos campos magnéticos crea un efecto rotacional llamado TORQUE.

El Torque es proporcional a la Corriente de Armadura y a la corriente de Campo. Las dos curvas que se muestran a continuación ilustran este principio.

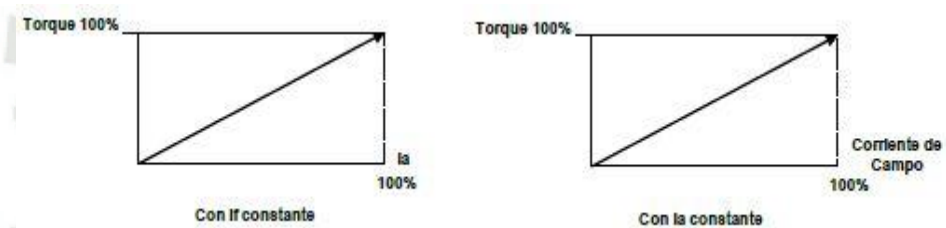


Fig. 4.13 Curvas de corriente de armadura y campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 62

Cuando la Armadura del motor comienza a girar, las bobinas de la armadura cortan el campo magnético generado por la corriente de campo; esto origina que un voltaje sea inducido en la armadura. Este voltaje es llamado “Fuerza Contraelectromotriz” (CEMF). La Fuerza Contraelectromotriz es proporcional a la velocidad del motor y al campo magnético.

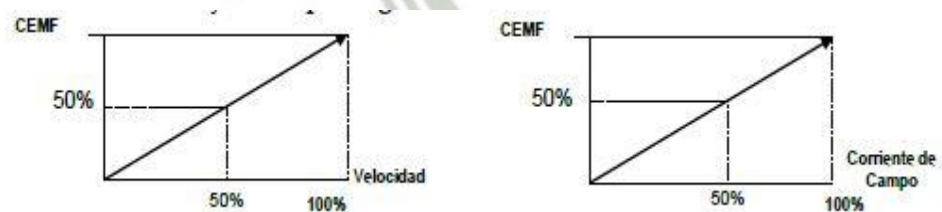


Fig. 4.14 Curvas de fuerza contra electromotriz CEMF

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 62

Se puede invertir el sentido de giro de un motor DC invirtiendo la Corriente de ARMADURA o la Corriente de CAMPO, Invirtiendo una de estas corrientes, se invierte el Torque del Motor el cual inicialmente lo frena y luego acelera en la dirección opuesta.

El término “Resistencia de Armadura” está referida a la resistencia óhmica de las bobinas de la armadura; esta es usualmente muy pequeña, un valor típico puede ser: 0.04 Ohmios. (Llaguno, 2015, pp. 61-62)

○ **Curvas de Trabajo**

La curva característica de trabajo del motor depende del tipo de fuente de alimentación.

Cuando un sistema de control es adicionado, el voltaje de Armadura puede ser variado y se pueden tener algunas características de movimiento deseadas.

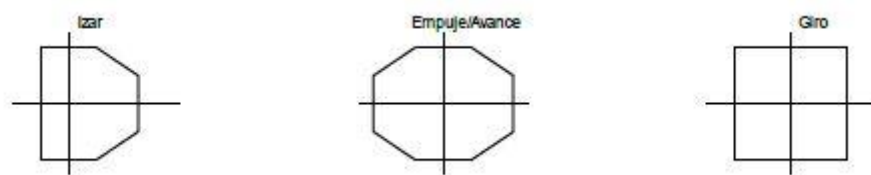


Fig. 4.15 Movimiento de la Pala – Curvas características

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 63

Regulación de Velocidad con Límite de Torque: El operador controla la velocidad del Motor.

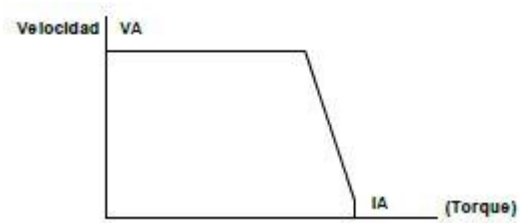


Fig. 4.16 Aplicación: Empuje – Avance – Izar

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 63

Regulación de Torque con Límite de Velocidad: El operador controla el Torque desarrollado por el motor. (Llaguno, 2015, pp. 63)



Fig. 4.17 Aplicación: Giro

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 63

- **Cuadrantes de Control: Movimientos de Levante y Descenso**

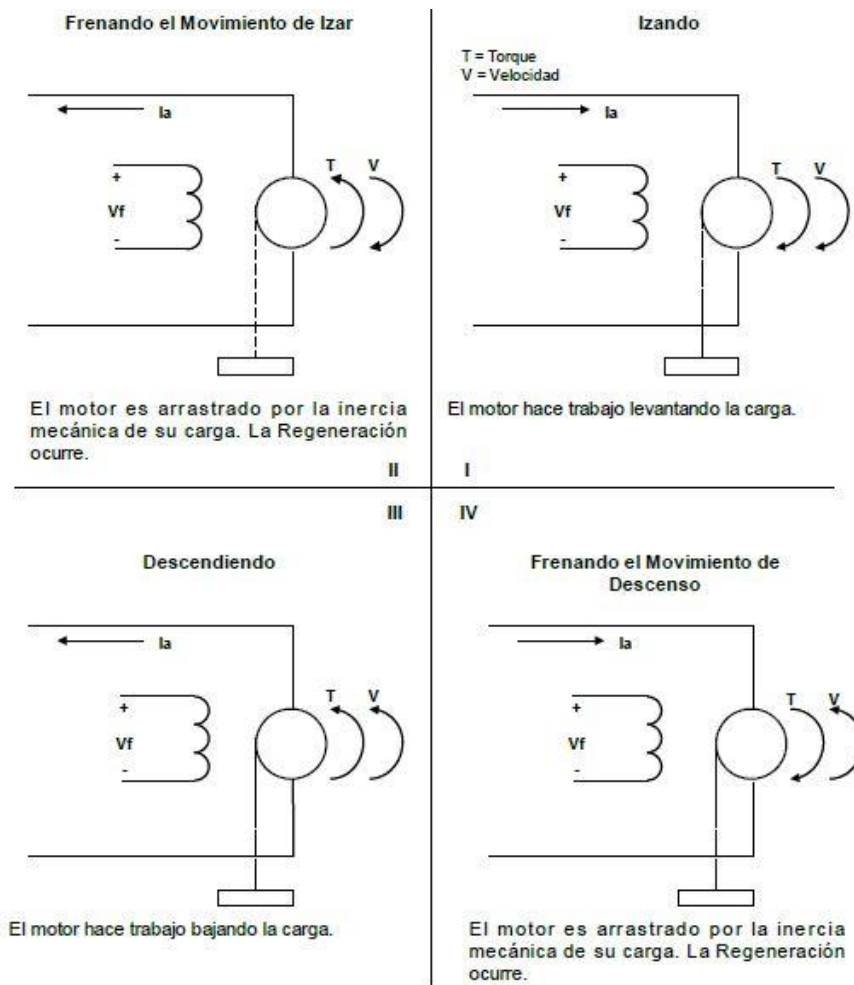


Fig. 4.18 Cuadrantes de control: Movimientos de levante y descenso

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 64

- **Voltaje de Armadura y Corriente de Armadura**

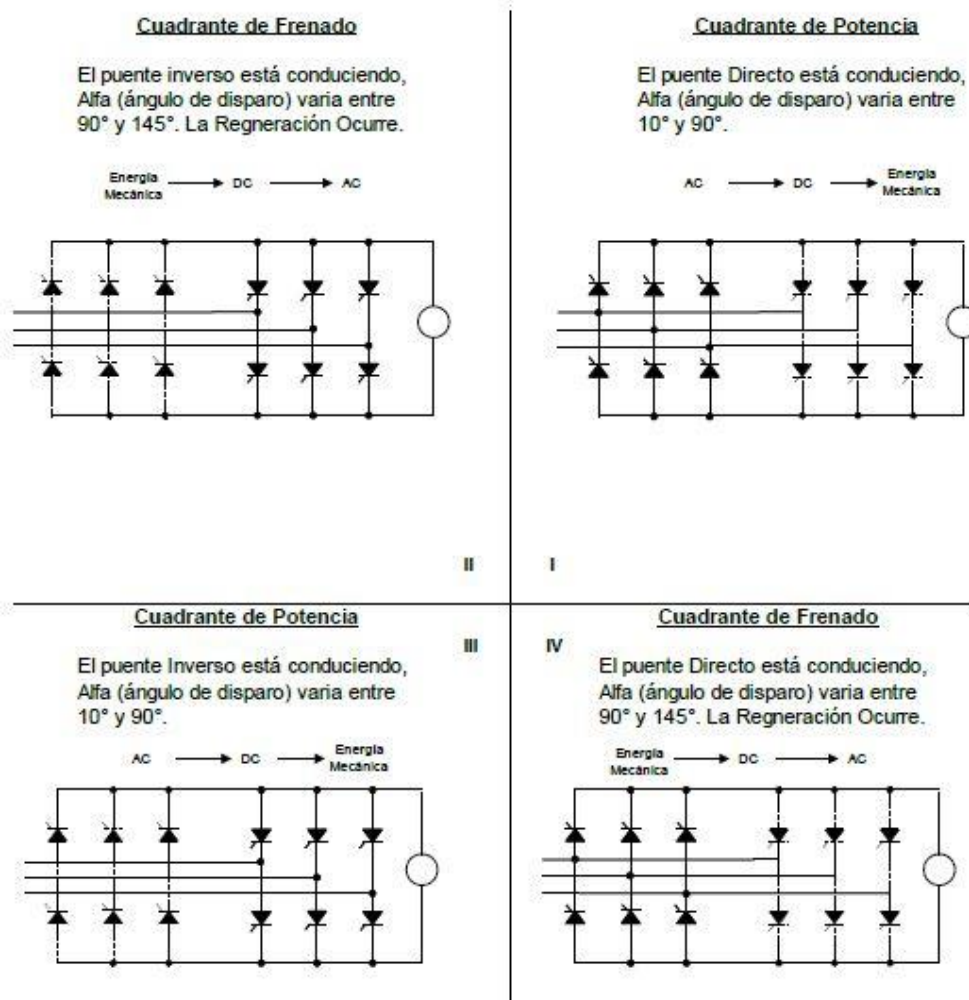


Fig. 4.19 Voltaje y corriente de armadura

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 65

○ **Debilitamiento de Campo**

El Debilitamiento de Campo es usado en el movimiento de Izar, solo cuando el cucharón vacío está descendiendo. El Debilitamiento de campo solo es permitido cuando el sistema ha entrado a operar en el Cuarto Cuadrante.

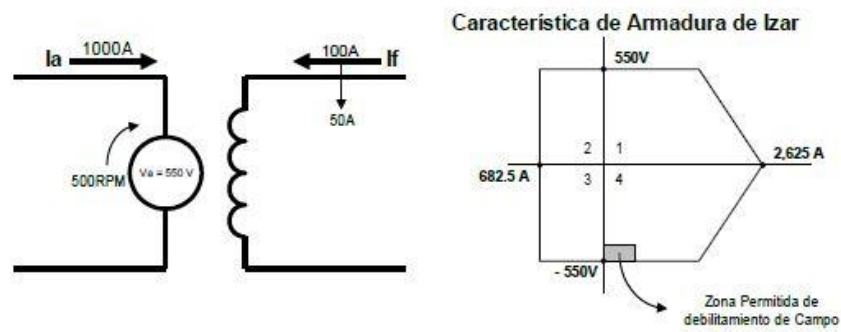


Fig. 4.20 Movimiento de izar – Debilitamiento de campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 66

- **Ventaja:** Si la corriente de campo disminuye, el campo magnético también disminuirá; como resultado la Fuerza Contraelectromotriz disminuirá y la corriente de armadura aumentará. Entonces, habrá más torque y la velocidad del motor aumentará.

Conclusión: El debilitamiento de la corriente de Campo, permite que el motor incremente su velocidad.

- **Desventaja:** En muchas aplicaciones la corriente de armadura está limitada a un valor máximo para proteger al motor. De esta manera, el máximo Torque que puede entregar el motor depende del campo magnético. Si la corriente de campo disminuye, el máximo Toque disponible también disminuye.

Conclusión: El arranque o parada de un motor cargado requiere máximo Torque, en esta condición no puede aplicarse el debilitamiento de campo. (Llaguno, 2015, pp. 65-66)

## 4.6 CARACTERÍSTICAS DE ARMADURA

### 4.6.1 MOVIMIENTO DE LEVANTE

El movimiento de Levante (hoist) se da en el primer cuadrante cuando la corriente de armadura y el voltaje de armadura son positivos, dando lugar al torque máximo hasta superar la inercia y la carga ejercida en el cucharón.

La siguiente figura muestra la curva característica de las Armaduras de los motores de Levante, la cual corresponde a un control de Velocidad con límite de Torque.

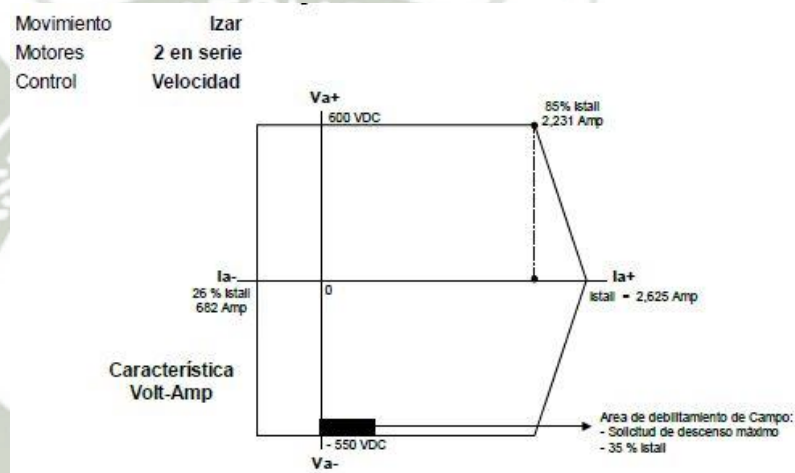


Fig. 4.21 Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Izar

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 67

La forma como están conectadas las dos armaduras, el contactor que aparece en la siguiente figura, es el que permite conmutar el convertidor de Izar #1 para el motor de Avance #1.

Nótese también que para poder obtener 2 fuentes DC independientes, se usan los dos secundarios del transformador principal, esto también permite balancear la carga en ambos. (Llaguno, 2015, pp. 67-68)

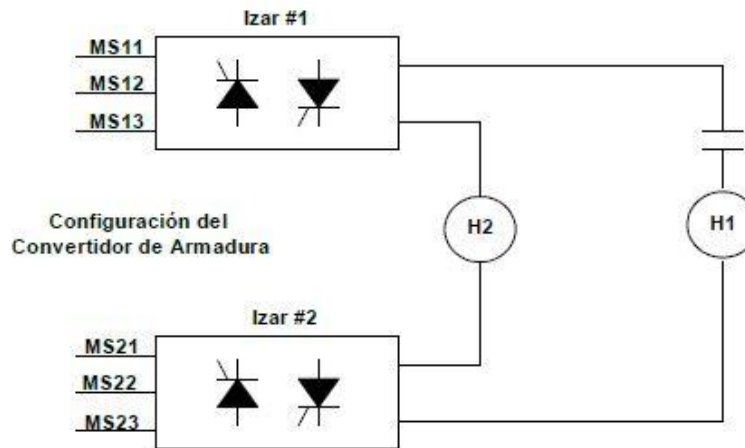


Fig. 4.22 Configuración de los convertidores y armaduras de Izar, se usan 24

SCR's; 12 para cada convertidor.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 68

#### 4.6.2 MOVIMIENTO DE GIRO

EL movimiento de giro manteniendo un torque y velocidad constante, por tanto la corriente y voltaje de armadura pueden interactuar en los cuatro cuadrantes.

La siguiente figura muestra la curva característica de las Armaduras de los motores de Giro, la cual corresponde a un control de Torque con límite de Velocidad.

Movimiento	Giro
Motores	2 en serie
Control	Torque

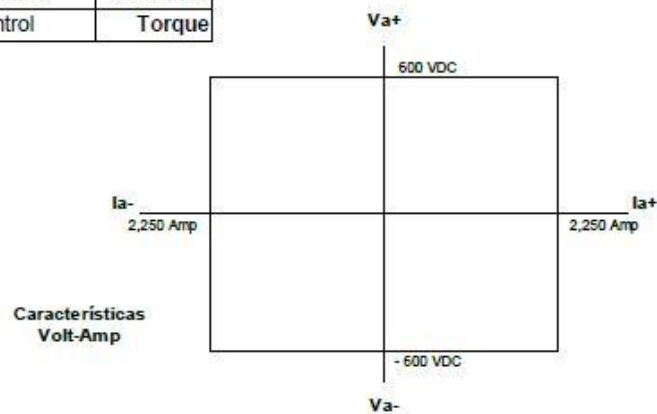


Fig. 4.23. Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Giro

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 68

La forma como están conectadas las dos armaduras, es mostrada en la siguiente figura. Nótese que solo se usa un convertidor para alimentar a las 2 armaduras de los motores conectadas en serie. (Llaguno, 2015, pp. 69-70)

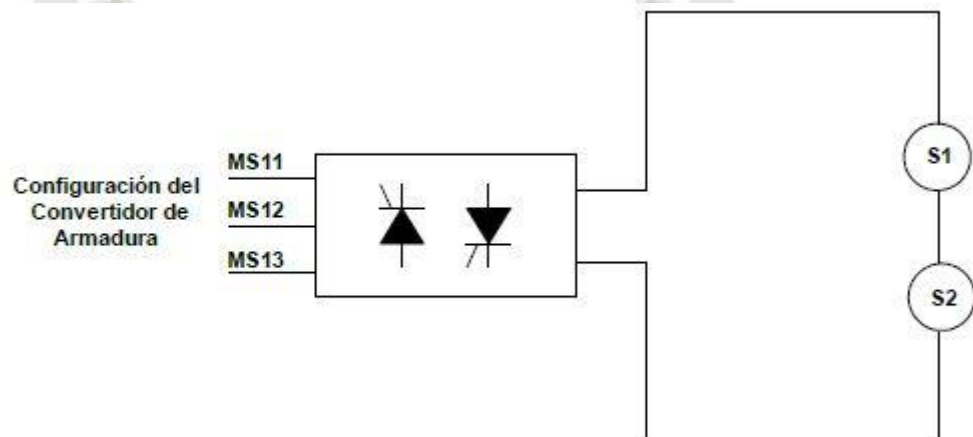


Fig. 4.24. Configuración del convertidor y las armaduras de Giro, se usan solo 12

SCR's y un solo convertidor.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 69

### 4.6.3 MOVIMIENTO DE EMPUJE

El movimiento de empuje la corriente y voltaje de armadura interactúan en los cuatro cuadrantes, con la diferencia que al valores máximos de corriente el voltaje disminuye limitando el torque.

La siguiente figura muestra la curva característica de la Armadura del motor de Empuje, la cual corresponde a un control de Velocidad con límite de Torque.

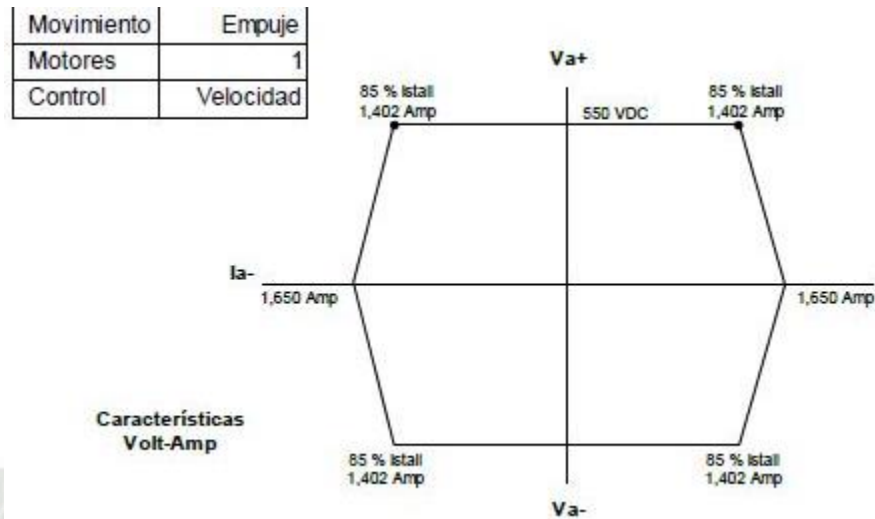


Fig. 4.25. Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Empuje.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 69

La forma como está conectada la armadura con el convertidor, es mostrada en la siguiente figura. Nótese que se usa un contactor para permitir el uso de este convertidor con el motor de Avance #2. (Llaguno, 2015, pp. 70-71)

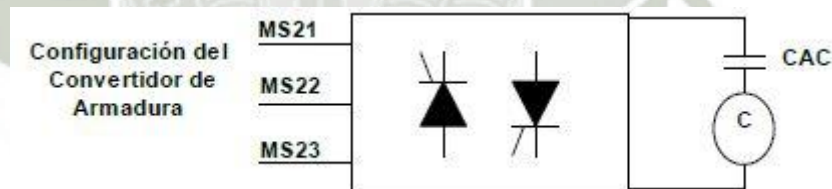


Fig. 4.26. Configuración del convertidor y la armadura de Empuje.

Fuente: (Llaguno, 2015, pp. 70

#### 4.6.4 MOVIMIENTO DE AVANCE

En el movimiento de avance posee un comportamiento similar al movimiento de empuje, para corriente de armadura máxima el voltaje de armadura disminuye limitando el torque.

La siguiente figura muestra la curva característica de las Armaduras de los motores de Empuje, la cual corresponde a un control de Velocidad con límite de Torque. En este circuito, el motor de Avance #1 está orientado al convertidor de Izar #1, en el caso de Izar cuando el controlador se aplica adelante, el cucharón baja y el motor de Avance #1 avanza siendo el convertidor que trabaja el reverso.

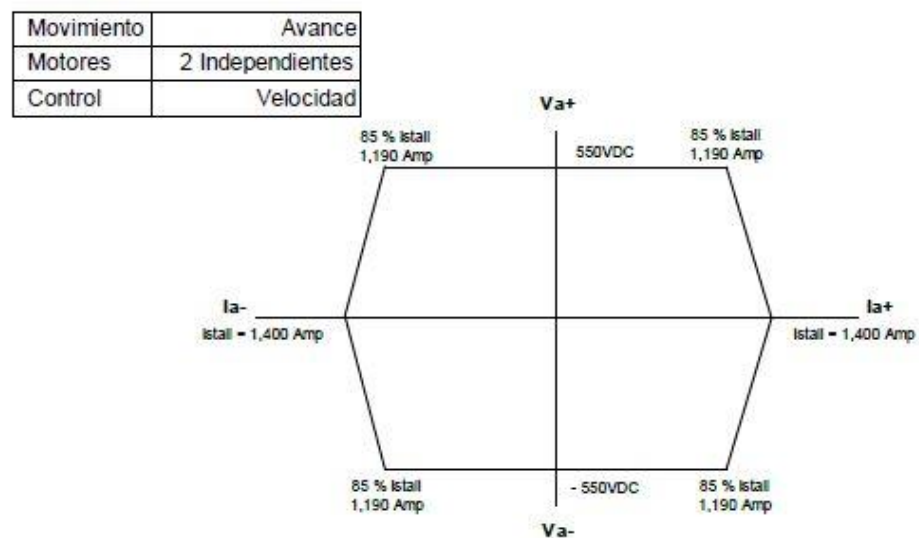


Fig. 4.27. Curva característica de respuesta de control de armadura de Avance.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 70

De la misma manera, el motor de Avance #2 está orientado al convertidor de Empuje. La siguiente figura muestra el diagrama de conexión de los Motores de Avance y los convertidores con los que trabajan. (Llaguno, 2015, pp. 70-71)

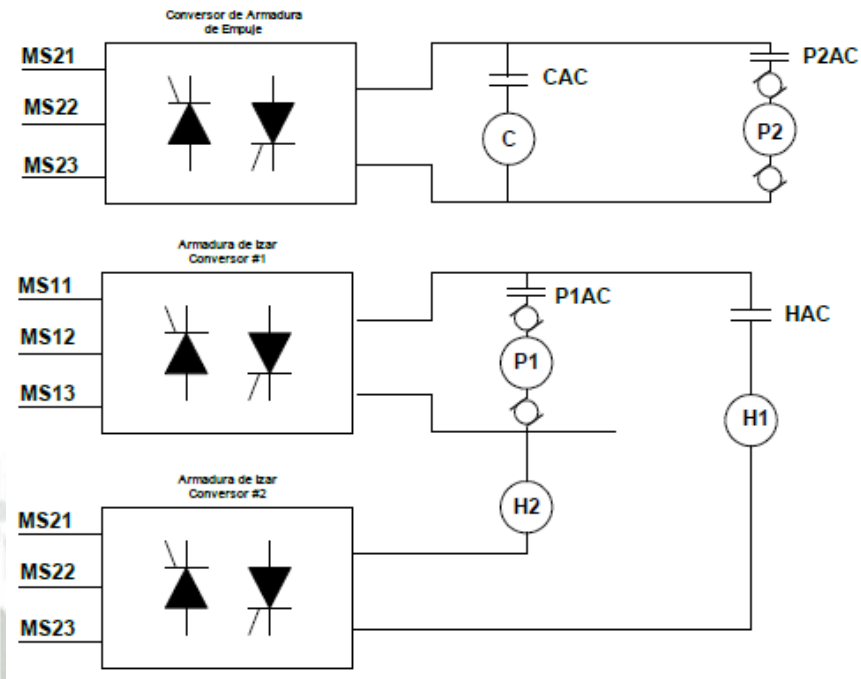


Fig. 4.28 Configuración de los convertidores de Izar y Empuje con las armaduras de los motores de Avance.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 71

#### 4.7 CARACTERÍSTICAS DE CAMPO

A continuación se detallará el comportamiento de las corrientes y voltajes de campo que influyen en cada uno de los movimientos de la Pala.

Tan importante como la curva de respuesta de armadura, es también la característica de respuesta de Campo para cualquier motor; mas aún cuando existe la opción de debilitamiento de campo.

Todos los motores DC de la Pala 4100A usan Semiconvertidores para alimentar sus campos, con excepción de los Motores de Izar que usan un Convertidor para alimentar sus campos. (Llaguno, 2015, pp. 72)

#### 4.7.1 MOVIMIENTO DE LEVANTE

En las características de campo debemos recordar que el sistema debe mantener la corriente y el voltaje constante.

La siguiente figura muestra la configuración del convertidor y los campos de izar.

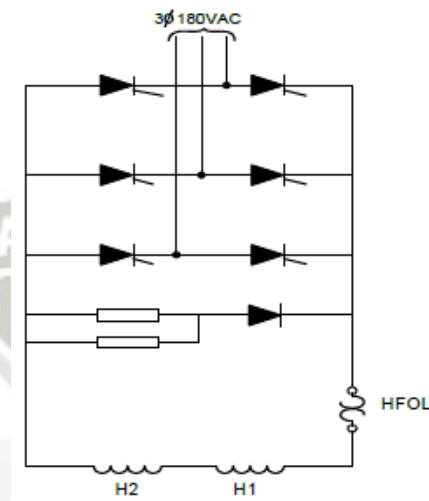


Fig. 4.29 Configuración de Convertidor y campos de los motores de izar.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 72

Tres señales se suman para determinar el momento en que se aplica el debilitamiento de campo; y por lo tanto deben cumplirse las siguientes condiciones:

- El Voltaje de Realimentación de Armadura ( $V_{afb}$ ) debe ser mayor o igual a + 9.5 VDC. Condición que garantiza que el cucharón está a máxima velocidad y descendiendo.
- La polaridad de la señal Ia-polarity debe ser positiva. Condición que garantiza que el puente que está conduciendo en ese momento es el Directo.

- La realimentación de la corriente de Armadura (Iafb) debe ser menor o igual que 3.5 VDC. Condición que garantiza que el cucharón está vacío.

La siguiente Tabla muestra los valores de corriente de Campo fuerte y campo débil así como sus valores de referencia en la tarjeta Hoist Field Reference. (Llaguno, 2015, pp. 72-73)

Estado	Corriente	Tarjeta Hoist Field Ref. TP16
Campo Fuerte	50 Amp	- 3.6 VDC
Campo Débil	140 Amp	10.0 VDC

Tabla 4.1 Valores de corriente de campo fuerte y débil

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 73

#### 4.7.2 MOVIMIENTO DE GIRO

En el movimiento de giro requiere una corriente de campo constante y actúa en el primer cuadrante.

Los campos de los motores de Giro usan un Semiconvertidor para alimentarse, de tal modo que la corriente que circula por ellos siempre sea constante. La siguiente figura muestra la configuración de los campos.

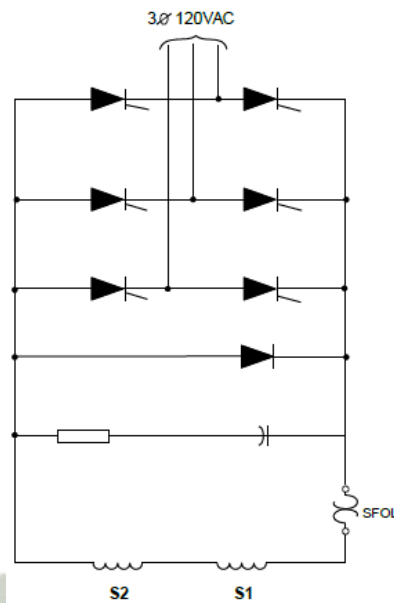


Fig. 4.30 Configuración de Semiconvertidor y Campos de Motores de Giro.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 74

La Tabla siguiente muestra los valores de la corriente de Campo de los motores de Giro. (Llaguno, 2015, pp. 74-75)

Condición	Corriente
Stop (campo residual)	08 a 10 Amp
Start	80 Amp

Tabla 4.2 Valores de corriente de campo de motores de giro

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 75

### 4.7.3 MOVIMIENTOS DE EMPUJE/AVANCE

Los movimientos de empuje y avance se encuentran relacionados de manera que uno puede activarse si el otro se encuentra en funcionamiento, debido a que durante el movimiento empuje la pala no puede realizar el movimiento de empuje.

Existe solo un Semiconvertidor para alimentar a los campos de los Motores de Empuje o Avance, esto por que en la condición de Empuje, la pala no tiene avance y en la condición de Avance la pala no tiene empuje, por lo tanto el Semiconvertidor puede compartirse.

La siguiente figura muestra la configuración de los campos de los motores de Empuje/Avance y el Semiconvertidor.

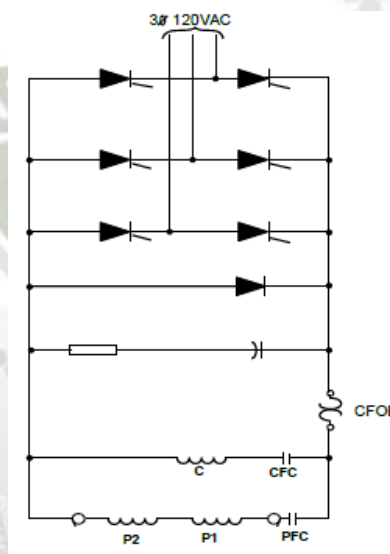


Fig. 4.31 Configuración de Semiconvertidor y Campos de los Motores de Empuje/Avance.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 75

La Tabla siguiente muestra los valores de corriente de Campo para estos movimientos. (Llaguno, 2015, pp. 75-76)

Condición	Corriente	TP5
Empuje	70 Amp	-4.7VDC
Campo básico avance	120 Amp	-8.0VDC
Campo fuerte avance	150 Amp	-10.0VDC

Tabla 4.3 Movimiento de Pala – valores de corriente de campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 76

#### 4.7.4 TABLAS DE CALIBRACION

A continuación se muestran los valores normales de funcionamiento para convertidores de acuerdo a los movimientos en la Pala.

La siguiente tabla está referida a los valores Límite de Voltaje y Corriente que van a suministrar los Convertidores a los Motores de DC para el referido Movimiento en la Pala 4100A.

MOVIMIENTO	PUNTOS DE MEDICION	NIVEL P&H	NIVEL AJUSTADO
<b>IZAR (HOIST)</b>  <b>2 MOTORES TIPO</b> <b>K - 1250</b>	<b>VOLTAJE ARMADURA</b>		
	SUBIDA (HOIST)	600 VDC	600 VDC
	BAJADA (LOWER)	550 VDC	550 VDC
	<b>CORRIENTE ARMADURA A A ROTOR BLOQUEADO (STALL)</b>		
(I-A1) SUBIDA (PK. POWER)	2231 AMPS	2231 AMPS	
(I-A2) (STALL)	2625 AMPS	2625 AMPS	
(I-A3) BAJADA (LOWER)	682.5 AMPS	682 AMPS	
<b>CORRIENTE DE CAMPO</b>			
FUERTE (I-F1)	140 AMPS	140 AMPS	
DEBIL (I-F2)	50 AMPS	50 AMPS	
<b>GIRO (SWING)</b>  <b>2 MOTORES TIPO</b> <b>K - 558 - A</b>	<b>VOLTAJE ARMADURA</b>		
	(V-A1)	600 VDC	600 VDC
	<b>CORRIENTE ARMADURA A A ROTOR BLOQUEADO (STALL)</b>		
(I-A1)	2250 AMPS	2250 AMPS	
<b>REFERENCIA DE CAMPO</b>			
CORRIENTE (I-F1)	80 AMPS	80 AMPS	
(REF. 2)	8 VDC	8 VDC	
<b>EMPUJE (CROWD)</b>  <b>1 MOTOR TIPO</b> <b>K - 700</b>	<b>VOLTAJE ARMADURA</b>		
	(V-A1)	550 VDC	550 VDC
	<b>CORRIENTE ARMADURA A A ROTOR BLOQUEADO (STALL)</b>		
	(I-A2) STALL	1650 AMPS	1650 AMP
(I-A1) PK. POWER	1402.5 AMPS	1400 AMP	
<b>REFERENCIA DE CAMPO</b>			
CORRIENTE (I-F1)	70 AMPS	70 AMPS	
(REF. 1)	4.7 VDC	4.7 VDC	
<b>AVANCE (PROPEL)</b>  <b>2 MOTORES TIPO</b> <b>K - 558 - B</b>	<b>VOLTAJE ARMADURA</b>		
	(V-A1)	550 VDC	550 VDC
	<b>CORRIENTE ARMADURA A A ROTOR BLOQUEADO (STALL)</b>		
	(I-A1) PK. POWER	1190 AMPS	1190 AMPS
	(I-A2) STALL	1400 AMPS	1400 AMPS
<b>REFERENCIA DE CAMPO</b>			
CORRIENTE (I-F1)	150 AMPS	150 AMPS	
(AUX. REF.)	10 VDC	10 VDC	
(I-F2)	120 AMPS	120 AMPS	
(REF. 2)	8 VDC	8 VDC	

RPC  NIVELES DE DETECCION	PASO 1 (V-NIVEL1)	0.7 VDC	0.7 VDC
	PASO 2 (V-NIVEL2)	2.1 VDC	2.1 VDC
	PASO 3 (V-NIVEL3)	3.4 VDC	3.4 VDC
	PASO 4 (V-NIVEL4)	4.5 VDC	4.5 VDC
	PASO 5 (V-NIVEL5)	5.9 VDC	5.9 VDC
	PASO 6 (V-NIVEL6)	7.2 VDC	7.2 VDC
	PASO 7 (V-NIVEL7)	8.5 VDC	8.5 VDC
	PASO 8 Y MAS ALTOS	NO USADOS	NO USADOS

Tabla 4.4 Movimiento de la Pala – Valores limite de tensión y corriente suministrada

por convertidores a los Motores DC

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 76

La tabla mostrada a continuación corresponde a las regulaciones realizadas en las tarjetas de control del sistema Electrotrorque para cada uno de los movimientos consignados de la Pala 4100A de Toquepala.

VARIABLES DE AJUSTE EN LAS TARJETAS	CAMPO DE MOTOR IZAR	ARMADURA MOTOR IZAR	ARMADURAS EMPUJE/AVA	ARMADURA GIRO
<b>TARJETA REGULADORA DE VOLTAJE 980H47 (QALB214)</b>				
GANANCIA	-----	5	5	10
TIEMPO/GANANCIA	-----	0.5	0.5	0.5
LIMITE 1	-----	MAX CW	MAX CW	MAX CW
LIMITE 2	-----	MAX CW	MAX CW	MAX CW
AJUSTE DE SENAL	-----	0	0	0
<b>TARJETA DE BLOQUEO 980H45 (YXN110)</b>				
HISTERESIS	-----	5	5	3.5
AVANCE DE FASE	-----	5	7	8
NIVEL DE CORRIENTE	-----	1.5	3.5	3
<b>TARJETA REGULADORA DE CORRIENTE 980H46 (YXR104)</b>				
GANANCIA	6	2	2	3
LIMITE 1 (ARRANQUE) TP17	+ 8V	+ 8V	+ 8V	+ 8V
LIMITE 2 (PARADA) TP17	- 9V	- 9V	- 9V	- 9V
RESPUESTA	MAX CW	MAX CW	MAX CW	MAX CW
<b>TARJETA GENERADORA DE PULSOS DE DISPARO (S) 980H76 (YXU139B)</b>				
LIMITE BETA (TP - 12)	0.76 V	0.76 V 60 HZ	0.76 V	0.76 V

Tabla 4.5 Movimiento de la Pala – Regulaciones en las tarjetas de control del sistema

Electrotrorque

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 77

#### 4.8 MOTOR DC CONTROLADO EN ARMADURA

En esta sección se describirá los lazos de control del sistema con realimentación de los motores DC y la relación de las señales que intervienen.

Todo Motor DC puede ser controlado variando la excitación del Campo o variando la excitación de la Armadura, desarrollamos el caso de un Motor DC controlado a través de su armadura. La siguiente figura muestra un diagrama de Bloques de este control. El Sistema completo, funciona de la siguiente manera:

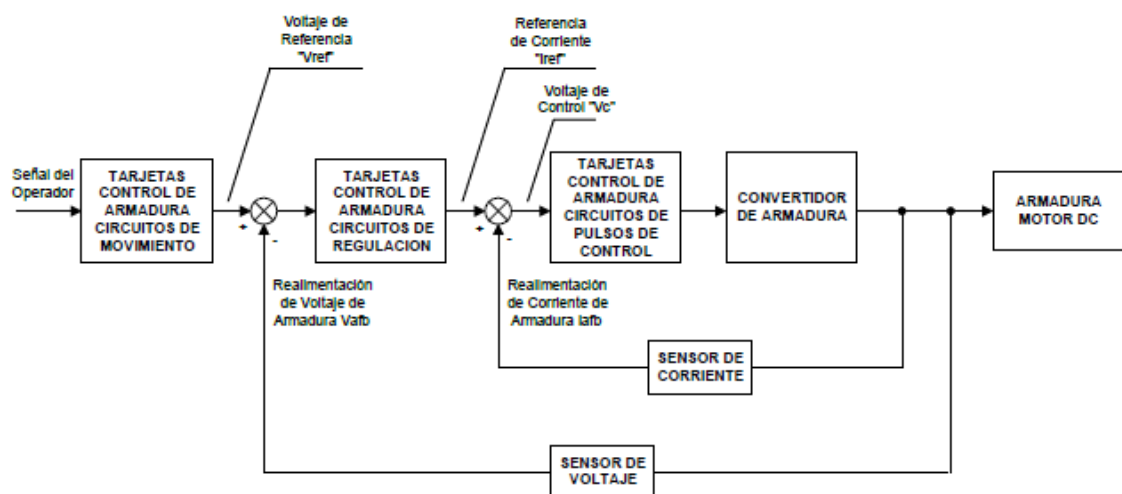


Fig. 4.32 Diagrama de Bloques del Control de un Motor DC Excitado en la Armadura.

Fuente: [Referencia electrónica]

Cuando el Operador mueve el Joystick, una señal llega a las tarjetas de control de Armadura en el bloque de los circuitos de Movimiento, es transformada es una señal cuya magnitud pueda ser comparada con el Voltaje de realimentación de Armadura pero, como el motor aun no ha iniciado su marcha la  $V_{afb} = 0$ , la señal diferencia aplicada a las tarjetas de Regulación es máxima, la salida de estas llamada Referencia de corriente “Iref” es máxima y se compara con la señal de Realimentación de Corriente de Armadura “Iafb”, como el Convertidor

de Armadura aun no ha empezado a trabajar  $I_{afb} = 0$ , la señal diferencia, llamada Voltaje de Control “Vc” aplicada a las Tarjetas de Pulsos de Control es por lo tanto máxima y los pulsos enviados por estas tarjetas al convertidor de SCR’s tiene un ángulo de disparo mínimo. (Llaguno, 2015, pp. 85-86)

El convertidor al recibir los pulsos de Disparo con un ángulo mínimo ( $\alpha = 10^\circ$ ), envía una elevada corriente a la Armadura del motor cuyo valor es superior al de la corriente regulada máxima “Istall”, constituyendo en el instante inicial, un pico de corriente de cortocircuito (Corriente a rotor bloqueado). Debido a las condiciones de carga, el motor aun no inicia su movimiento, por lo tanto el voltaje de armadura es cero y la señal “Vref” que ingresa a los circuitos de regulación continua siendo máxima, la señal “Iref” que sale de estos, también es máxima, sin embargo como existe corriente máxima circulando en la armadura, al compararse la “Iref” con la “Iafb”, se tiene el primer efecto de control en el lazo interior del sistema realimentado, como las dos señales tendrán un valor muy cercano entre si, la señal de Voltaje de Control “Vc” se reduce y retrasa los pulsos de disparo hacia el convertidor hasta un ángulo en el que la corriente que circula en la armadura sea la corriente máxima calibrada para el sistema “Istall”.

Como la corriente que circula en la armadura es elevada, el torque que está entregando el Motor es también elevado, y va venciendo la inercia mecánica de la carga que tiene el motor en ese momento; por lo tanto la armadura comienza a girar y aparece un voltaje de armadura. El sensor de Voltaje de armadura detecta

este y envía una señal de realimentación proporcional “ $V_{afb}$ ” que se compara con la “ $V_{ref}$ ”.

A medida que se incrementa la velocidad de la armadura y por lo tanto el voltaje de armadura, la diferencia de la “ $V_{ref}$ ” y la “ $V_{afb}$ ” disminuye, disminuyendo por lo tanto la “ $I_{ref}$ ”. Como la “ $I_{ref}$ ” va disminuyendo, la comparación de esta con la “ $I_{afb}$ ” va disminuyendo y por lo tanto el Voltaje de control “ $V_c$ ” también disminuye; teniendo lugar el segundo efecto de control debido al lazo exterior del sistema; el ángulo de los pulsos de disparo hacia el convertidor entregados por las tarjetas de pulsos de control, comienza a retrasarse a medida que “ $V_c$ ” disminuya y se detendrá en un ángulo tal que “ $V_{ref} = V_{afb}$ ” y “ $I_{ref} = I_{afb}$ ”.

La explicación anterior llevada al sistema real, se desarrolla a una velocidad mucho mayor que la de esta, y que en cuestión de fracción de segundos, el sistema alcanza el equilibrio para cualquier valor de referencia que ponga el Joystick del operador. Como puede observarse, el sistema se autolimita y corrige no permitiendo que la excitación crezca en forma desmedida, siendo muy estable a bajas y altas velocidades, con alto o bajo Torque, teniendo un alto grado de inmunidad a las perturbaciones externas. (Llaguno, 2015, pp. 86-87)

Si por ejemplo, la tensión de entrada alterna del convertidor bajara, la corriente que circula por la armadura en ese instante también disminuiría esto sería detectado por el sensor de corriente y la diferencia entre la “ $I_{ref}$ ” y la “ $I_{afb}$ ” que es la señal “ $V_c$ ” aumentaría, haciendo que los pulsos de disparo enviados al

convertidor se adelanten para aumentar la corriente, hasta el punto en que las condiciones de equilibrio vuelvan a ser alcanzadas. Esta es una ventaja que presentan los sistemas de lazo cerrado con doble lazo de control sobre los de un solo lazo, pues son más estables, hacen correcciones solo cuando es necesario y se estabilizan rápidamente.

Para este tipo de sistemas se puede considerar que las correcciones finas las realiza el lazo interior y las correcciones gruesas las realiza el lazo exterior. El término sintonía puede aplicarse muy bien a este tipo de control, donde el sistema en todo momento busca un punto de equilibrio. Si la caída de tensión está dentro del rango  $\pm 10\%$  de la nominal, el sistema podrá restablecerse. (Llaguno, 2015, pp. 87-88)

#### 4.9 CIRCUITOS DE PROTECCION

Considerando los altos valores de energía se debe contar con circuitos que proveen protección frente a fallas posibles.

Los circuitos de protección en la Pala 4100A tienen por función evitar el daño catastrófico a diversos componentes mayores y a la máquina en general. Todos los circuitos de protección están conectados al PLC del equipo, el cual, a través del programa interno determina la respuesta del sistema ante la detección de una señal de alarma. (Llaguno, 2015, pp. 88)

- **RELAY DE SOBRECARGA INSTANTANEA (QTTM)**

El relay de sobrecarga instantánea, tiene por función detectar una condición de sobrecorriente en la alimentación primaria del Transformador Principal, apagar la Pala y señala el problema ocurrido. La siguiente figura muestra el circuito de este relay.

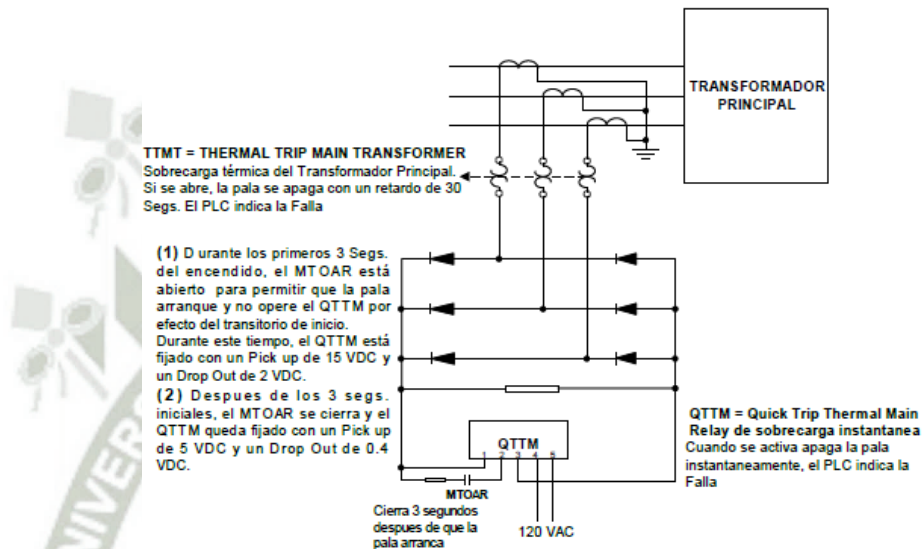


Fig. 4.33 Relay de sobre carga instantaneo (QTTM).

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 89

- **CIRCUITOS DE DETECCIÓN DE FALLA A TIERRA**

Los circuitos de detección de falla a Tierra, tienen por función indicar la pérdida de aislamiento de algún componente eléctrico en funcionamiento con el objeto de evitar daños mayores tanto al equipo como al personal que trabaja en estas máquinas. La siguiente figura muestra el circuito típico de detección de Falla a tierra de la Pala 4100A. (Llaguno, 2015, pp. 88-90)

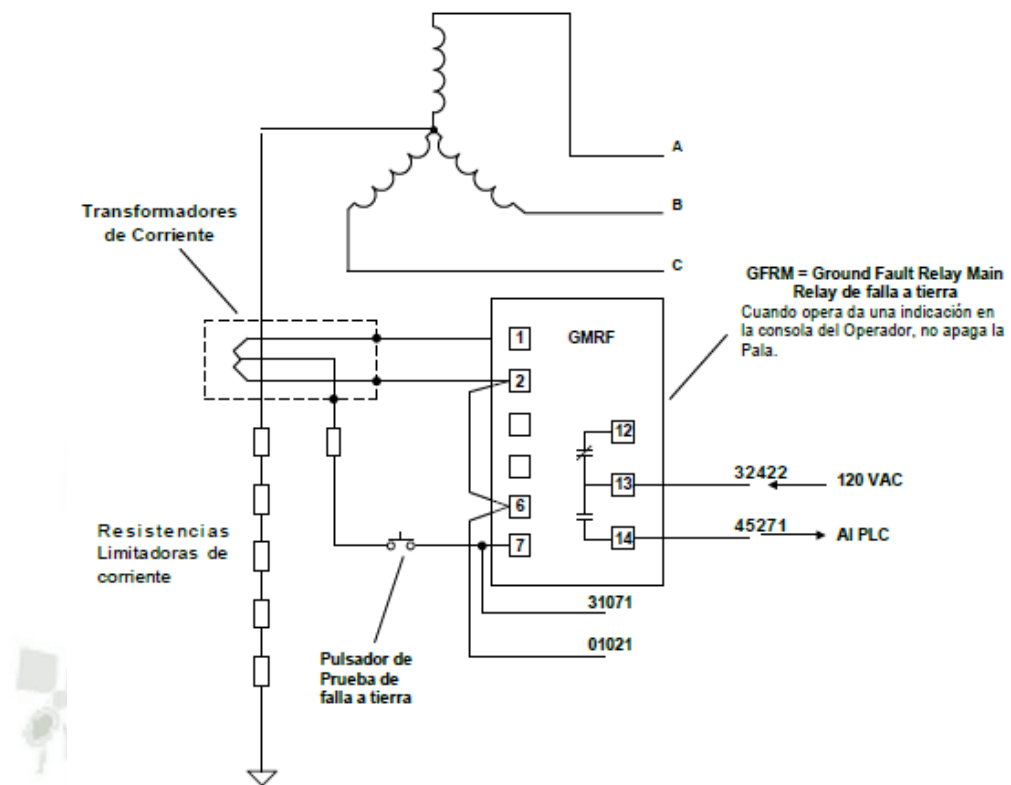


Fig. 4.34 Circuito típico de detección de falla a tierra.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 90

- **RELAY INDICADOR DE FALLA A TIERRA (GFRM)**

Este relay es el encargado de detectar alguna falla a tierra del circuito donde está instalado y enviar una señal al PLC sobre esta detección.

- **RELAY MONITOR DE FASE**

La función de este relay es detectar la pérdida de alguna fase en los secundarios del transformador Principal.

La Pala 4100A tiene 4 Relays monitores de fase:

- PRH1 = Phase Relay Hoist 1 - Relay Monitor de Fase del Izar #1/Avance#1

- PRH2 = Phase Relay Hoist 2 - Relay Monitor de Fase del Izar #2
- PRS = Phase Relay Swing - Relay Monitor de Fase de Giro
- PRC = Phase Relay Crowd - Relay Monitor de Fase de Empuje/Avance #2

Cuando opera alguno de ellos, la pala se apaga inmediatamente y el PLC da una indicación de la Falla.

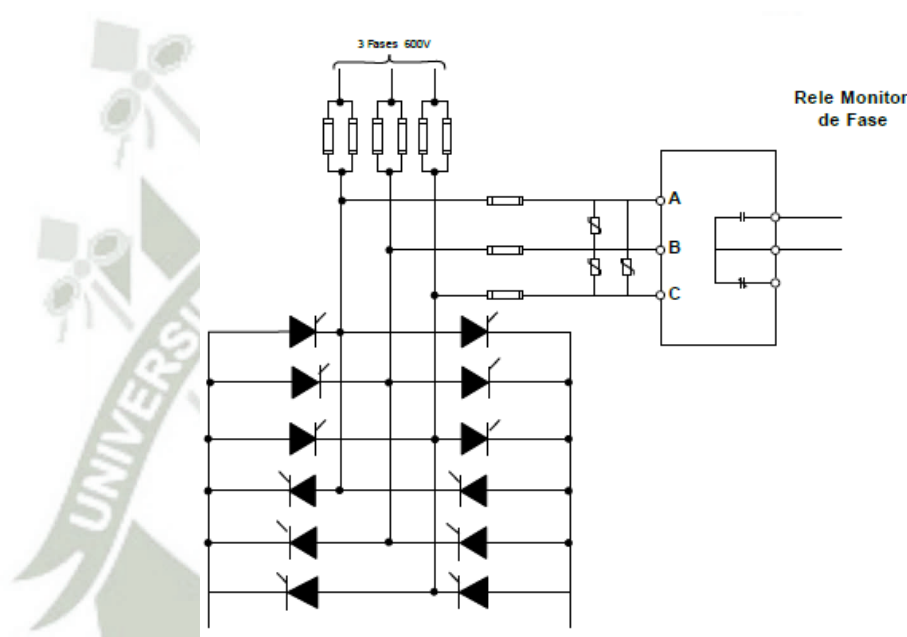


Fig. 4.35 Relay monitor de fase.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 92

#### - SISTEMA DE PROTECCIÓN DIVERTER (DCM)

El sistema de Protección “Diverter” tiene por función apagar instantáneamente un convertidor donde se halla detectado una sobrecorriente, apagar instantáneamente la Pala y señalar a través del PLC el problema presente. (Llaguno, 2015, pp.92)

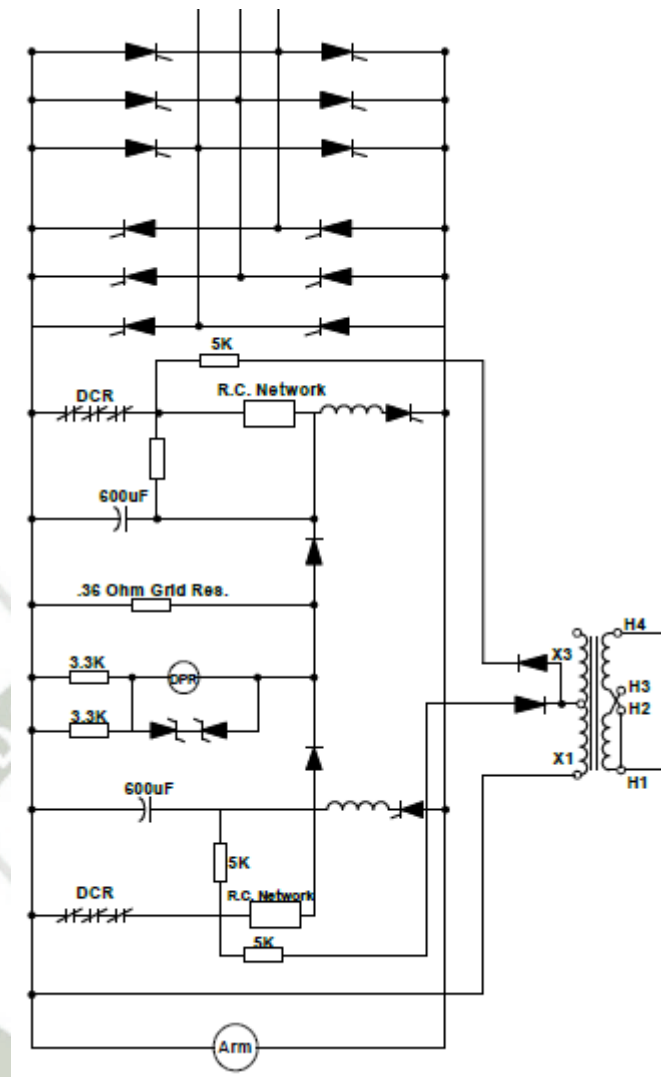


Fig. 4.36 Sistema de protección del diverter.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 93

El sistema funciona de la siguiente manera; cuando la pala arranca, el Relay de carga del Diverter “DCR” se abre y permite que los condensadores de 600uf se carguen con tensiones de + 1300 VDC y - 1300 VDC respectivamente.

Si alguna sobrecorriente es detectada, el SCR del condensador correspondiente al convertidor en donde fue detectada esta sobre corriente,

es disparado y una tensión inversa mayor es aplicada a los SCR's del convertidor, bloqueándolos inmediatamente.

El relay DPR actúa como un disipador de energía inversa al absorber los picos inversos producidos por la descarga de los condensadores.

Para disparar los SCR's que permiten la descarga del condensador de 600uf en el convertidor con problemas, hay un módulo que recibe las señales de realimentación de corriente y las de voltaje para determinar la condición de sobrecorriente en el convertidor, este módulo es denominado DCM (Diverter Control Module). (Llaguno, 2015, pp. 94)

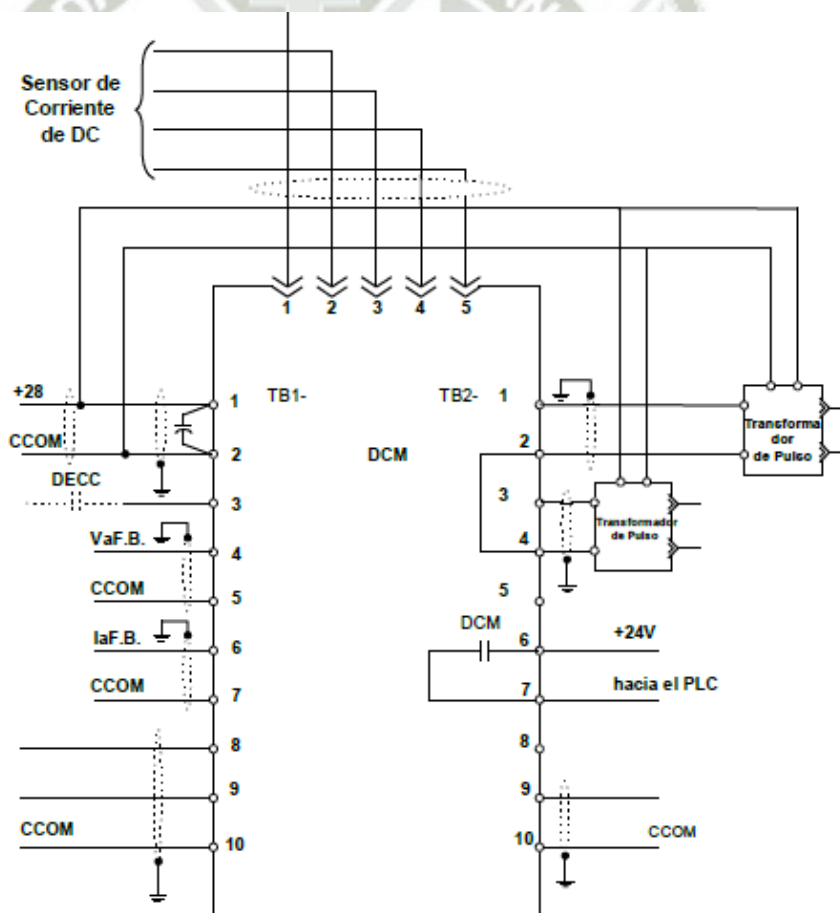


Fig. 4.37 Diverter Control Module.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 94

- **PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE (UVR) E INVERSIÓN DE FASES (PSR)**

La pala 4100A usa un sistema de módulos electrónicos con salida a relay para evitar que la Pala trabaje con una caída de tensión por debajo del 10% de la nominal o con inversión de fases en alguno de los secundarios de los Transformadores.

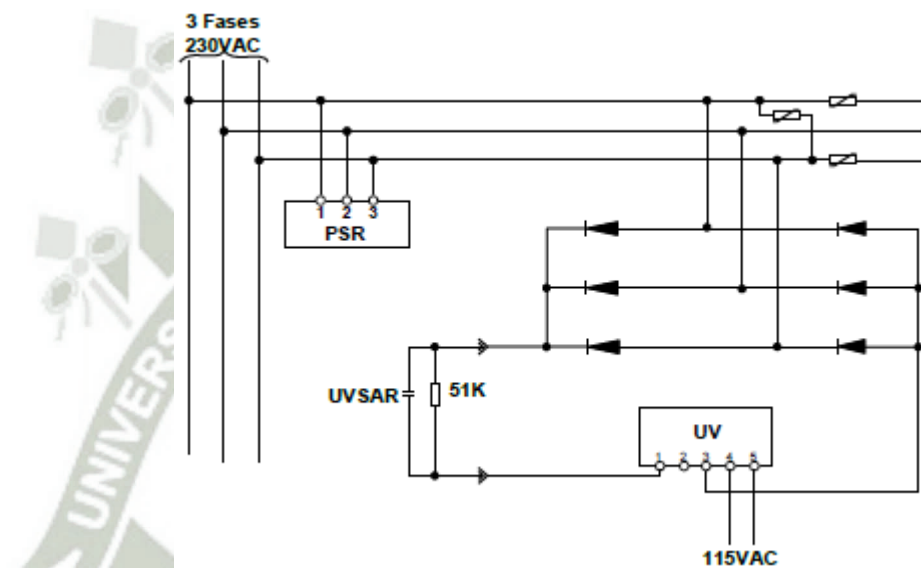


Fig. 4.38 Protección contra bajo voltaje e inversión de fases.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 95

- **MÓDULO DIFERENCIAL DE VOLTAJE**

Cuando dos motores de corriente continua trabajan con sus armaduras enseriadas, es necesario tener alguna indicación del desbalance de carga que pudieran tener ambos motores. El módulo diferencial de voltaje detecta la diferencia de Voltaje entre las armaduras de los 2 motores conectados en

serie y en caso de ser mayor a 100 Voltios inmediatamente apaga la pala y da una señal de falla al PLC.

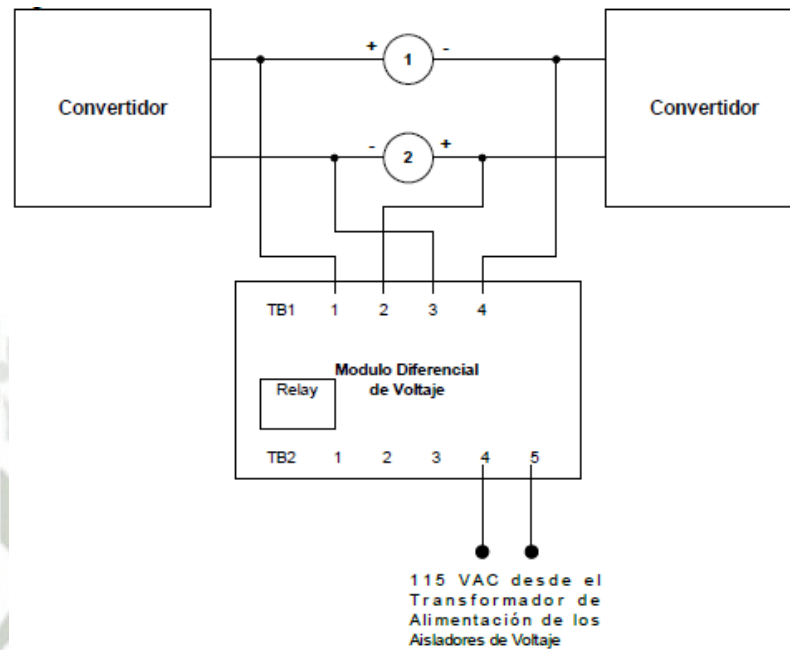


Fig. 4.39 Módulo diferencial de voltaje.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 96

El circuito opera de la siguiente manera; Si el voltaje a través de los dos motores difiere en mas de 100 VDC el relay se energizará y apagará a la pala.

Las fallas Probables son: Copla de uno de los motores rota y Cortocircuito en las bobinas de campo de uno de los motores. Los motores que tienen este relay son : Levante y Giro. (Llaguno, 2015, pp. 95-96)

## CAPITULO V

### CONTROL DE LA ENERGÍA SUMINISTRADA

#### 5.1 CONTROL DE ARMADURA

Los circuitos presentes en el control de armadura gobiernan el voltaje y la corriente del rotor de cada uno de los motores DC.

El Control de Armadura tienen por función gobernar la corriente y el voltaje entregado a la armadura de un motor DC, de tal manera que su comportamiento bajo condiciones de carga, tenga determinadas características de Torque y Velocidad, así como limitar la potencia desarrollada y por lo tanto proteger al Motor y al Equipo donde este se encuentra trabajando.

El control de Armadura de los Motores DC de la Pala 4100A, se encarga de regular la energía suministrada a los Motores DC de esta máquina, de acuerdo a la demanda o solicitud del Operador que hace con su “Controller” o “Joystick” y de acuerdo a la característica de respuesta diseñada por el fabricante. (Llaguno, 2015, pp. 98)

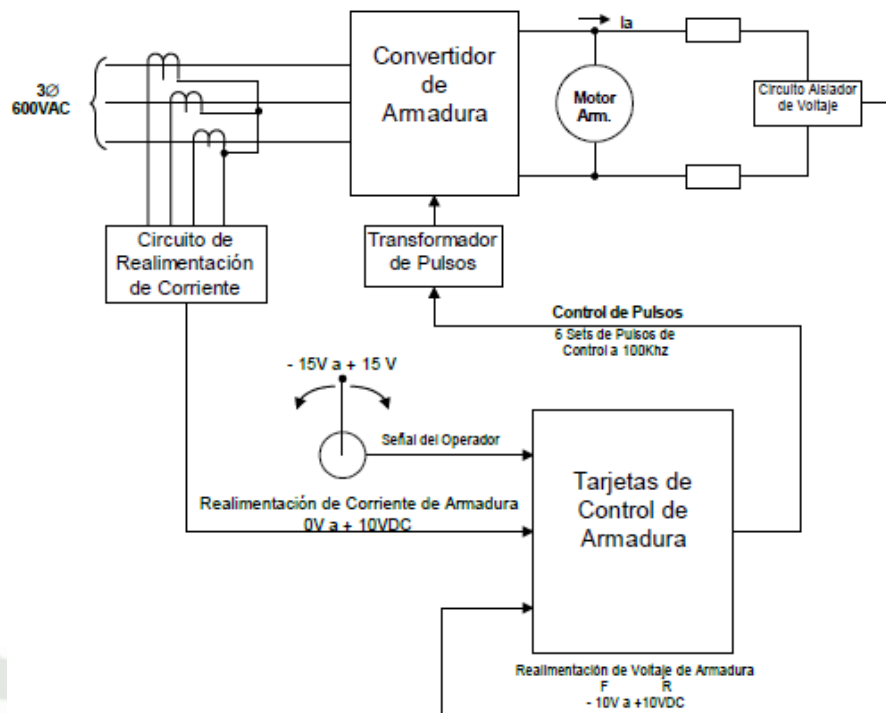


Fig. 5.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Armadura del ELECTROTORQUE diseñado por P&H para la Pala 4100A.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 98

Esto quiere decir que cuando el Operador manipula su “Joystick” para realizar algún movimiento, la energía que se entregue al Motor DC estará controlada o limitada por la característica de diseño que haya preparado el fabricante a través de las tarjetas de control de armadura y de los dispositivos de realimentación instalados. La Figura anterior muestra un Diagrama de Bloques del sistema de control diseñado por el Fabricante (P&H).

El funcionamiento de este sistema de control puede explicarse de la siguiente manera; cuando el Operador acciona su controller o Joystick, una señal de un valor determinado comprendido entre -15VDC y +15VDC ingresará al conjunto de Tarjetas de Control, esto provocará que aparezcan 6 Sets de

Pulsos de disparo dirigidos hacia los SCR's del convertidor de armadura respectivo, los SCR's del convertidor conducirán con un ángulo de disparo pequeño (Esto es full conducción de los SCR's), circulará una corriente determinada en la armadura del motor, la armadura comenzará a girar y aparecerá un voltaje en ella.

Al aparecer la Corriente en la Armadura " $I_a$ " que es proporcional al Torque que en ese momento desarrolla el Motor, esta es muestreada por los Transformadores de Corriente (CT's) y a través del circuito de realimentación de corriente es convertida a un valor proporcional comprendido entre 0 VDC y +10 VDC, esta señal es llamada Realimentación de Corriente de Armadura " $I_{afb}$ ", que luego llega a las tarjetas de control de armadura y estas se encargan de comparar la señal  $I_{afb}$  con la señal resultante de la comparación del Voltaje de realimentación de Armadura " $V_{afb}$ " con la que había originado el Controller del Operador, la diferencia origina una señal llamada Referencia de Corriente " $I_{ref}$ ", mientras solo exista corriente en la armadura y no aparezca voltaje, la comparación de la  $I_{ref}$  y la  $I_{afb}$  será tal que el ángulo de disparo de los SCR's del convertidor, se mantendrá pequeño y por lo tanto la corriente en la armadura será máxima ( $I_{stall}$ ).

Corriente Stall " $I_{stall}$ ", es el término usado para designar a la corriente que circula en la Armadura de un motor de Corriente continua cuando el rotor (Armadura) está bloqueado, recuérdese que el momento de mayor Torque en

un motor DC es cuando inicia su movimiento y por lo tanto la corriente es elevada.

Al aparecer el Voltaje de Armadura “ $V_a$ ” que es proporcional a la velocidad de giro del motor, este es muestreado por el divisor resistivo y por el circuito Aislador de Voltaje, la salida del circuito aislador de voltaje corresponde al Voltaje de Realimentación de Armadura “ $V_{afb}$ ”, esta señal es de un valor proporcional al Voltaje de armadura y está comprendido entre -10 VDC y +10 VDC según sea la dirección en que esté moviéndose el motor. La  $V_{afb}$  llegará a las tarjetas de control de armadura y se comparará con la señal de referencia del Controller del Operador, la señal resultante es una señal llamada Referencia de Corriente “ $I_{ref}$ ” que se compara con la señal de realimentación de corriente de armadura  $I_{afb}$ , y produce una señal llamada Voltaje de control que controla el ángulo de disparo de los SCR's del convertidor.

Dependiendo del diseño o curva de respuesta del fabricante, la señal Voltaje de control responderá a la característica de Velocidad o Torque del Motor, esto quiere decir que además de existir realimentación de corriente del Motor para controlar el Torque, será necesario que exista una realimentación de Voltaje de armadura para poder controlar la velocidad del Motor.

Los 6 Sets de pulsos de disparo que generan las Tarjetas de Control de Armadura, tienen una frecuencia modulada de 100KHz, cuya finalidad es:

1. Debido al uso de transformadores de pulsos para disparar los SCR's, es necesario que toda la energía o ancho del pulso sea transferida al Gate, la elevada frecuencia permite que prácticamente toda la energía, esto es, todo el ancho del pulso sea transmitido.
2. Asegurar la conducción de los SCR's obligándolos a entrar rápidamente en conducción aprovechado para ello la característica  $di/dt$ .

Las características de este sistema son tales que permiten el uso de las señales de control para monitorear el estado del circuito y así poder determinar alguna condición de falla, tales señales monitoreadas son: la señal del Controller del Operador, el voltaje de realimentación de Armadura, la corriente de Realimentación de armadura y la señal de Voltaje de Control. La falta de una de estas señales o el valor anormal de ellas automáticamente determinan una condición de falla y provocan el apagado de la pala. (Llaguno, 2015, pp. 99-100)

#### **5.1.1. TARJETAS DE CONTROL DE ARMADURA:**

##### **ENTRADAS Y SALIDAS**

El diagrama de bloques mostrado en la siguiente figura, presenta las principales señales de entrada y salida de las Tarjetas de Control de Armadura.

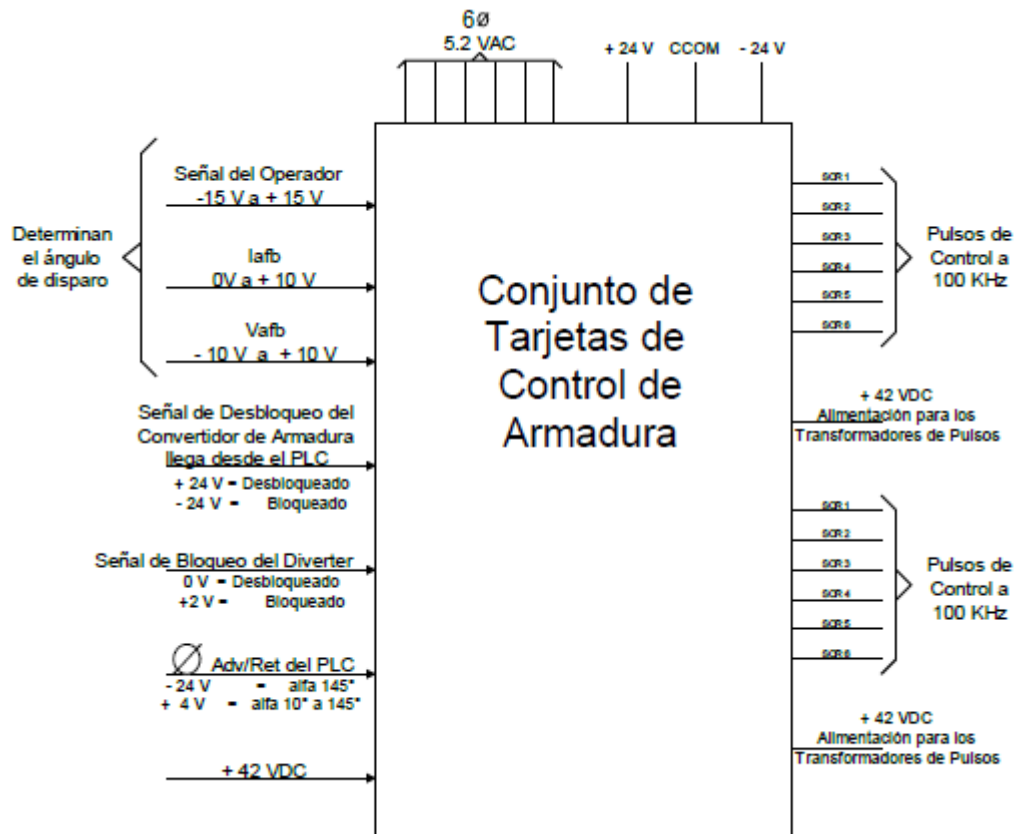


Fig. 5.2 Diagrama de Bloques de las señales de entrada y salida que tiene el conjunto de tarjetas de control de Armadura

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 101

En la figura observamos las señales propias del sistema Electrotrorque cuya función básica es variar el ángulo de disparo de los SCR's del convertidor de Armadura; así como también las señales de habilitación que provienen del PLC de acuerdo al estatus de la Pala. Estas señales de habilitación, permiten el desarrollo de los pulsos de disparo a los SCR's de los convertidores así como también el procesamiento de las señales de control. (Llaguno, 2015, pp. 101)

Cuando alguna condición anormal, no contemplada en la lógica del Programa del PLC se presenta, el PLC genera señales de INHABILITACION, que bloquean los pulsos de disparo y no permite el proceso de las señales de control en las tarjetas; esto quiere decir que interrumpe el flujo de señales en las tarjetas.

#### ▪ ENTRADAS

Las fuentes de alimentación DC que ingresan a las Tarjetas de Control de Armadura son +/- 24 VDC, +/- 15 VDC y 42 VDC.

Las fuentes de alimentación DC están localizadas dentro del panel del gabinete de control. 06 fases de voltaje AC llegan desde un transformador para la sincronización de los pulsos de control que van hacia el convertidor, este transformador convierte 3 fases de 240VAC en 6 fases de 5.2 VAC medidos con respecto a CCOM. Este transformador está también localizado en el interior del panel del gabinete de control.

La señal del Operador llega desde el Controller del Operador a través de un contacto del PLC que cierra cuando la pala se ha arrancado y se libera el freno del movimiento respectivo. La magnitud de esta señal puede variar desde -15 VDC hasta +15 VDC, dependiendo la posición del Controller. (Llaguno, 2015, pp. 102)

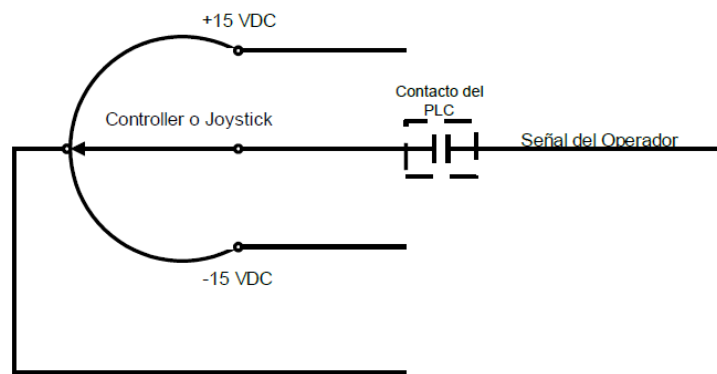


Fig. 5.3 Señal de liberación de freno para el movimiento.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 102

La señal de realimentación de corriente de armadura, llega desde el circuito de realimentación de corriente. Esta señal es usada para controlar la corriente de armadura y por lo tanto el Torque del Motor. La magnitud de esta señal será proporcional al valor de la corriente de Armadura que en ese momento esté circulando en el circuito, y estará comprendida entre 0 VDC y +10 VDC.

La señal de realimentación de voltaje de armadura, llega desde el circuito de realimentación de Voltaje. Esta señal es usada para control el Voltaje de armadura y por lo tanto la Velocidad del Motor. La magnitud de esta señal será proporcional al valor del Voltaje de Armadura que en ese momento haya en el circuito y puede variar entre -10 VDC y +10 VDC.

La señal de Desbloqueo del convertidor de armadura, es una señal de entrada a relay que proviene del PLC y constituye una de las señales de habilitación. La señal bloquea ambos puentes rectificadores del convertidor el de directa (Forward) y el de

Reversa (Reverse) cuando la pala está apagada, durante una parada de emergencia, cuando está en la condición de “Auxiliary Test” ó cuando está en la condición de “Field Test”. Esta señal desbloqueará alguno de los puentes rectificadores 3 segundos después de que la pala ha sido arrancada, cuando se coloca en “Armature Test” o cuando está en la condición de “Control Test”. (Llaguno, 2015, pp. 102)

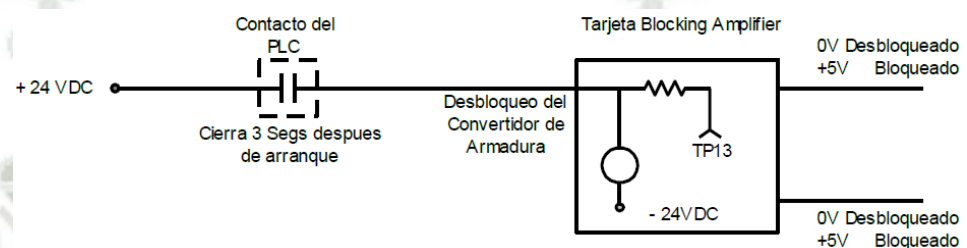


Fig. 5.4 Señal de Desbloqueo de Convertidor de Armadura

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 103

Señal en TP13 de Desbloqueo del Convertidor de Armadura	Estado del Convertidor
-24VDC	Bloqueado
0VDC	Desbloqueado

Tabla. 5.1 Señal de Desbloqueo de Convertidor de Armadura

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 103

La señal Avance/Retardo de fase es también una señal de entrada a Relay que proviene del PLC y constituye otra señal de habilitación. Retardo de fase significa que los pulsos de control están atrasados y aparecen en su último ángulo de disparo posible (alfa = 145°). En esta condición la corriente de Armadura será mínima. El retardo de fase se presenta cuando un freno es

aplicado o cuando por alguna razón la pala se ha apagado. Avance de fase significa que los pulsos de control pueden moverse a alguna posición dentro del rango normal para una salida controlada del Convertidor, ( $\alpha = 10^\circ$  hasta  $145^\circ$ ). El avance de fase ocurre cuando los frenos han sido liberados. El funcionamiento de esta señal se muestra a continuación:

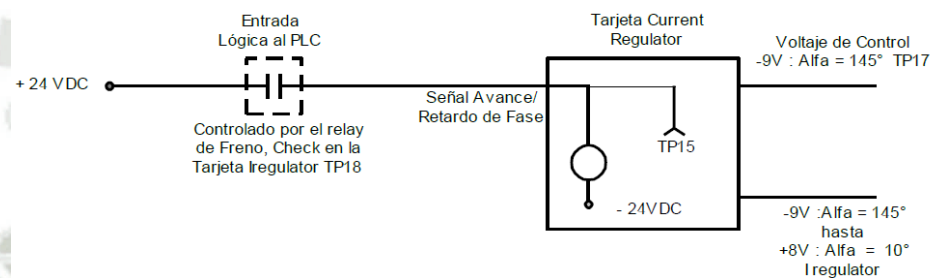


Fig. 5.5 Señal Avance/Retardo de Fase

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 103

La Tabla siguiente muestra el punto de prueba donde debe medirse esta señal en la Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator). (Llaguno, 2015, pp. 103)

Señal Avance / Retardo	Estado de los Pulsos	Estado de los Frenos
Fase	Control	
24VDC	Retardo de Fase	Frenos Aplicados
+ 4VDC	Avance de Fase	Frenos Liberados

Tabla. 5.2 Tarjeta reguladora de corriente – Puntos de prueba

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 103

#### ▪ SALIDAS

Los seis pulsos de control y la señal de + 42V llegan a los transformadores de pulsos del Puente Rectificador Directo.

Cuando los pulsos de control están presentes los transformadores producen pulsos de disparo y los SCR's del puente rectificador directo son disparados. Cuando los pulsos de disparo son adelantados, los SCR's son disparados a un ángulo de disparo cuyo inicio es más temprano que el que tenían originalmente y la salida del Convertidor de Armadura aumenta.

Cuando los pulsos de control son retrasados, los SCR's serán disparados con un ángulo de disparo cuyo inicio será posterior al que inicialmente tenían y la salida del Convertidor de Armadura disminuye. Cuando los Pulsos de control no están presentes, los transformadores de pulsos no generan pulsos de salida y por lo tanto el Puente Rectificador Directo de SCR's no es disparado.

Los seis pulsos de control y la señal de + 42V también llegan a los transformadores de pulsos del Puente Rectificador Inverso y el funcionamiento del control para este Puente Rectificador es igual que para el Puente Rectificador Directo. (Llaguno, 2015, pp. 104)

### **5.1.2. CONJUNTO DE TARJETAS DE CONTROL DE ARMADURA**

Ya hemos visto que el Conjunto de Tarjetas de control de Armadura es el encargado de recibir todas las señales de control que llegan al sistema, procesarlas de acuerdo al diseño del sistema y generar las señales de

comando para encender determinado puente rectificador, adelantando o retrasando los pulsos de disparo o también para alertar de alguna anomalía en el sistema, enviando una señal de alarma al PLC de la Pala.

Este Conjunto de Tarjetas de Control de Armadura, puede descomponerse en tres Bloques: Circuitos de Movimiento, Circuitos de Regulación y Circuitos de Control de Pulsos. La figura siguiente muestra en Diagrama de Bloques las relaciones que existen entre estos Grupos de Tarjetas. (Llaguno, 2015, pp. 104-105)

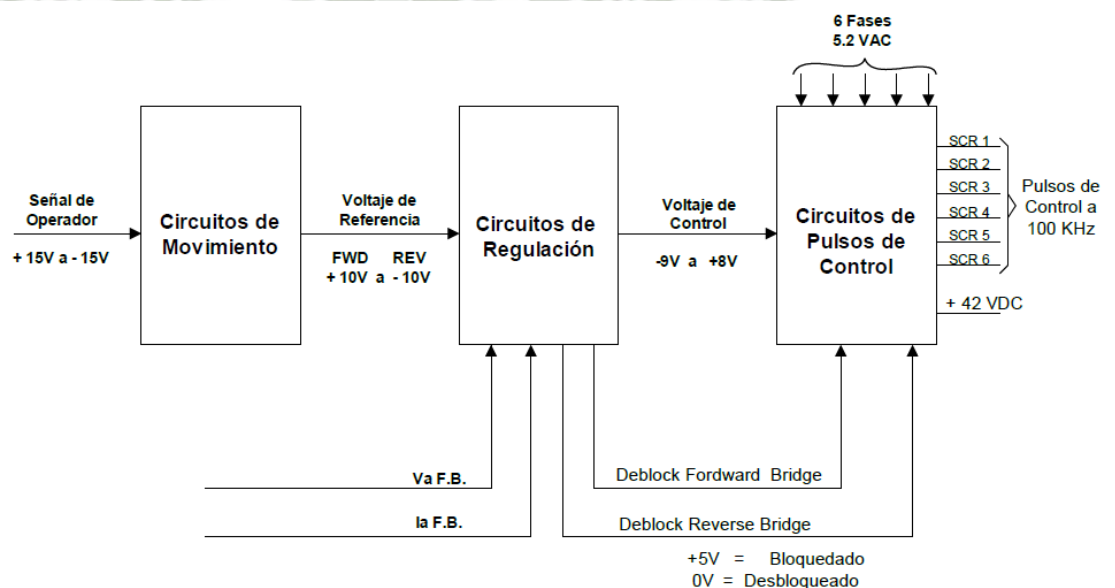


Fig. 5.6 Representación en Diagrama de Bloques de Las Tarjetas de Control de Armadura divididas en 3 grupos funcionales.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 105

Los 3 grupos en que se ha descompuesto el conjunto de tarjetas de control de armadura, tienen funciones específicas claramente

diferenciadas; tal es el caso de las tarjetas que conforman los Circuitos de Movimiento que adaptan las señales que llegan desde el exterior para que puedan ser comparadas o procesadas por las tarjetas que conforman los Circuitos de Regulación para que finalmente, este bloque entregue una señal que contiene la información del ángulo de disparo que deben recibir los Gate de los SCR's del convertidor, al bloque de tarjetas que conforman los Circuitos de Pulsos de Control y se generen los pulsos de disparo hacia los SCR's de los convertidores.

Una explicación detallada de cada bloque funcional es presentada a continuación.

- **CIRCUITOS DE MOVIMIENTO.**- Convierten la señal enviada por el Operador a través de su Controller, en una señal retardada de  $\pm 10$  VDC. El término señal retardada significa que la señal tiene un retardo en su respuesta y una determinada rampa de aceleración, esto quiere decir que si el Operador mueve rápidamente su Controller de un lado a otro, la salida no seguirá a la señal del Controller a la misma rapidez si no que demorará en seguirla y crecerá o decrecerá de acuerdo a una pendiente. Esto es hecho con el objeto de evitar bruscos cambios que afecten la respuesta de potencia de los convertidores y además, que la respuesta del sistema sea estable. (Llaguno, 2015, pp. 104-105)

- **CIRCUITOS DE REGULACION.**- Estas Tarjetas se encargan de comparar la señal de Referencia de Voltaje ( $V_{ref}$ ) con las señales de realimentación de Voltaje de Armadura ( $V_{afb}$ ) y realimentación de Corriente de Armadura ( $I_{afb}$ ) para determinar el ángulo de disparo actual de los SCR's del Convertidor que está trabajando, a través de la generación de la señal Voltaje de Control; también deciden cual puente rectificador conducirá y en qué momento será encendido.
- **CIRCUITOS DE PULSOS DE CONTROL.**- Estas tarjetas, reciben la señal hexafásica de 5.2VAC para sincronizar los pulsos de disparo que se entregarán a los SCR's del convertidor que está trabajando de acuerdo a la señal Voltaje de Control que envían las tarjetas de los Circuitos de Regulación, sacando los Pulsos de control de 100KHz en la fase apropiada para disparar a los SCR's.

#### 5.1.2.1. CIRCUITOS DE MOVIMIENTO

La siguiente figura muestra las relaciones funcionales entre las tarjetas que componen los circuitos de movimiento, la importancia de estas tarjetas está en que además de convertir o adaptar la señal que envía el controller del Operador, verifican la presencia de todas las señales de realimentación y las señales del Operador cuando la Pala está funcionando para determinar si alguna condición anormal se ha presentado y así producir el apagado instantáneo de la Pala protegiendo la máquina; la Tarjeta que hace esta función es la Monitor de Control (Control Monitor). (Llaguno, 2015, pp. 106)

El grupo de tarjetas de circuitos de Movimiento está conformado por:

- Las Fuentes de alimentación de +/- 15 VDC.(+/- 15 VDC Power Supply)
- La Tarjeta Adaptadora de Movimiento. (Adapter Hoist-Crowd-Propel)
- La Tarjeta Monitor de Control. (Control Monitor)

En la figura, se muestran todas las señales que ingresan y salen de las tarjetas que conforman los circuitos de Movimiento, es importante notar que siempre que existan problemas en la pala, el electricista debe verificar la presencia y correcto valor de las señales que entran y salen del PLC. (Llaguno, 2015, pp. 106-107)

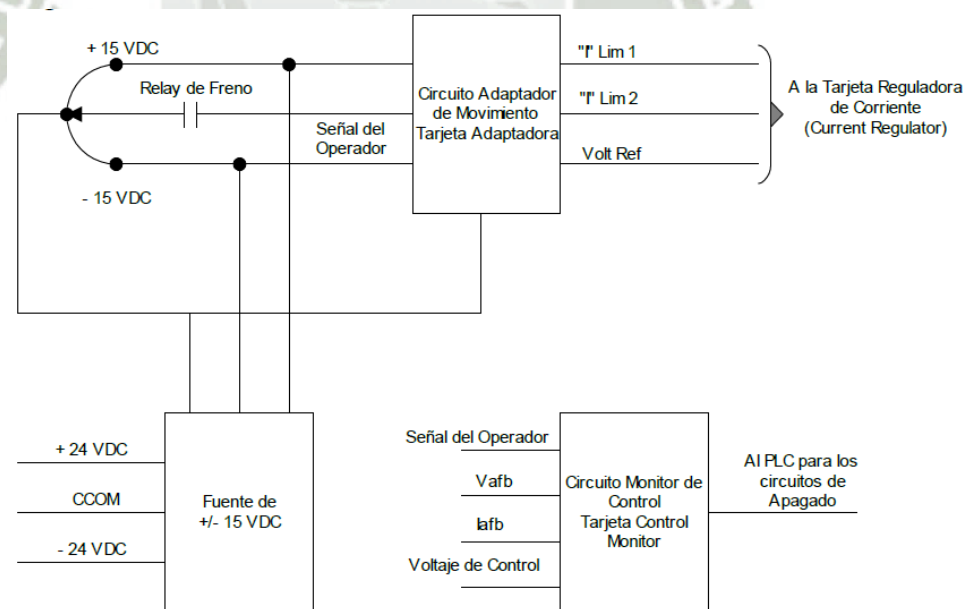


Fig. 5.7 Diagrama de Bloques de las Tarjetas que conforman los Circuitos de Movimientos y sus relaciones funcionales.

Fuente: (Llaguno, 2015, pp. 108)

Cuando la Pala ha sido arrancada en el modo RUN, al liberar el freno de un movimiento, se cierra un contacto del PLC siempre que la lógica del sistema no haya detectado una falla, y la señal del controller del operador llega a la tarjeta Adaptadora de Movimiento (Adapter Hoist-C/P), esta convertirá la señal del controller de -15V a +15V en una señal retardada y proporcional de -10V a +10V llamada Referencia de Voltaje (Voltage Reference), que ingresará a la Tarjeta Reguladora de Corriente.

La Tarjeta Adaptadora también envía dos señales Variables llamadas I Límite 1 e I Límite 2 a la tarjeta Reguladora de corriente.

Fuentes de +/- 15VDC. (+/- 15 VDC Supply).- Convierten la tensión no regulada de +/- 24VDC en una tensión Regulada de +/- 15 VDC, para poder alimentar los componentes electrónicos de las tarjetas, de tal modo que las fluctuaciones de Voltaje no afecten el funcionamiento de los mismos.

Tarjeta Adaptadora de Movimiento (Adapter Hoist-Crowd-Propel).- Convierte la señal del Operador en una señal de voltaje de referencia cuya característica principal es responder con un determinado retardo a los movimientos de comando del Controller del Operador. Adicionalmente, convierte la característica de respuesta del sistema para un determinado tipo de movimiento y envía dos señales de referencia variables a la tarjeta Reguladora de corriente con el fin de

fijar los límites de respuesta de la comparación de las señales de Referencia de Voltaje y Realimentación de Voltaje de Armadura. La siguiente figura muestra como ejemplo el diagrama de la Tarjeta Adaptadora de Movimiento de Izar (Hoist) tal como aparece en el Plano eléctrico de la Pala.

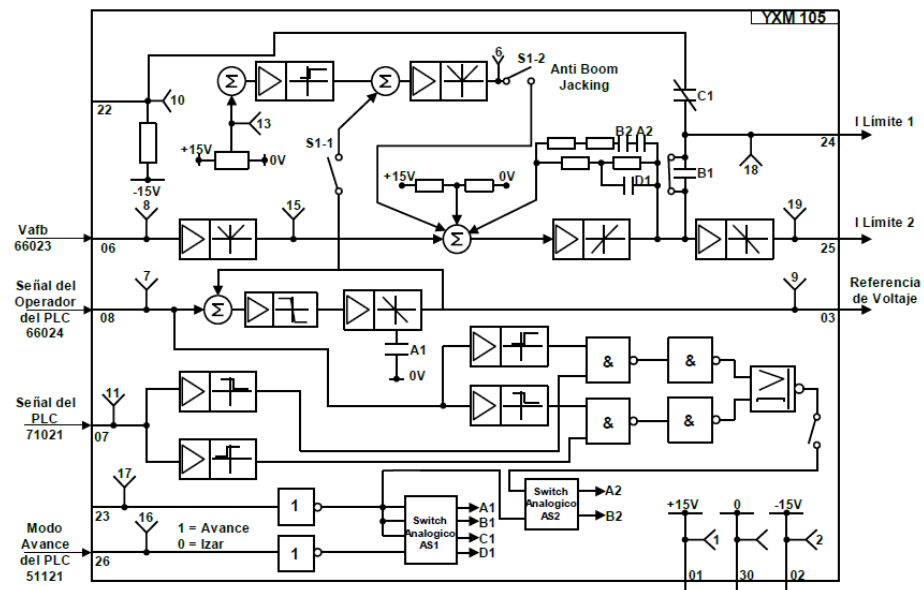


Fig. 5.8 Tarjeta Adaptadora de Movimiento de Izar (Adapter Hoist-C/P)

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 108

Se debe revisar las entradas y salidas de esta tarjeta usando el diagrama esquemático de la Pala con el objeto de analizar las condiciones de funcionamiento de todas estas señales. (Llaguno, 2015, pp. 107-108)

- **Tarjeta Monitor de Control (Control Monitor).**- Verifica la presencia de todas las señales críticas con el objeto de determinar alguna anomalía en el funcionamiento del Sistema y apagar la

máquina en forma instantánea (Instant Shutdown). Estas señales son:

- Señal del Controller del Operador (Operator's Signal); esta señal llega a través del PLC.
- Señal de realimentación del Voltaje de Armadura (Armature Voltage Feedback) "Vafb".
- Señal de realimentación de la Corriente de Armadura (Armature Current Feedback) "Iafb".
- Señal de Control de Voltaje (Control Voltage), que es la señal final o procesada que controla el ángulo de disparo a los SCR's del convertidor de armadura.

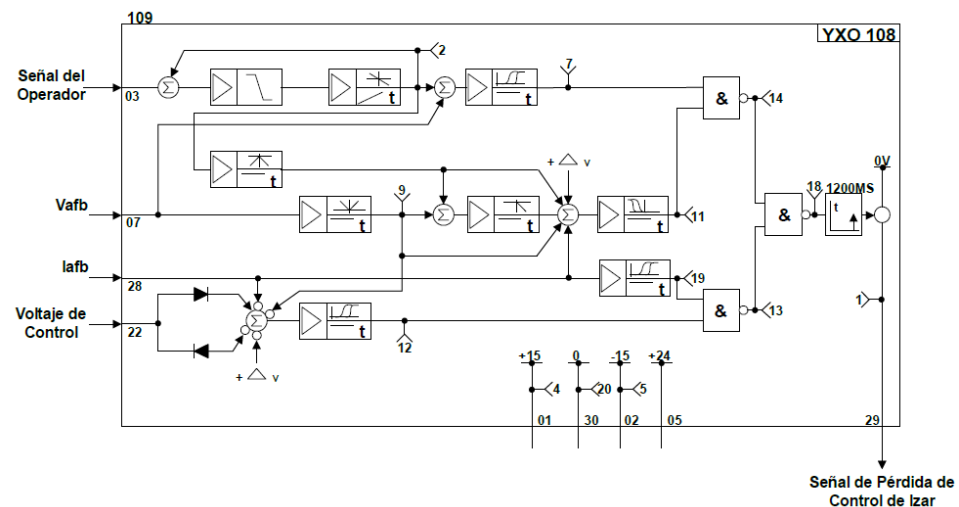


Fig. 5.9 Tarjeta monitor de control

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 109

- **Tarjeta Monitor de Control de Izar.**- Esta tarjeta hace dos comparaciones de parámetros los cuales, excepto durante condiciones especiales, se espera que guarden relación. Si la

comparación de estos parámetros no corresponde a lo esperado, la tarjeta enviará una señal de falla al PLC a menos que alguna condición de excepción considerada por la lógica del sistema se halla presentado.

La primera comparación, es entre la señal de Referencia del Joystick y la Realimentación del Voltaje de Armadura; esto es posible debido a que la tarjeta Monitor tiene un circuito que es idéntico al de una tarjeta Adaptadora, el cual retarda y reduce la referencia del Joystick a un valor proporcional entre -10V a +10V. Esta referencia de Voltaje debería ser igual y opuesta a la realimentación del Voltaje de Armadura, excepto cuando el motor está próximo a la condición de Stall.

La Referencia de Voltaje y la Realimentación de Voltaje son sumadas y comparadas con un voltaje fijo de -15VDC colocado a la entrada de un Amplificador Operacional que actúa como un detector de nivel. Si el Voltaje de Referencia y el de Realimentación se cancelan por ser iguales y opuestos, entonces los -15VDC que ingresan a la entrada no-inversora produce un “0” lógico a la salida del Amplificador Operacional. Si hay una diferencia entre el Voltaje de referencia y el voltaje de realimentación, debería haber un “1” lógico a la salida del Operacional en el TP-7 (Test Point 7); en todo caso, debido a la

configuración, el circuito será muy sensible a las diferencias positivas de estas dos señales, las que podrían significar que:

- La referencia de Izar en subida (+) es mayor que la velocidad de Izar en subida (-).
- La referencia de Izar en Bajada (-) es mayor que la Velocidad de Izar en Bajada (+).

Esto protege contra la caída del cucharón y explica por qué la Operación de monitoreo es verificada por la reducción del “Límite 2” sobre la Tarjeta Reguladora de Voltaje a la mitad (la cual reduce la salida negativa de la tarjeta) y por lo tanto el Izar.

Debido a que la Tarjeta Adaptadora tiene un circuito que genera límites de corriente variables que limitan la salida de la Tarjeta reguladora de Voltaje (Señal “Referencia de Corriente”), para asegurar que el voltaje del motor cae a cero cuando la corriente alcanza un máximo (esto asegura que el motor no conmutará altas corrientes a altas velocidades), el Voltaje de Referencia y el Voltaje de Realimentación no pueden coincidir cuando el motor alcanza la corriente de Stall: El Voltaje del Motor deberá caer aun cuando el Operador tenga el Joystick en la Posición Full. (Llaguno, 2015, pp. 109-110)

### 5.1.2.2. CIRCUITOS DE REGULACIÓN

En su forma más genérica, es un conjunto de tarjetas que se encargan de procesar todas las señales que controlan a los convertidores de armadura y emitir una señal resultante cuya única función es variar el ángulo de disparo de los SCR's del Convertidor que está trabajando, con el objeto de adaptar su salida a los requerimientos de trabajo del motor que está controlando.

La siguiente figura muestra un diagrama de bloques de las tarjetas que conforman los Circuitos de Regulación y sus relaciones funcionales. (Llaguno, 2015, pp. 113)

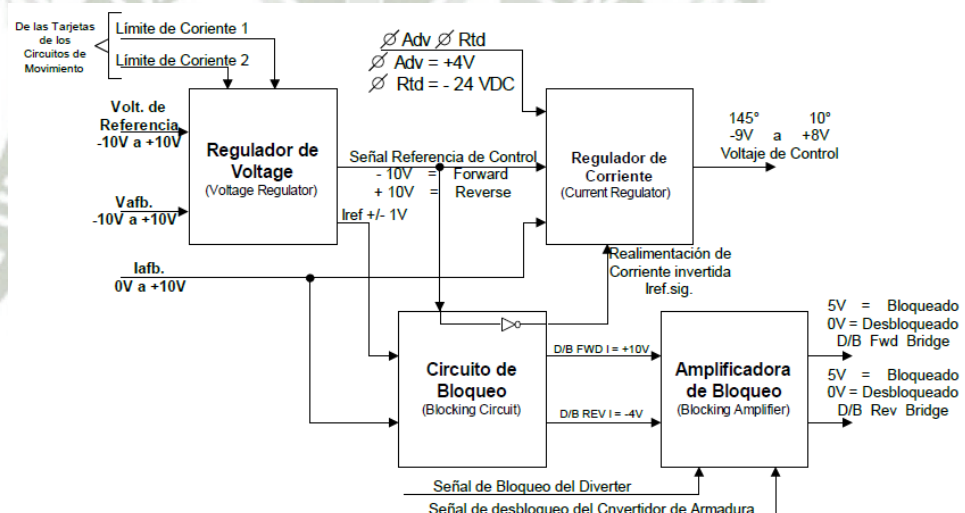


Fig. 5.10 Tarjetas que conforman el Bloque de circuitos de regulación. Estas procesan todas las señales de control para sacar una señal que controle el adelanto o retraso de los pulsos de disparo hacia los SCR's del convertidor que en ese momento está trabajando (señal "Voltaje de control").

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 113

El grupo de Tarjetas que conforman los circuitos de regulación está dado por las siguientes:

- Tarjeta Reguladora de Voltaje (Voltage Regulator)
- Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator)
- Tarjeta Bloqueadora de Circuitos (Blocking Circuit)
- Tarjeta Amplificadora de Bloqueo (Blocking Amplifier)

El procesamiento de señales para determinar el ángulo de disparo de los SCR's del convertidor que está trabajando y decidir cuál convertidor trabajará es gobernado por estas tarjetas, la función específica de cada una se puede describir como sigue:

- **Tarjeta Reguladora de Voltaje (Voltage Regulator).**- Compara el Voltaje de referencia “Vref” que llega de la Tarjeta Adaptadora de Movimiento (Adapter HC/P) con la señal de realimentación del Voltaje de Armadura “Vafb” y desarrolla una señal llamada Referencia de Corriente “Iref” la cual provee regulación de Voltaje de Armadura (Velocidad).

El término Referencia de Corriente que proviene de la comparación de dos señales de Voltaje; tiene por objeto fijar un punto de comparación con la segunda señal de realimentación que corresponde a la señal de realimentación de Corriente de Armadura. La siguiente figura muestra el diagrama de una Tarjeta Reguladora de Voltaje (Voltage Regulator) tal como luce en los diagramas eléctricos de la Pala. (Llaguno, 2015, pp. 114)

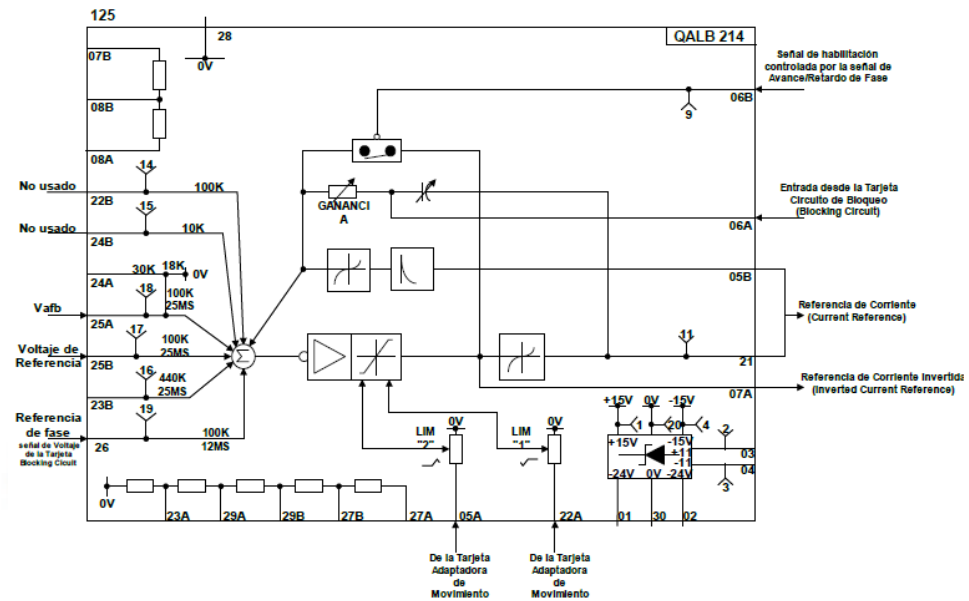


Fig. 5.11 Diagrama circuital de la Tarjeta reguladora de Voltaje (Voltage Regulator).

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 114

### - Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator).-

Compara la señal de Referencia de Corriente “Iref”, desarrollada en la tarjeta Reguladora de Voltaje, con la señal de Realimentación de Corriente de Armadura “Iafb” y genera una señal de Voltaje de Control la cual gobernará la Corriente de Armadura (Torque). (Llaguno, 2015, pp. 114)

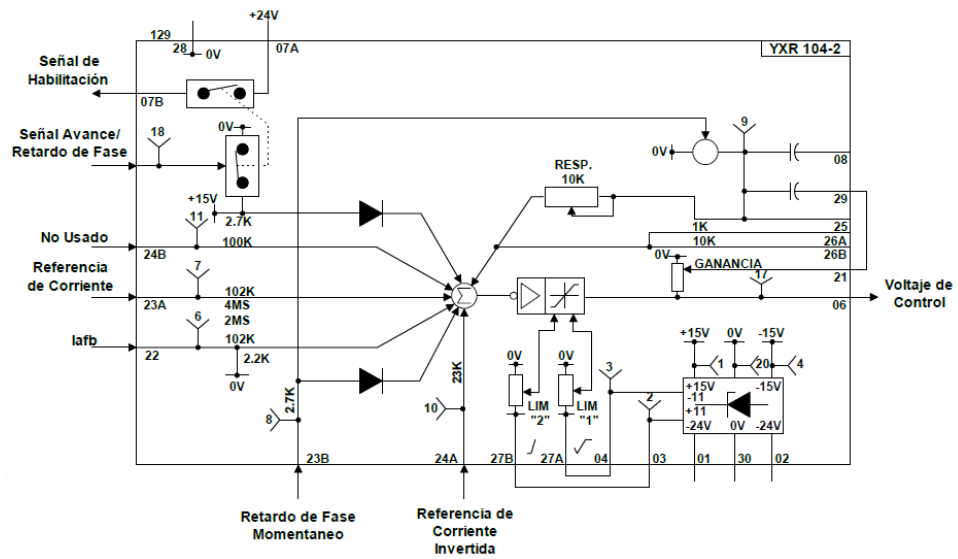


Fig. 5.12 Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator)

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 115]

- **Tarjeta Circuito de Bloqueo (Blocking Circuit).**- Esta tarjeta determina cual puente rectificador (Convertidor) conducirá y en qué momento este será energizado. La siguiente figura muestra la Tarjeta de Circuito de Bloqueo (Blocking Circuit) tal como aparece en los diagramas esquemáticos de la Pala. (Llaguno, 2015, pp. 115)

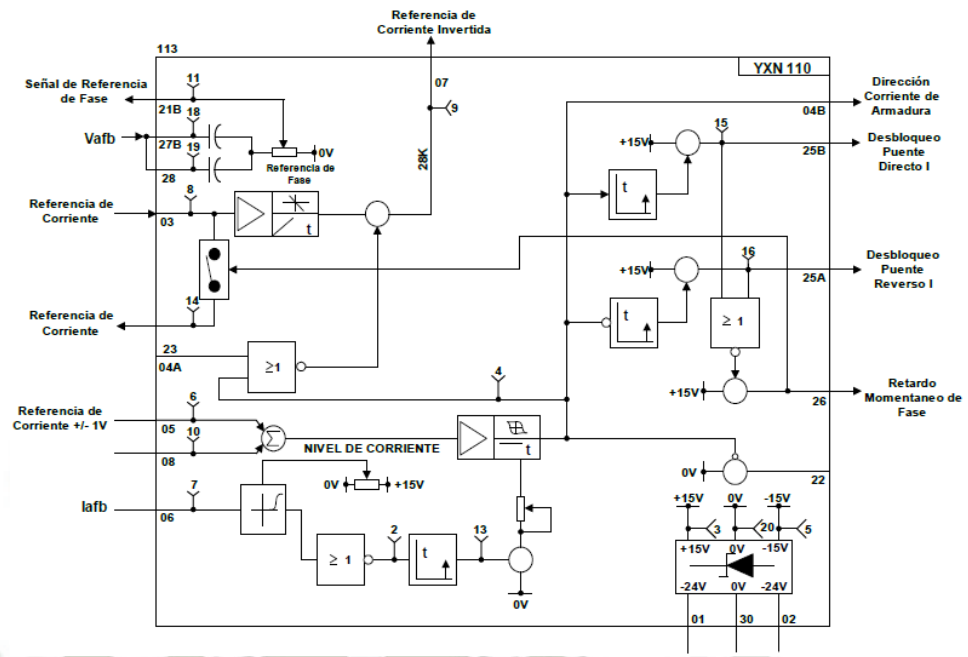


Fig. 5.13 Tarjeta de Circuito de Bloqueo (Blocking Circuit), tal como aparece en los diagramas de la Pala.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 116

- **Tarjeta Amplificadora de Bloqueo (Blocking Amplifier).**-

Provee un control a relay con el objeto de tener un arranque y parada de la Pala secuencial o sistemático.

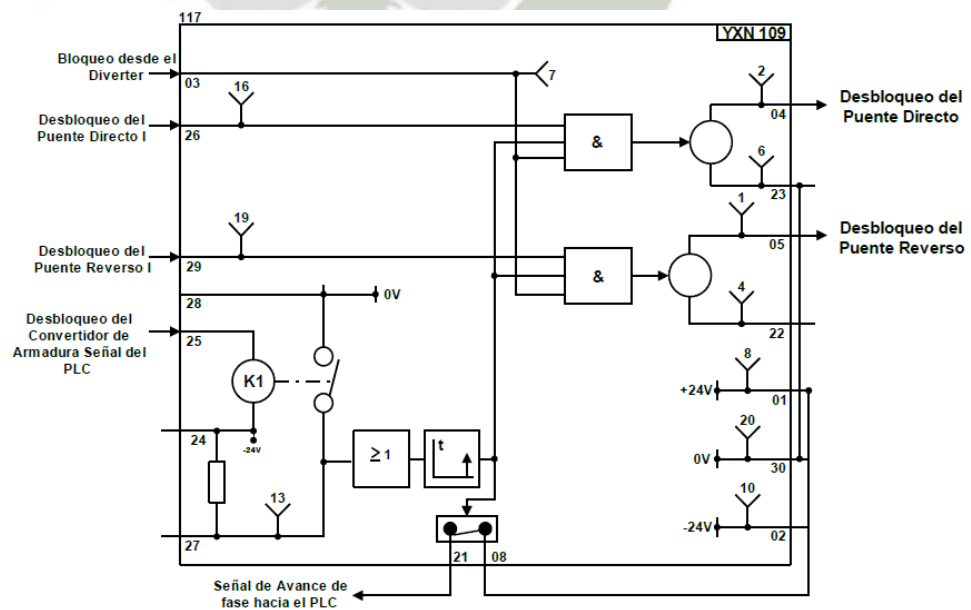


Fig. 5.14 Diagrama circuital de la Tarjeta Amplificadora de Bloqueo (Blocking Amplifier).

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 117

La siguiente tabla muestra los niveles de voltaje de diferentes señales que se procesan en este grupo de tarjetas:

Movimiento	Corriente Limite 01	Corriente Limite 02	Referencia de Corriente	Referencia Corriente +/- 1V	Referencia de Corriente Invertida
Levante	-2.6V	+5V a +10V	-10V a +2.6V	-11V a +3.6V	0V Directa -1V Reversa
Empuje	-5V a -10V	+5V a +10V	-10V a +10V	-11V a +11V	0V Directa -3.3V Reversa
Avance	-5V a -10V	+5V a +10V	-10V a +10V	-11V a +11V	0V Directa -3.3V Reversa
Giro	0V a -10V	0V a +10V	-10V a +10V	-11V a +11V	0V Directa -4V Reversa

Tabla 5.3 Niveles de voltaje de las señales más importantes que se procesan en las tarjetas de los circuitos de regulación.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 117

### 5.1.2.3.CIRCUITOS DE CONTROL

Los circuitos de Pulsos de control están compuestos por las tarjetas que se encargan de desarrollar los Sets de pulsos de disparo de 100KHz hacia los SCR's de los convertidores, haciendo para esto la comparación entre la señal de Voltaje de Control "Vcontrol" entregada por la tarjeta Reguladora de Corriente, con las señales hexafásicas de 5.2V de sincronismo ya procesadas, para determinar el ángulo de disparo. (Llaguno, 2015, pp. 118)

Las tarjetas y dispositivos que conforman los Circuitos de Control son:

- Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Generator)
- Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Amplifier)
- Transformadores de Pulsos (Pulse Transformers)

La figura a continuación muestra el diagrama de bloques de las tarjetas que conforman estos circuitos y sus relaciones funcionales.

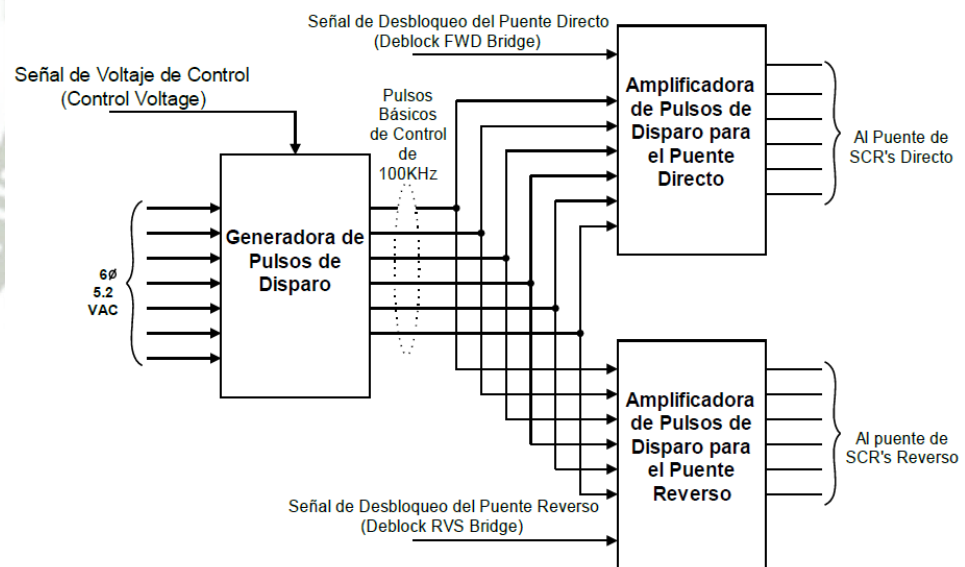


Fig. 5.15 Circuitos de control.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 118

- **Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Generator).**- Desarrolla el Set básico de 6 pulsos de control a

100KHz. Para esto compara la señal de Voltaje de control con la señal de sincronismo hexafásica de 5.2 VAC.

La figura siguiente muestra el diagrama circuital de una tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo típica.

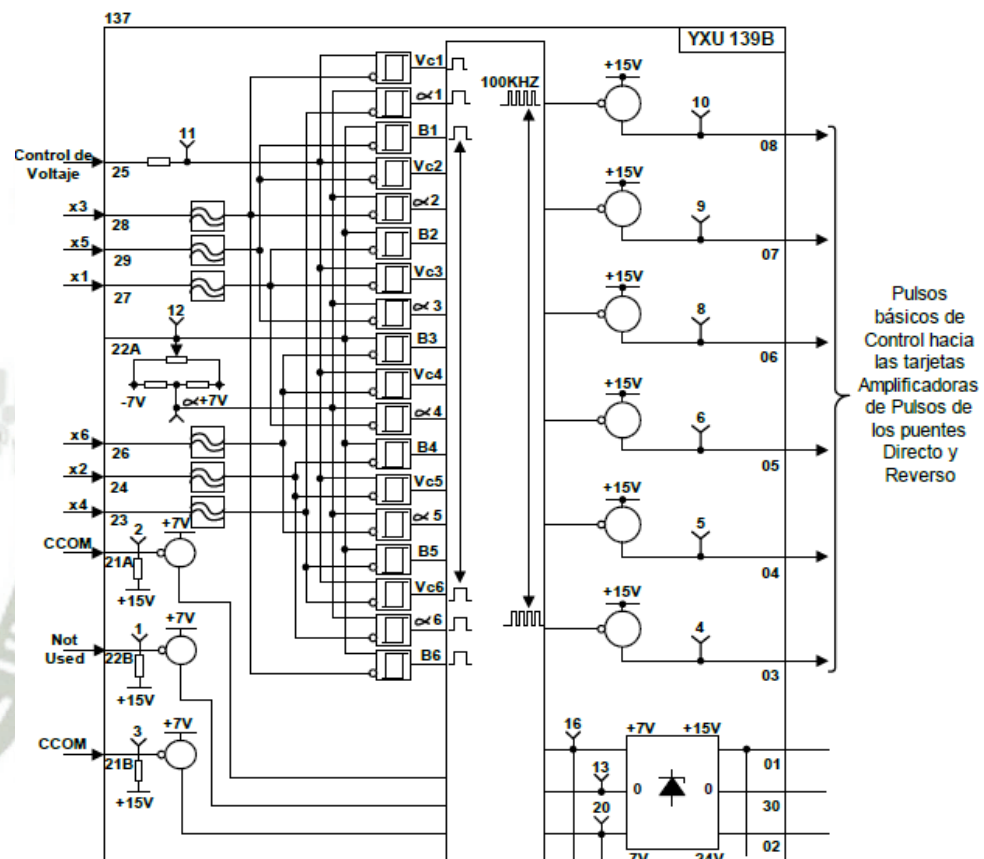


Fig. 5.16 Diagrama circuital de una Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 119

Nótese que x1, x2, ..., x6; corresponden a las entradas de sincronismo hexafásicas. La señal Voltaje de control es la que se comparará con las rampas generadas con la señal hexafásica y determinará el punto a partir del cual aparece el pulso de disparo. (Llaguno, 2015, pp. 119-120)

- **Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Amplifier).**- Amplifica los pulsos básicos de 100 KHz, dándoles la suficiente amplitud y corriente para manejar a los transformadores de pulsos.

La figura siguiente muestra una tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo de acuerdo a como aparece en los diagramas esquemáticos de la Pala, las salidas de esta tarjeta se conectan a los transformadores de pulsos.

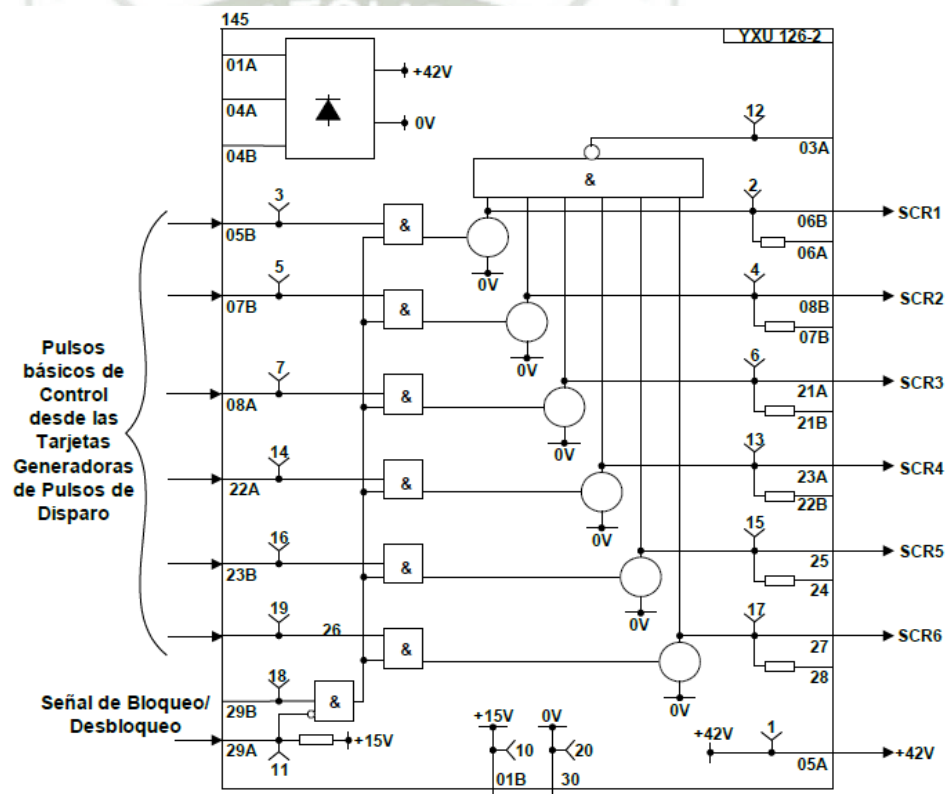


Fig. 5.17 Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo tal como se muestra en los diagramas esquemáticos de la Pala.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 120

Finalmente, los transformadores de pulsos son los que están conectados físicamente a los SCR's entre los Gate y Cátodos de

ellos; su función primaria es proveer aislamiento entre el circuito de control y el circuito de potencia, con el objeto de evitar que cualquier problema eléctrico relacionado en los circuitos de potencia, se refleje en los circuitos de control provocando daños catastróficos en estos.

La siguiente figura muestra circuitalmente como están constituidos los transformadores de Pulsos y su conexión a los Gate y Cátodos de los SCR's de un puente rectificador Trifásico, obsérvese que si la frecuencia de entrada al transformador de Pulsos es 100KHz, la frecuencia de los pulsos de disparo aplicados a los SCR's es 200KHz. (Llaguno, 2015, pp. 120-121)

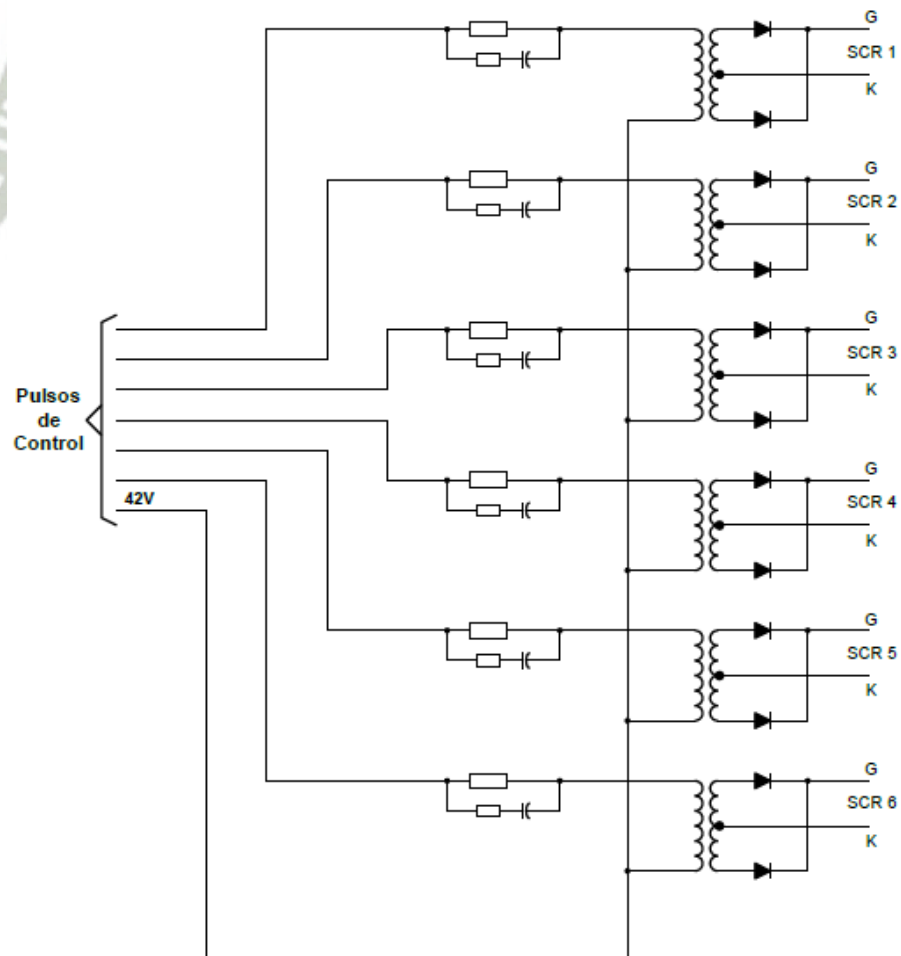


Fig. 5.18 Transformadores de Pulsos y sus conexiones para un puente rectificador trifásico a SCR's

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 121

La alimentación del primario de los transformadores de Pulsos es 42 VDC, tienen una red R-C de entrada con el objeto de limpiar la señal proveniente de las tarjetas Amplificadoras de Pulsos de Disparo y hacer abrupto el flanco de subida de los pulsos.

En el secundario los Transformadores de Pulsos tienen diodos rectificadores con el objeto que la corriente que entra a los Gate de los SCR's tenga una sola dirección de tal manera que la polarización Gate-Cátodo sea siempre positiva.

La siguiente figura muestra un Transformador de Pulsos y las formas de onda vistas con osciloscopio en el primario y secundario del Transformador de Pulsos. (Llaguno, 2015, pp. 122)

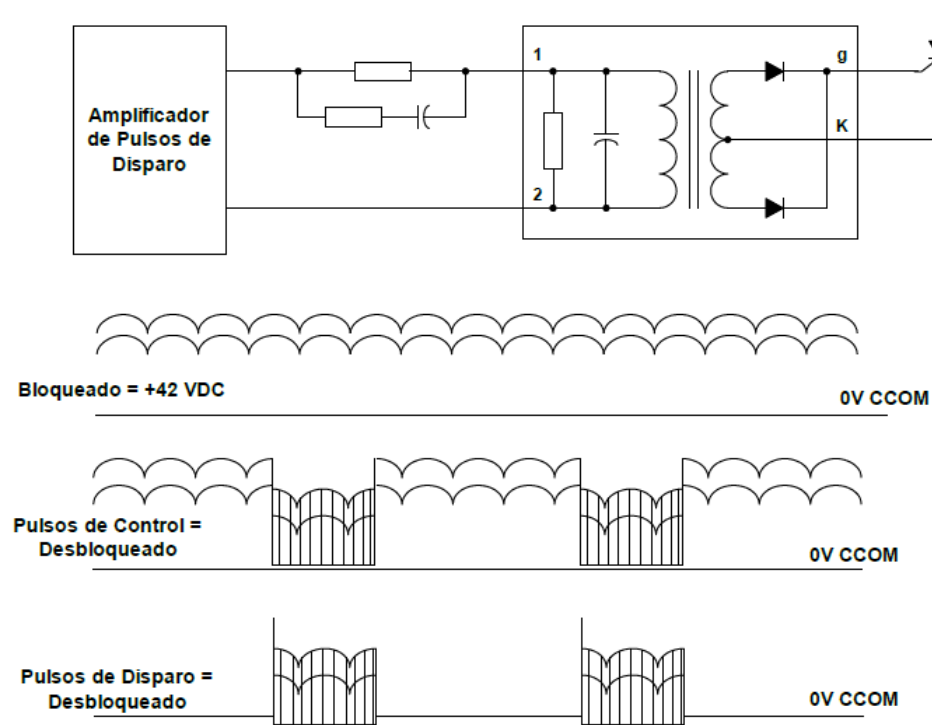


Fig. 5.19 Transformador de Pulsos y las formas de onda vistas con osciloscopio en el primario y secundario del Transformador.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 122

## 5.2 CONTROL DE CAMPO

Para el control de motores DC se requiere contar con voltaje y corriente constantes para energizar su estator y que inicie la generación del campo magnético que en interacción con el campo magnético del rotor dará inicio al torque.

Tan igual como existe un control electrónico para regular la corriente y el voltaje de Armadura de los Motores DC de la Pala, el Electrotorque tiene un grupo de tarjetas electrónicas que se encargan de regular la corriente de Campo de los Motores DC, de tal modo que sea constante y circule en una sola dirección por las bobinas.

Cuando la Pala es arrancada y los frenos son liberados, los convertidores de los movimientos cuyos frenos fueron liberados, son inmediatamente energizados y los pulsos de disparo son enviados por las tarjetas de control de campo en un ángulo de disparo tal que la corriente alcance el nivel previamente regulado. La siguiente figura muestra un diagrama de bloques del funcionamiento de los circuitos de control de Campo.

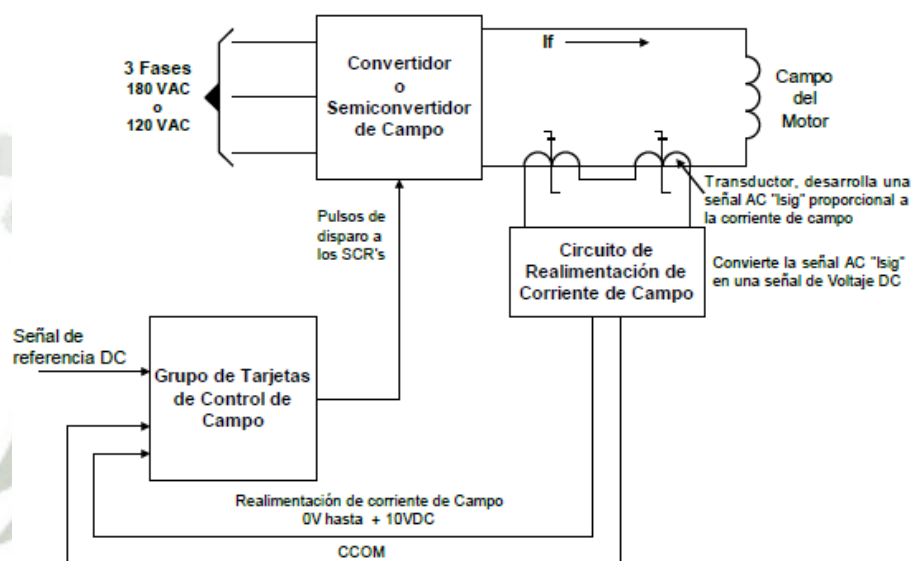


Fig. 5.20 Circuitos de Control de Campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 128

Para determinar el ángulo de disparo de los SCR's de los Convertidores o Semiconvertidores, el sistema usa la comparación de dos señales; compara la señal de Referencia de corriente, que es un voltaje DC que se calibra de acuerdo al procedimiento suministrado por el fabricante, con la señal de realimentación de corriente de Campo "Iffb", la diferencia que es la señal de error resultante, determina el ángulo de disparo de los SCR's. (Llaguno, 2015, pp. 128)

En resumen, las funciones del sistema de control de Campo son:

- Generar los pulsos de disparo a los SCR's de los convertidores o semiconvertidores de campo.
- Proveer regulación de corriente de Campo
- Proveer de un control a relay durante el arranque y la parada de la Pala.

### 5.2.1 REALIMENTACIÓN DE CORRIENTE DE CAMPO

El circuito de realimentación de corriente de campo usa un transductor especial basado en el principio del reactor saturable.

#### - **Fundamento Teórico**

La Saturación magnética, es un fenómeno físico que se presenta cuando al ir incrementando la intensidad de campo magnético “H” para un núcleo ferroso, la densidad de campo magnético “B” aumenta hasta un valor, a partir del cual permanece constante por más que aumentemos la intensidad “H”.

A este punto, donde la densidad de flujo “B” y por lo tanto el flujo magnético “ $\phi$ ” encerrado en el núcleo, permanecen constantes, se llama punto de saturación.

- Cuando un núcleo se satura, el flujo magnético encerrado en el interior se hace constante.
- El área encerrada en la curva de magnetización, puede considerarse como pérdidas y son irrecuperables, dependen exclusivamente de las características del núcleo usado. (Llaguno, 2015, pp. 129-130)

El Reactor Saturable, está compuesto de un núcleo ferroso de elevada permeabilidad magnética, que lo hace fácilmente saturable para un campo magnético originado por una corriente continua, tiene una bobina de trabajo que generalmente se alimenta con corriente alterna y una bobina de mando que se energiza con corriente continua, con el objeto de producir la saturación del núcleo.

- **Transductor de Corriente a Reactor Saturable**

La siguiente figura muestra un Transductor de corriente a reactor saturable trabajando en un circuito de realimentación de corriente de Campo. El transductor mostrado, consta de dos reactores saturables que trabajan en contrafase por efecto de la alimentación de corriente alterna que reciben y la polaridad como están conectados; esto quiere decir que mientras uno entra en saturación, permanece en ese estado mientras dura todo el semiciclo de alimentación orientado con su polaridad, y el otro entra en saturación hasta un punto en el cual la corriente que circula por su bobinado, es limitada por efecto de la resta de campos magnéticos que hay entre los producidos por la corriente de campo del motor “If” y la corriente alterna que circula por la bobina del reactor. Supongamos que el reactor (1) se cortocircuita con los semiciclos positivos y el reactor (2) con los negativos. (Llaguno, 2015, pp. 130)

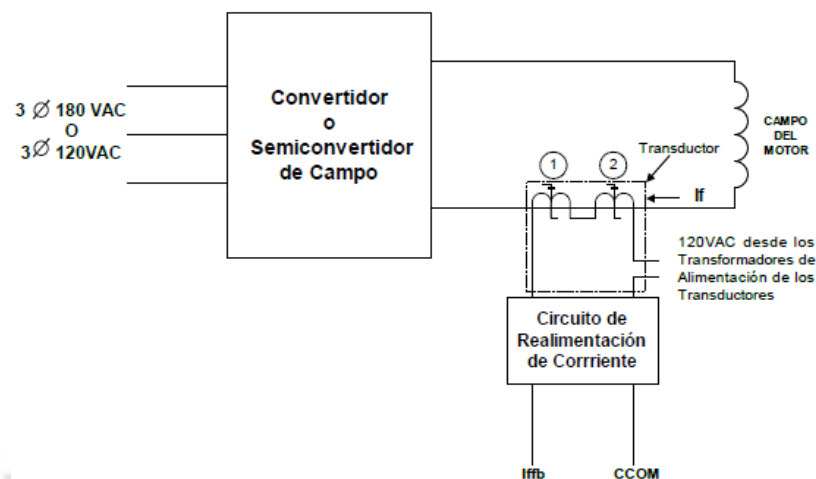


Fig. 5.21 Transductor de corriente a reactor saturable en un circuito de realimentación de corriente de Campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 131

Cuando circula una corriente de Campo “If” determinada, ambos reactores, (1) y (2) entran en saturación; sin embargo cuando la tensión de alimentación está en el semiciclo positivo, el reactor (1) permanece en cortocircuito durante todo el semiciclo y el reactor (2) permanece en estado de saturación hasta el punto en el que se anulan los campos magnéticos producidos por “If” y por la tensión alterna de entrada, en ese momento la corriente se hace constante y no crece más (No puede seguir el desarrollo de la tensión).

Si la corriente de campo “If” aumenta, el punto de cancelación de campos es más alto y si disminuye, el punto es más bajo. Por lo tanto. El valor promedio de la corriente que sale del reactor es proporcional a la corriente que circula por el campo. (Llaguno, 2015, pp. 131)

Cuando el semiciclo es negativo, el reactor (2) permanece en cortocircuito durante todo el semiciclo y es el reactor (1) el que entra a trabajar ahora del mismo modo que fue descrito anteriormente para el reactor (2).

### 5.2.2 CIRCUITO DE REALIMENTACIÓN DE CORRIENTE DE CAMPO

El circuito de realimentación de Corriente de Campo, tiene por funciones las siguientes:

- Proveer un voltaje DC que es proporcional a la corriente de Campo
- Aislar los circuitos de control del circuito de Campo del motor
- Proveer información de nivel de corriente de Campo.
- La siguiente figura muestra el circuito de Realimentación de Campo de los motores de la Pala 4100A. (Llaguno, 2015, pp. 132)

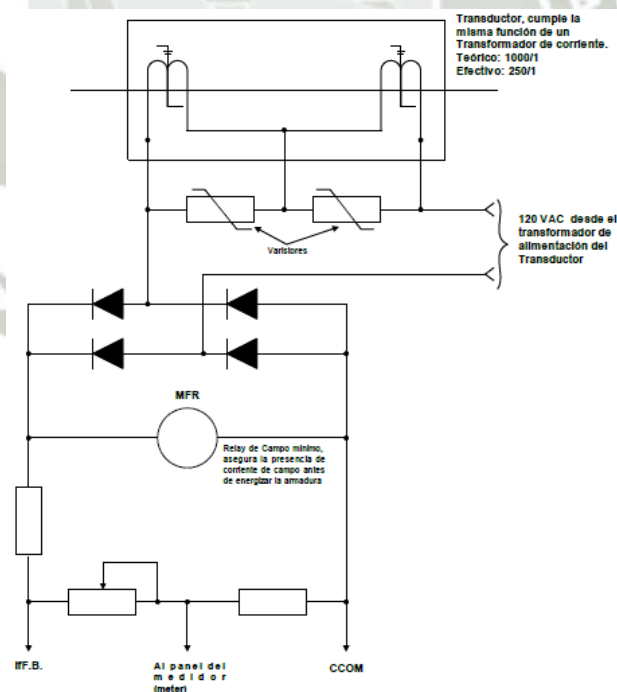


Fig. 5.22 Circuito de Realimentación de Corriente de Campo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 132

### 5.2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DEL CAMPO DE IZAR

El control del campo de Izar tiene la particularidad de poner dos niveles de corriente a los campos de los motores de Izar de acuerdo al cuadrante donde se encuentren trabajando en ese momento. Los campos de los motores de Izar pueden estar en la condición de Campo débil o Campo fuerte. La siguiente figura muestra el diagrama de Bloques de las tarjetas de control de Campo de Izar.

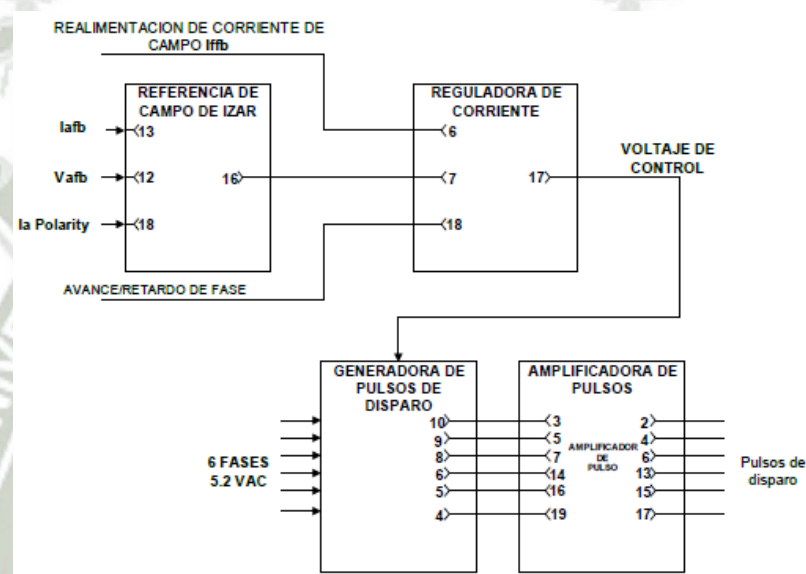


Fig. 5.23 Diagrama de bloques de las tarjetas de Control del Campo de Izar

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 133

Cuando la pala es arrancada y el freno de Izar es liberado, aparece la señal “Ia Polarity”, que es una señal de referencia que puede tomar dos valores + 15V 0 - 15V según sea la dirección de giro de la armadura y es con la que se compara la señal de corriente de realimentación de Campo “Iffb”, la diferencia de estas dos origina la señal Voltaje de Control “Vc” y determina el ángulo de disparo de los SCR’s del convertidor de campo. (Llaguno, 2015, pp. 133)

Sin embargo para determinar la condición del cuadrante en el que está trabajando el motor, recibe las señales de Realimentación de Voltaje de Armadura “Vafb” y realimentación de Corriente de Armadura “Iafb”, las que le dirán al control que el cucharón está descendiendo a máxima velocidad y vacío, lo cual permitirá al control que pase a la condición de campo débil.

- **Tarjeta Referencia de Campo de Izar (Hoist Field Reference)**

La siguiente figura muestra el diagrama de P&H de la tarjeta de Referencia de Campo de Izar.

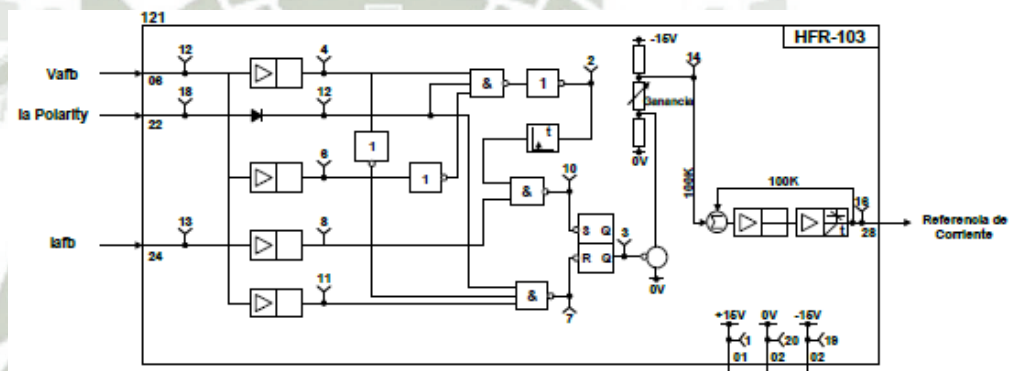


Fig. 5.24 Tarjeta Referencia de Campo de Izar

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 134

Esta tarjeta pone la señal de referencia de corriente “Iref” como resultado de la Combinación o comparación de las tres señales de entrada: “Vafb”, Iafb” y “Ia Polarity”, pudiendo tener esta señal de referencia dos niveles: - 10V para campo fuerte y - 3.6V para campo débil. (Llaguno, 2015, pp. 134)

- **Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator)**

La tarjeta Reguladora de corriente recibe la señal de Referencia de Corriente “Iref” y la compara con la señal de realimentación de corriente de Campo “Iffb”, sacando como resultado la señal de Voltaje de Control “Vc”, la que determina el ángulo de disparo de los SCR’s del convertidor de Campo de Izar.

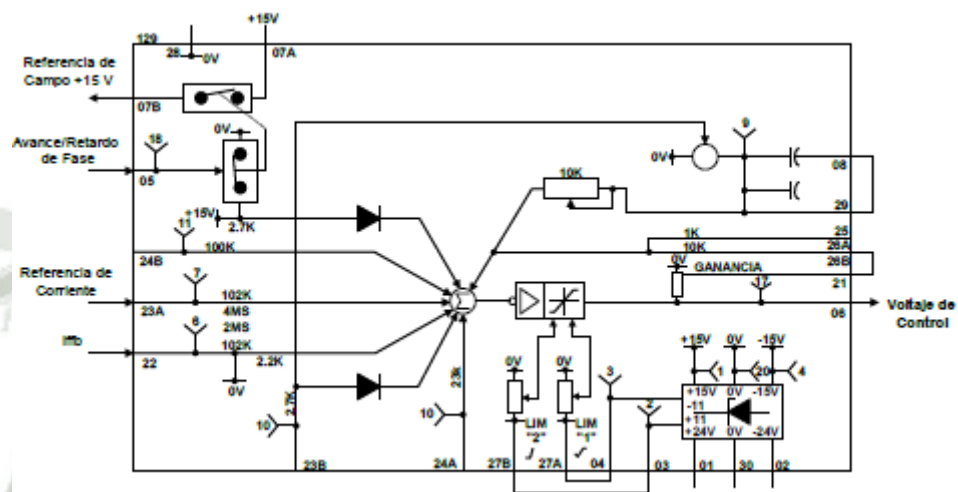


Fig. 5.25 Tarjeta Reguladora de Corriente del Campo de Izar.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 134

- **Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Generator)**

Esta tarjeta recibe la señal de Voltaje de control “Vc” y la compara con las rampas de sincronismo generadas por la señal hexafásica de 5.2 VAC del transformador de sincronismo. El resultado son pulsos de ancho variable que determinan el ángulo de disparo de los SCR’s del convertidor. La siguiente figura muestra esta tarjeta con las señales de entrada y salida. (Llaguno, 2015, pp. 135)

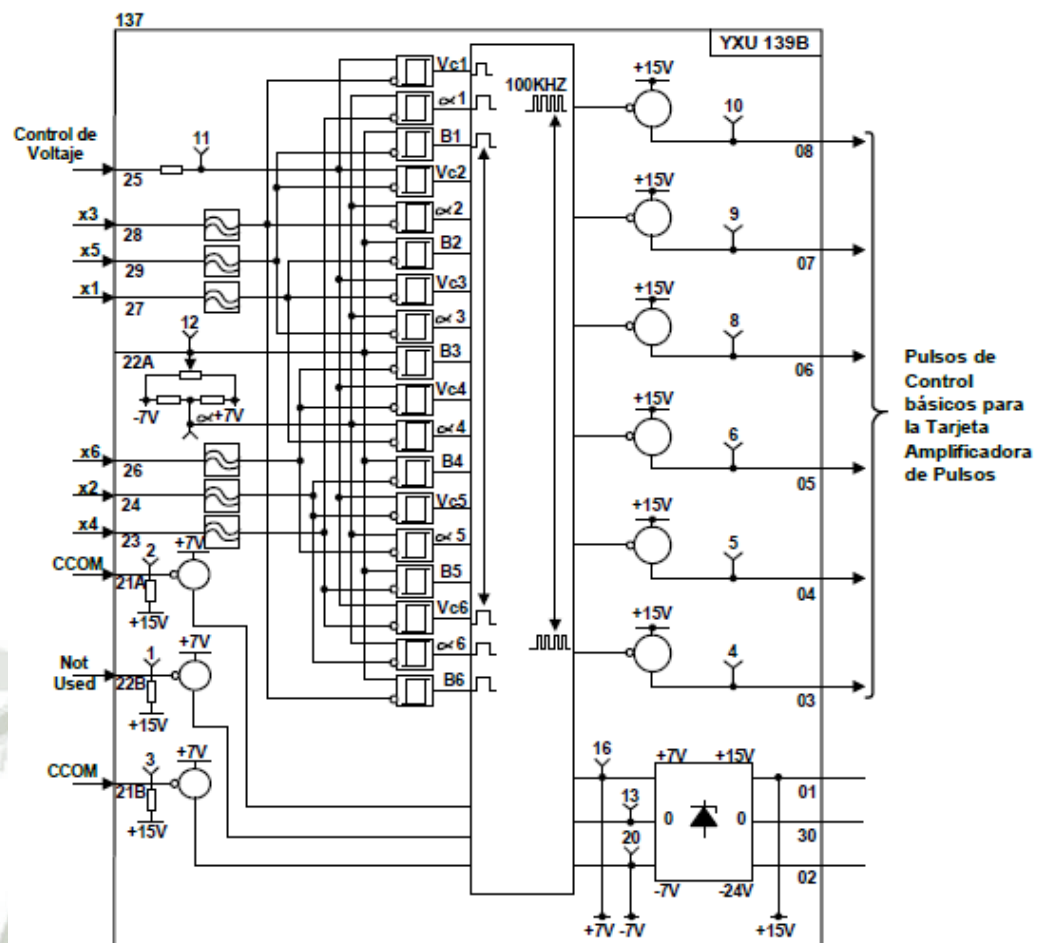


Fig. 5.26 Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 135

- **Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo (Firing Pulse Amplifier)**

Esta tarjeta se encarga de dar los niveles adecuados de voltaje y corriente para disparar los Gate de los SCR's del convertidor de campo de Izar. La siguiente figura muestra esta tarjeta. (Llaguno, 2015, pp. 136)

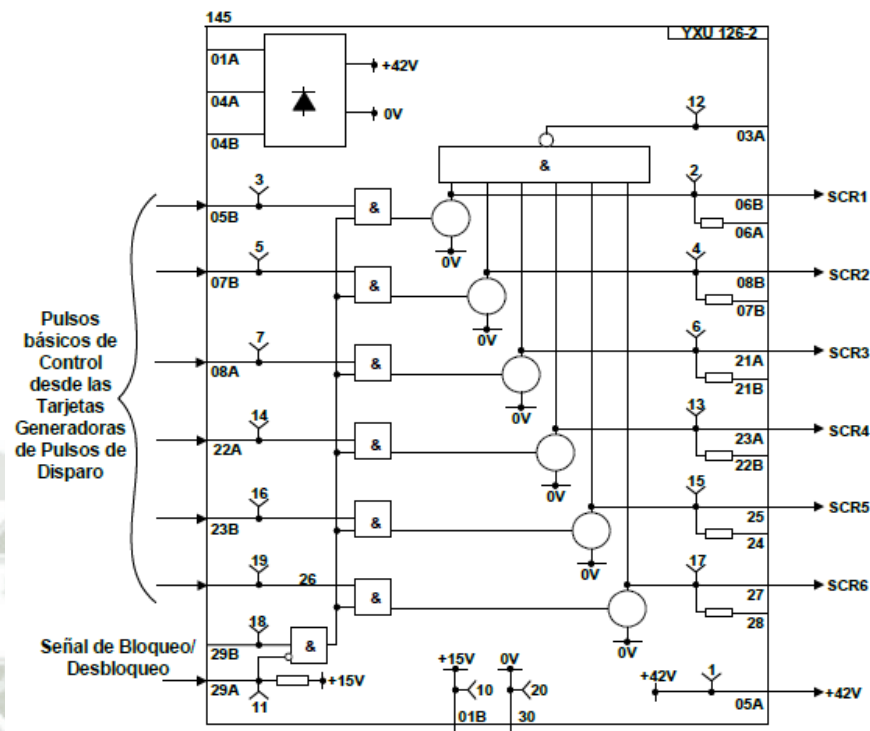


Fig. 5.27 Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 136

#### 5.2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS TARJETAS DE CONTROL DE CAMPO DE EMPUJE/AVANCE Y GIRO

Debido a que los campos de los Motores de Empuje, Avance y Giro usan Semiconvertidores, hay una enorme simplificación en cuanto al número de tarjetas de control que se usan para regular la corriente de Campo de estos Motores.

Estos campos usan una tarjeta de control de Semiconvertidor para Giro y otra para Empuje/Avance y al final comparten la tarjeta amplificadora de Pulsos de disparo; esto debido a que la tarjeta amplificadora de Pulsos de disparo puede manejar 6 SCR's y cada Semiconvertidor tiene 3 SCR's. La siguiente

figura muestra el diagrama de bloques correspondiente. (Llaguno, 2015, pp. 137)

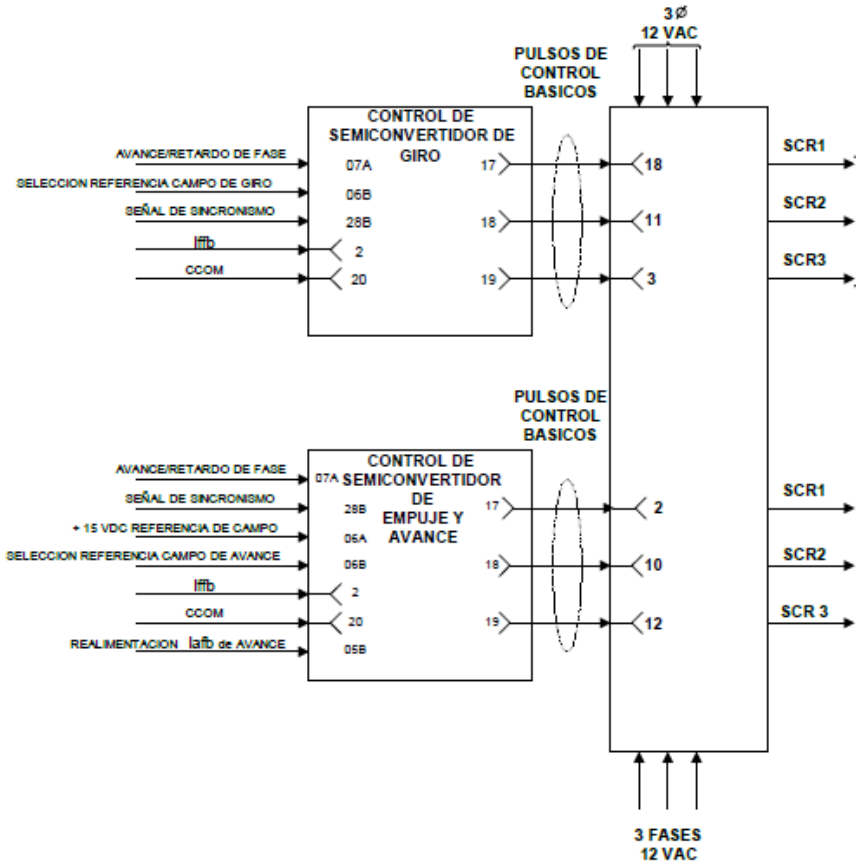


Fig. 5.28 Diagrama de Bloques de las Tarjetas de Control de Campo de Empuje/Avance y Giro.

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 137

### 5.3 COMPENSACION DE POTENCIA REACTIVA

La compensación de potencia reactiva es el proceso para lograr reducir o eliminar la energía reactiva presente en un sistema eléctrico mediante la utilización de unos condensadores o filtros.

Desde que la Pala 4100A usa convertidores para variar la corriente que circula por los Motores DC, estos por su propia naturaleza, introducen una componente

reactiva de corriente; debido al retraso existente con respecto al voltaje por el ángulo de disparo de los SCR's que se usan.

### 5.3.1 CONCEPTOS

La siguiente figura muestra un convertidor de armadura conectado con un Bloque de Compensación de Potencia Reactiva en su entrada.

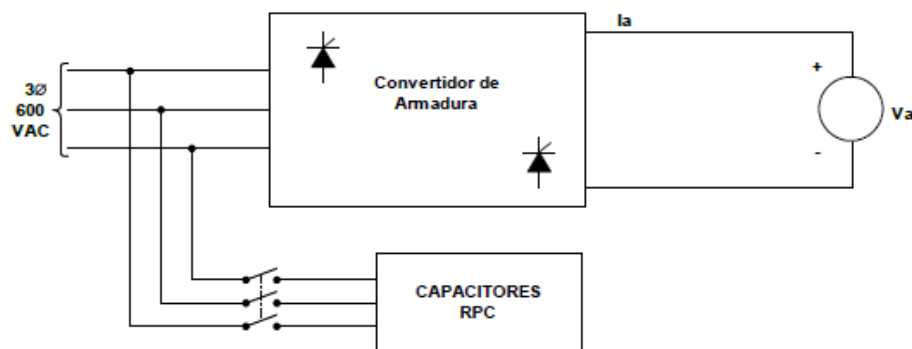


Fig. 5.28 Diagrama de Bloques de Un convertidor de Armadura con un sistema de Compensación de Potencia Reactiva (RPC).

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 141

Cuando los Switches están abiertos, la potencia eléctrica que consume el sistema está integrada por dos componentes:

- Una componente activa, que es la potencia útil que hace el trabajo de mover la armadura del Motor DC llamada Potencia Activa.
- Una componente reactiva, que es la potencia consumida por el sistema debido al retraso de la corriente con respecto a la tensión de entrada; producido por el ángulo de conducción de los SCR's del Convertidor. Esta potencia no hace trabajo útil y constituye una pérdida. (Llaguno, 2015, pp. 141)

Para tratar de eliminar la Potencia reactiva consumida por el sistema, se adiciona un bloque compensador, el cual no es otra cosa que uno, o más bancos de condensadores que debido a su característica, de adelantar la corriente respecto al voltaje, reducirá la potencia reactiva total que consume el sistema.

El triángulo de potencias que se muestra a continuación ilustra el caso del Switch de conmutación del RPC abierto.

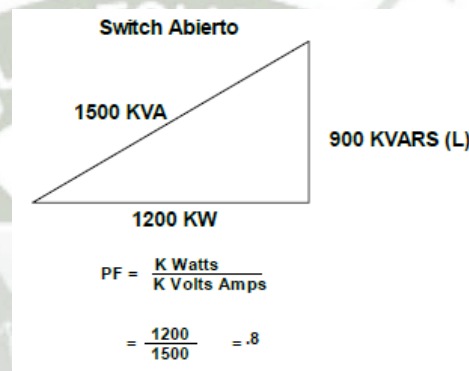


Fig. 5.29 Triángulo de potencia – conmutación de RPC

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 142

La potencia aparente es medida en Volamperes (VA), la Potencia activa es medida en Vatios (W) y la Potencia reactiva es medida en Vars (VARs). El factor de potencia (PF) es el porcentaje de potencia reactiva respecto a la potencia aparente. (Llaguno, 2015, pp. 142)

Cuando el Switch se cierra, los condensadores del RPC trabajan e introducen una componente reactiva también pero en adelante, que se resta a la componente reactiva en retraso, anulando (haciendo cero) la potencia

reactiva total consumida por el sistema. Esto puede observarse en el diagrama de fasores siguiente.

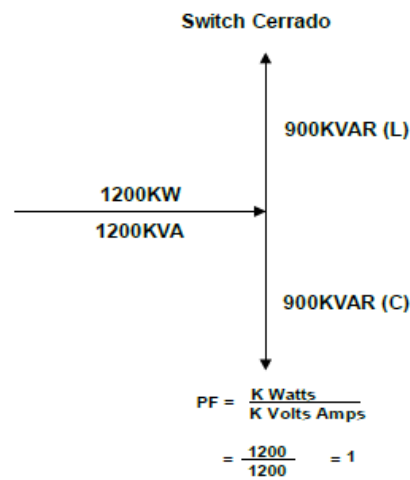


Fig. 5.30 Diagrama de fasores

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 142

La ventaja de introducir un sistema de compensación de potencia reactiva, está en lo siguiente:

- El factor de potencia (PF) se acerca a uno (1), es decir la carga se comporta como si fuera puramente resistiva.
- La corriente total disminuye y por lo tanto el conductor puede ser de menor calibre.
- Disminuye la contribución de energía reactiva de la máquina al sistema de distribución Eléctrico. (Llaguno, 2015, pp. 143)

### 5.3.2 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA DE LA PALA 4100A

La siguiente figura muestra el diagrama Unifilar del sistema RPC de la Pala 4100A.

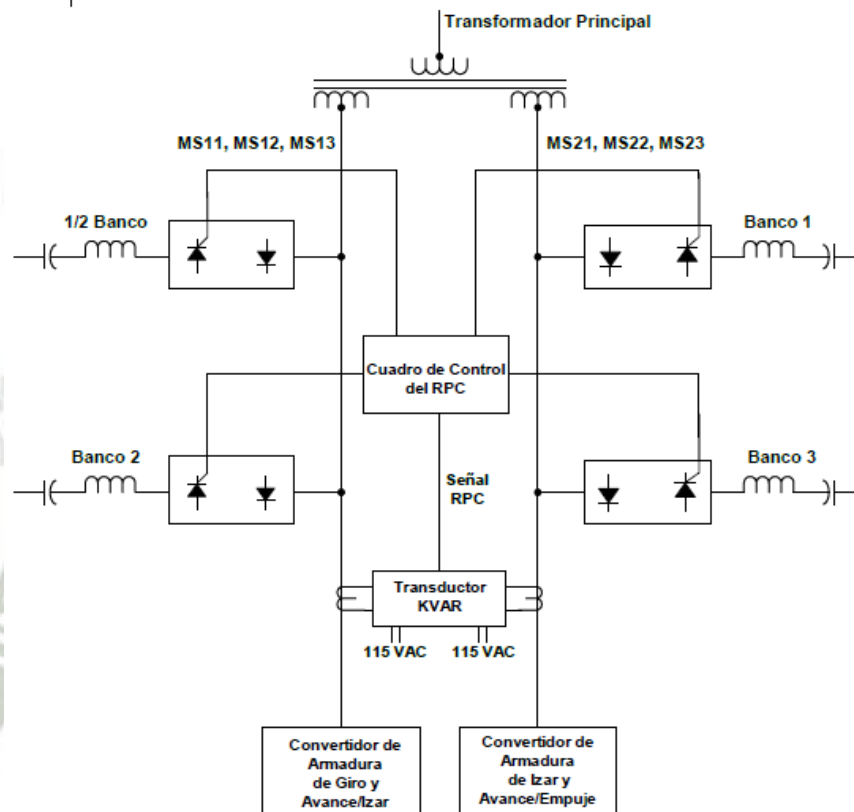


Fig. 5.31 Diagrama Unifilar del RPC de la Pala 4100A

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 144

El RPC tiene 3 bancos de 1,350 KVARs cada uno y un 1/2 banco de 675 KVARs; estos son conmutados en combinaciones de tal modo que cada incremento de 675 KVARs de potencia reactiva que genere la pala, sea compensado por la entrada o salida de bancos. (Llaguno, 2015, pp. 143-144)

La siguiente Tabla muestra el orden de conmutación de los bancos del RPC acuerdo a la potencia Reactiva que genera la Pala.

CONMUTACIÓN DE BANCOS DEL RPC		
ON	OFF	KVARS
1/2	1, 2, 3	> 675
1	1/2, 2, 3	> 1350
1, 1/2	2, 3	> 2025
1, 2	1/2, 3	> 2700
1, 2, 1/2	3	> 3375
1, 2, 3	1/2	> 4050
1, 2, 3, 1/2	-	> 4725

Tabla. 5.4 Conmutación de bancos RPC

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 144

### 5.3.3 DIAGRAMA DEL BANCO #1

La siguiente figura muestra el diagrama del Banco #1, se observan 3 grupos de condensadores, uno por fase, que contribuyen cada uno con 450 KVARs.

El sistema funciona de la siguiente manera:

- Cuando no hay pulsos de disparo en los SCR's enviados por el control del RPC, los condensadores de cada fase se cargan al valor de pico de la tensión alterna, durante el semiciclo positivo de la onda, por medio del diodo que está en antiparalelo con el SCR respectivo. Al llegar el semiciclo negativo, el diodo queda polarizado inversamente y es un circuito abierto por lo tanto no hay corriente circulando por los condensadores de cada fase.
- Cuando el control del RPC empieza a trabajar, los pulsos de disparo deben llegar a los SCR's con un ángulo de 90° debido a la necesidad de que el SCR respectivo, sea el que descargue al condensador una vez que

se ha cargado a la tensión de pico de la onda alterna. Entonces los SCR's conducirán desde  $90^\circ$  hasta  $270^\circ$  y los diodos desde  $270^\circ$  hasta los  $90^\circ$ .

- Cuando el ángulo de disparo no está bien calibrado, se producirán cortocircuitos entre fases debido a la inapropiada conmutación de los SCR's y finalmente tanto los SCR's como otros componentes electrónicos de la pala sufrirán daños. (Llaguno, 2015, pp. 144-145)

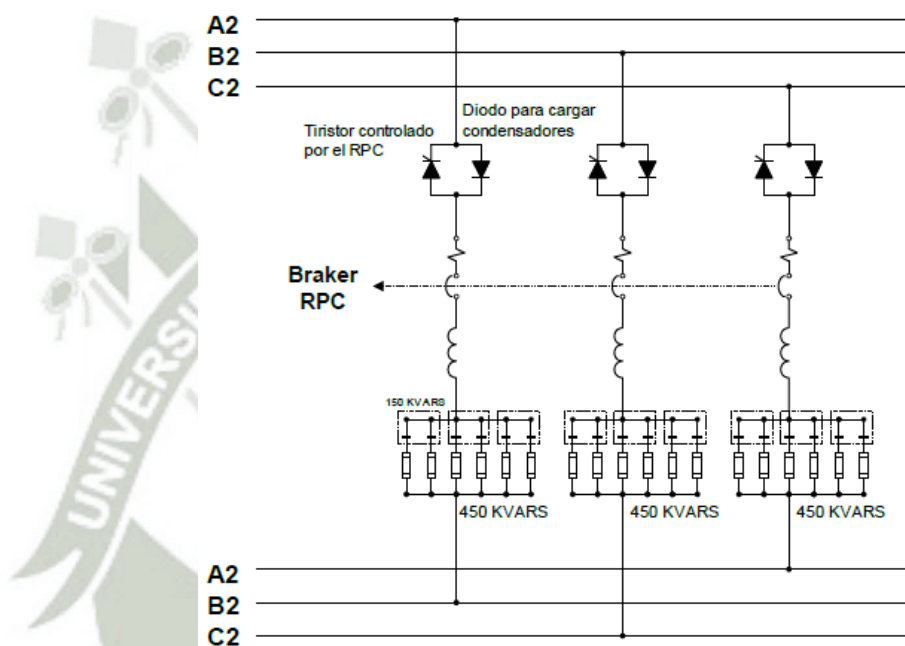


Fig. 5.32 Diagrama del Banco #1

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 145

### 5.3.4 TRANSDUCTOR DE POTENCIA REACTIVA

La función de este dispositivo electrónico es determinar la cantidad de Potencia reactiva que está consumiendo el sistema, enviando una señal proporcional a esta a las tarjetas de control del RPC para determinar la cantidad de KVARs necesarios para compensarla.

Como la potencia reactiva en una red trifásica viene dada por la fórmula siguiente:

$$P = 1.73VI\text{sen}\varnothing$$

Dónde:

V = Tensión entre fases

I = Corriente en la línea

$\varnothing$  = Angulo de fase entre la Tensión y la corriente también llamado factor de potencia (PF)

El transductor sensa la tensión, corriente y el desfase existente entre la tensión y la corriente, entregando una señal proporcional a la fórmula anterior. La siguiente figura muestra el diagrama de este transductor.

(Llaguno, 2015, pp. 145-146)

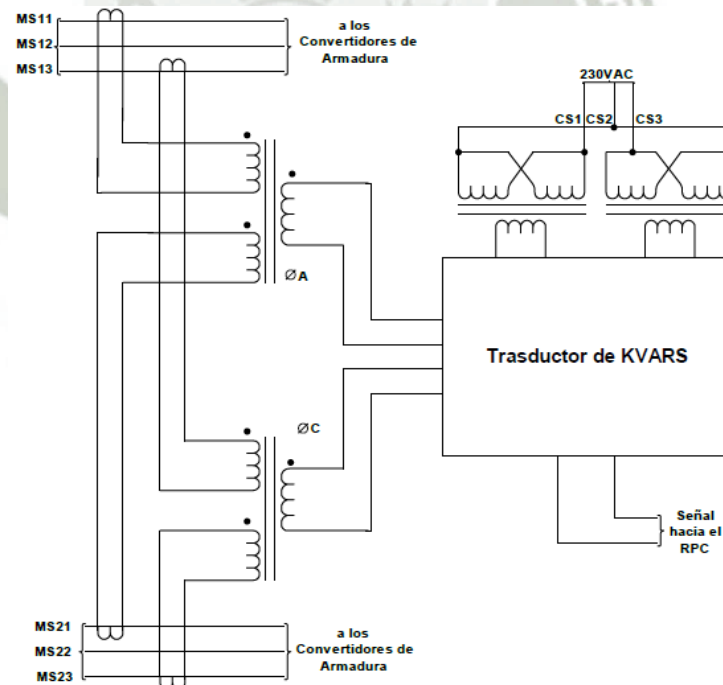


Fig. 5.33 Transductor de Potencia Reactiva

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 146

El transductor proporciona una señal proporcional a la Potencia Reactiva que varía entre 0 y 0.1 VDC y la envía a la Tarjeta amplificadora de medición del control del RPC.

### 5.3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DEL RPC

El control del RPC, tiene 3 bloques que cumplen cada uno con una función determinada y cada bloque representa una tarjeta electrónica dentro del sistema. La siguiente figura muestra el diagrama de bloques del control.

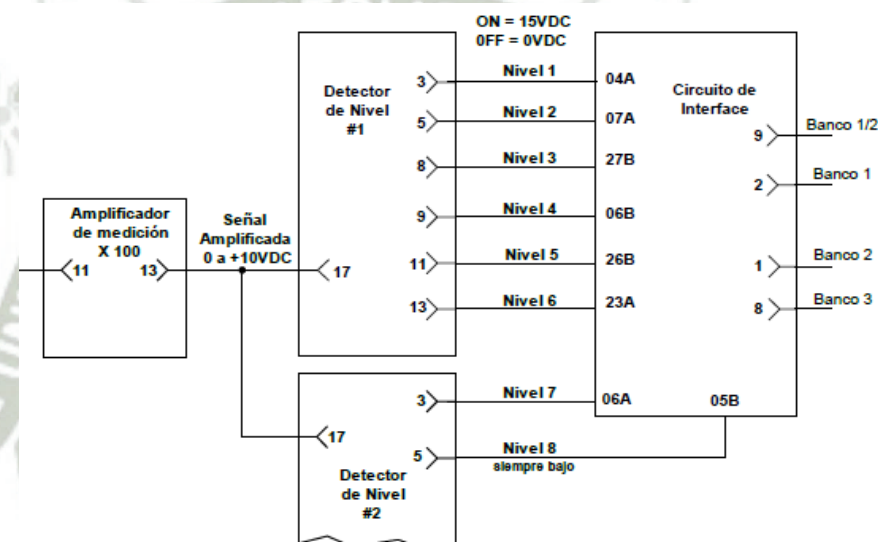


Fig. 5.34 Diagrama de Bloques del control del RPC

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 147

El sistema funciona de la siguiente manera:

- La señal del Transductor de Potencia reactiva ingresa por el pin 11 de la tarjeta Amplificadora de medición y es amplificada 100 veces, la señal de salida que varía entre 0 y + 10VDC ingresa a las tarjetas detectoras de nivel. (Llaguno, 2015, pp. 147)

- Las tarjetas detectoras de nivel, a través de una calibración de niveles, compara los niveles calibrados con el valor instantáneo de la señal amplificada y saca un “1” lógico (+ 15 VDC) por una de las salidas de nivel que van, del uno (1) al siete (7).
- Dependiendo de la salida de nivel que se ha activado, la tarjeta de Interface, determina que Bancos son conmutados en ese instante de acuerdo a la lógica diseñada por sus circuitos internos y que está en relación con el nivel de Potencia Reactiva que debe ser compensado.

### 5.3.6 TARJETA DE INTERFACE

La tarjeta de Interface, que se encarga de decidir qué bancos serán conmutados en un instante determinado.

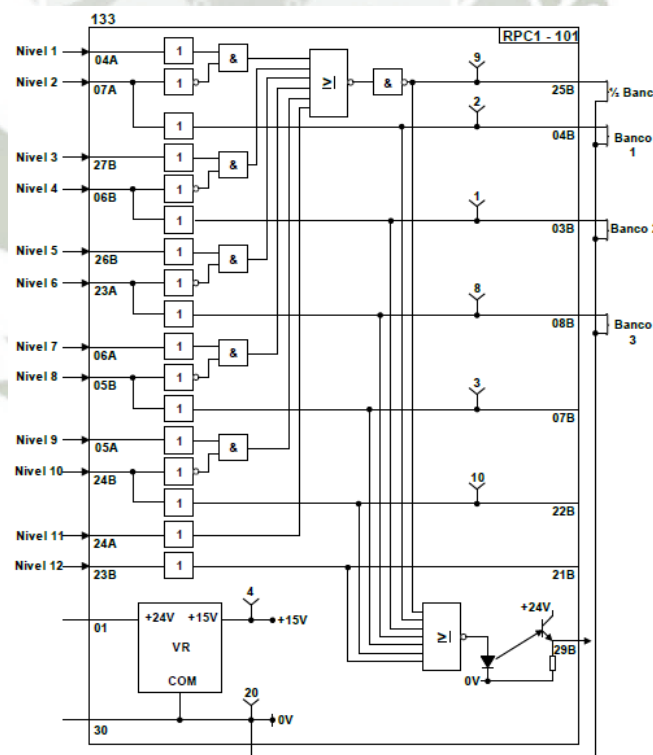


Fig. 5.35 Tarjeta de Interface

Fuente: Llaguno, 2015, pp. 150

### 5.3.7 MÓDULOS DE DISPARO DEL RPC

Los Módulos de Disparo del RPC, tienen por función enviar los pulsos de disparo a los SCR's de cada Banco de acuerdo al nivel de Potencia Reactiva que existe en ese momento. Esto quiere decir que los módulos de disparo, reciben la señal de comando que llega desde de la tarjeta de Interface y sacan los pulsos de disparo hacia los SCR's de los bancos que deben conmutar. La siguiente figura muestra el diagrama de estos módulos. (Llaguno, 2015, pp. 151)

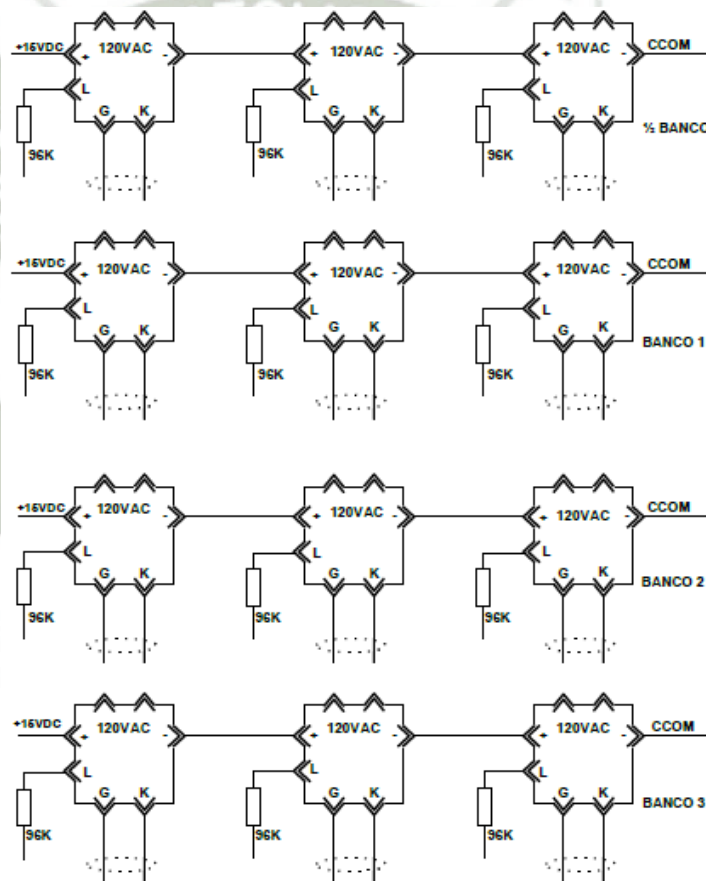
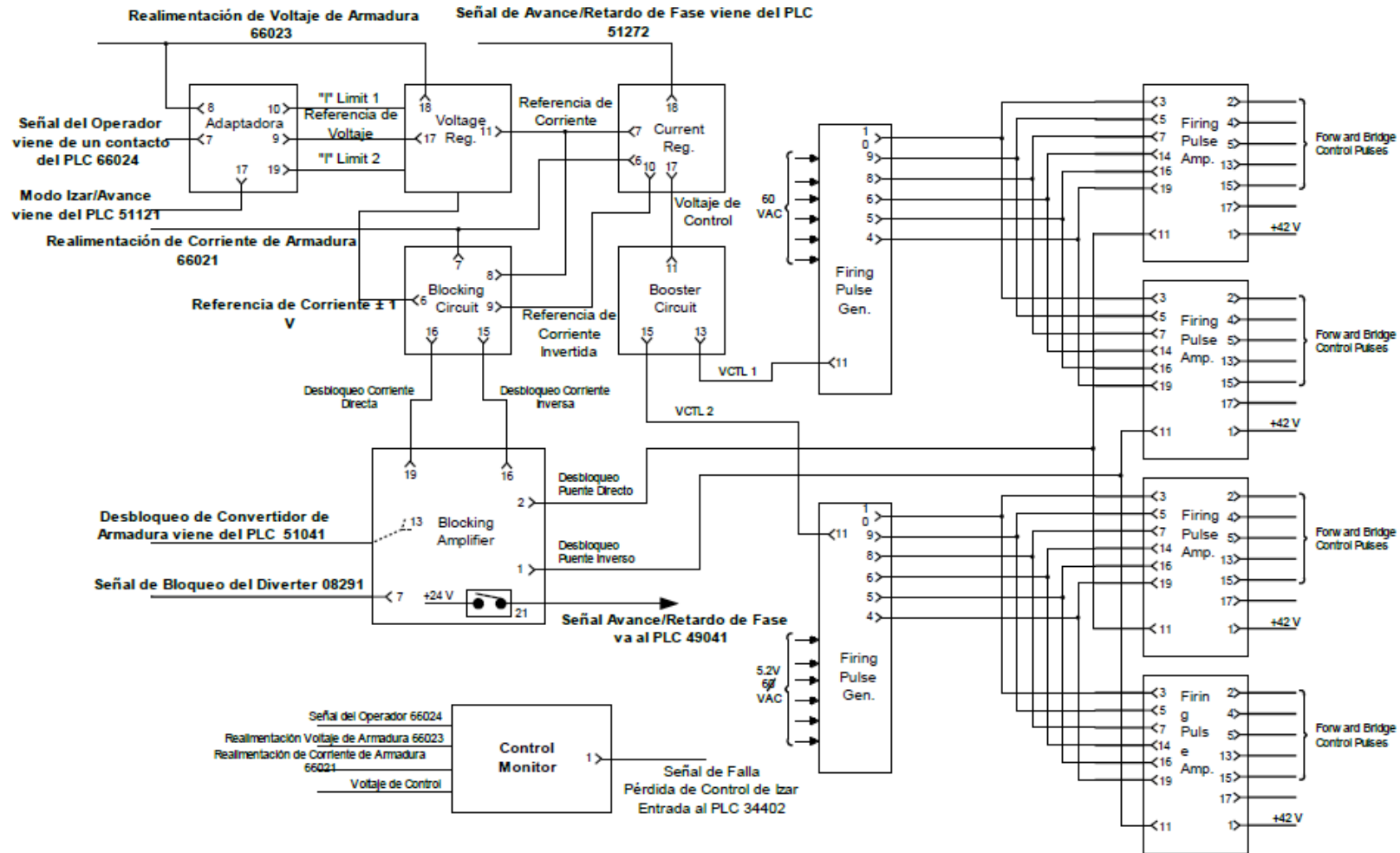


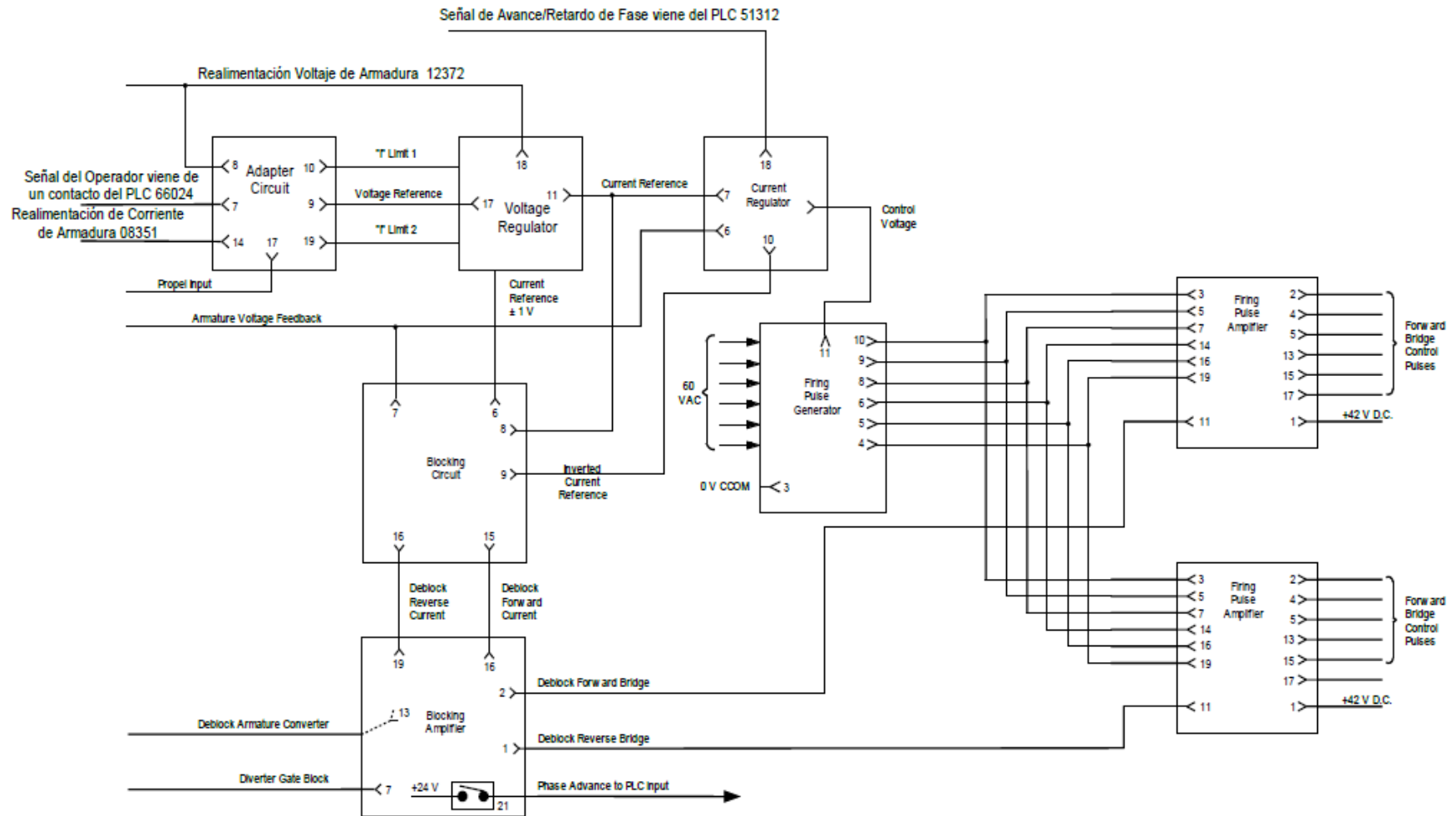
Fig. 5.36 Módulos de disparo del RPC

Fuente: (Llaguno, 2015, pp. 151)

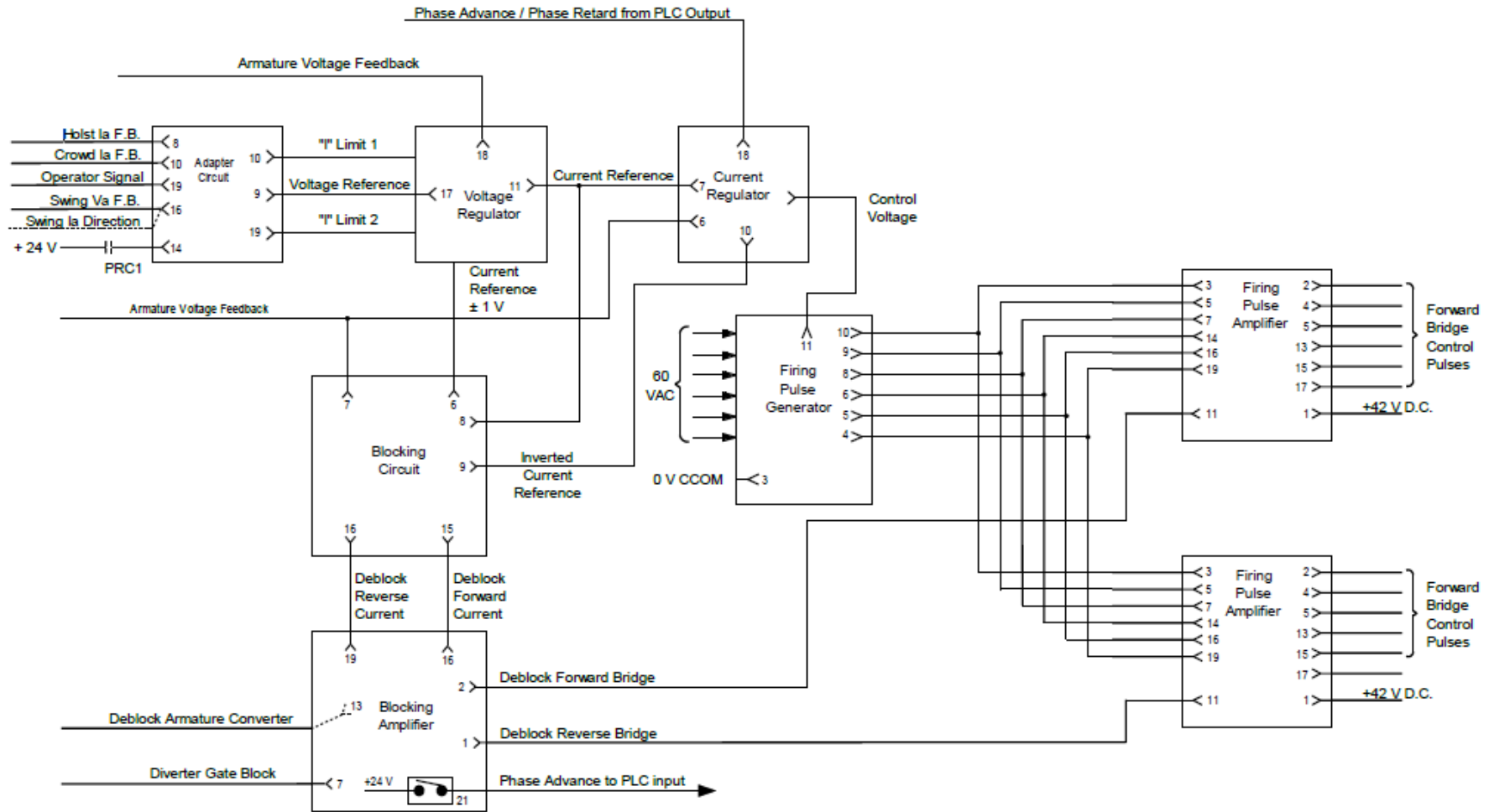
**Fig. 5.37 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de IZAR  
(Hoist Armature Control Frame)**



**Fig. 5.38 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de Empuje/Avance  
(Crowd/Propel Armature Control Frame)**



**Fig. 5.39 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de Giro**  
**Swing Armature Control Frame**



## CAPITULO VI

### SISTEMA DE CONTROL CENTURION

#### 6.1 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL CENTURION EN PALA 04 P&H 4100A



Fig. 6.1 Pala 04 P&H 4100A

Fuente: [Elaboración propia]

La instalación del nuevo Sistema de Control Centurión consistió, en el cambio físico del gabinete de Control, instalación de los gabinetes de Entradas y Salidas (I/O), cambio de los solenoides de grasa en el Cuarto de Lubricación, cambio de la

consola izquierda en la cabina del Operador, retirado de antiguo gabinete de control y sus respectivos cables, así como el re-etiquetado de cables y cableado de gabinetes antes mencionados.

Una vez hecha la instalación física de los componentes, se procedió a la programación de los drives DCS800, del procesador AC800, de los GUIs (interfaz gráfica de usuario) y por último las pruebas del comisionado eléctrico.

A continuación se muestra el funcionamiento del Sistema de Control Centurión en Diagrama de Bloques.



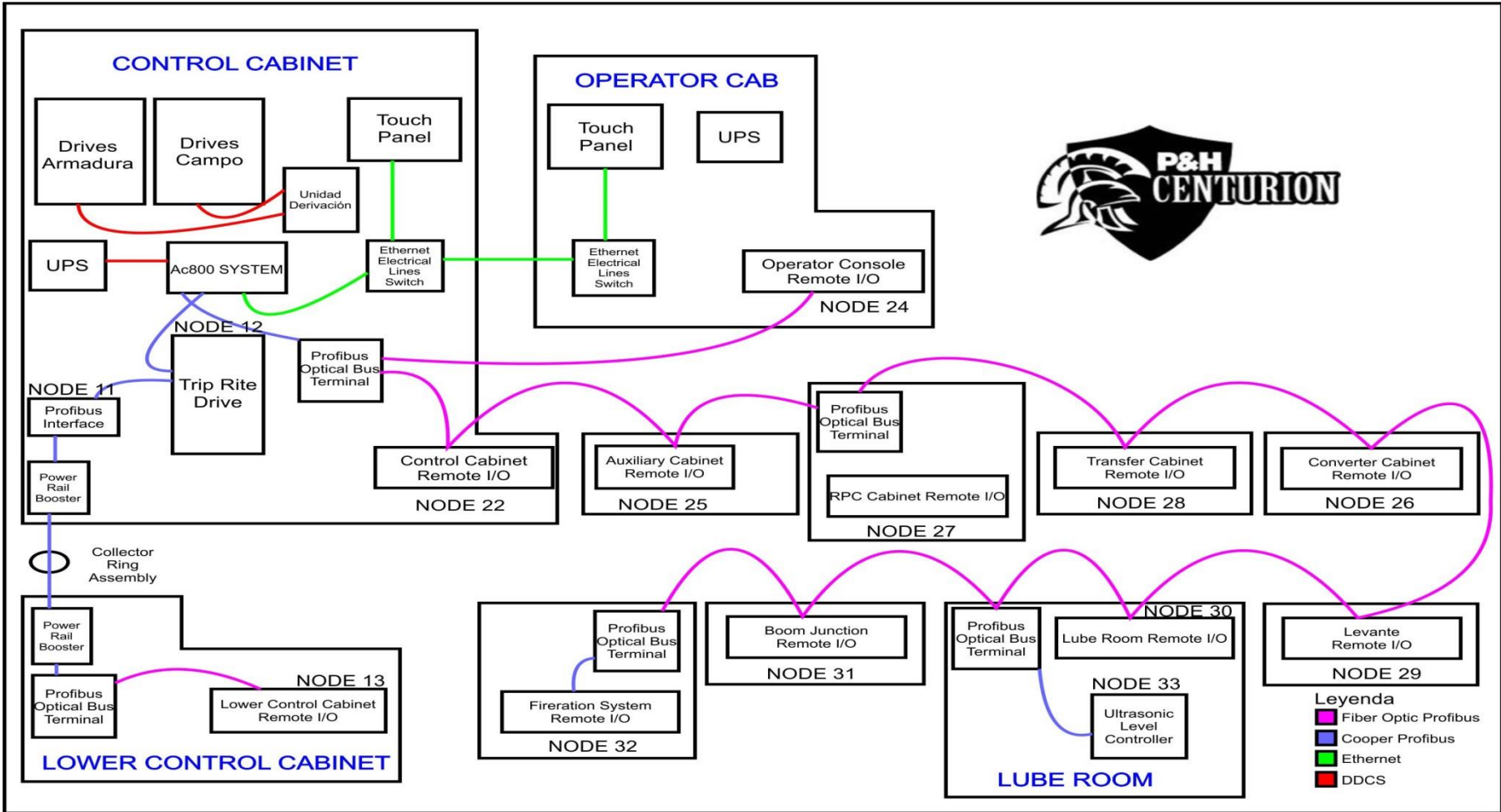


Fig. 6.2 Sistema Centuri3n – Diagrama de Bloques

Fuente: [Elaboraci3n propia]

### 6.1.1. MONTAJE DE LOS GABINETES DE I/O (ENTRADAS Y SALIDAS) Y GABINETE DE SUPRESORES DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR.

Se procedió con la instalación de los gabinetes de I/O y sus conexiones a sus respectivos gabinetes eléctricos a los cuales monitorean, cables de alimentación, control y comunicación de profibus de fibra óptica y de cobre.



Fig. 6.3 Gabinete de I/O de Lubricación

Fuente: [Elaboración propia]



Fig. 6.4 Gabinete de Supresores del transformador auxiliar.

Fuente: [Elaboración propia]

Este gabinete comprende los Circuitos de Supresión que se usan para reducir perturbaciones o muescas en la forma de onda, las cuales pueden afectar negativamente la operación de los equipos, además elimina el efecto capacitivo de las barras de distribución. Los circuitos de supresión son proporcionados por los secundarios del Transformador Principal y el secundario del Transformador Auxiliar de Alimentación del Campo de Levante.

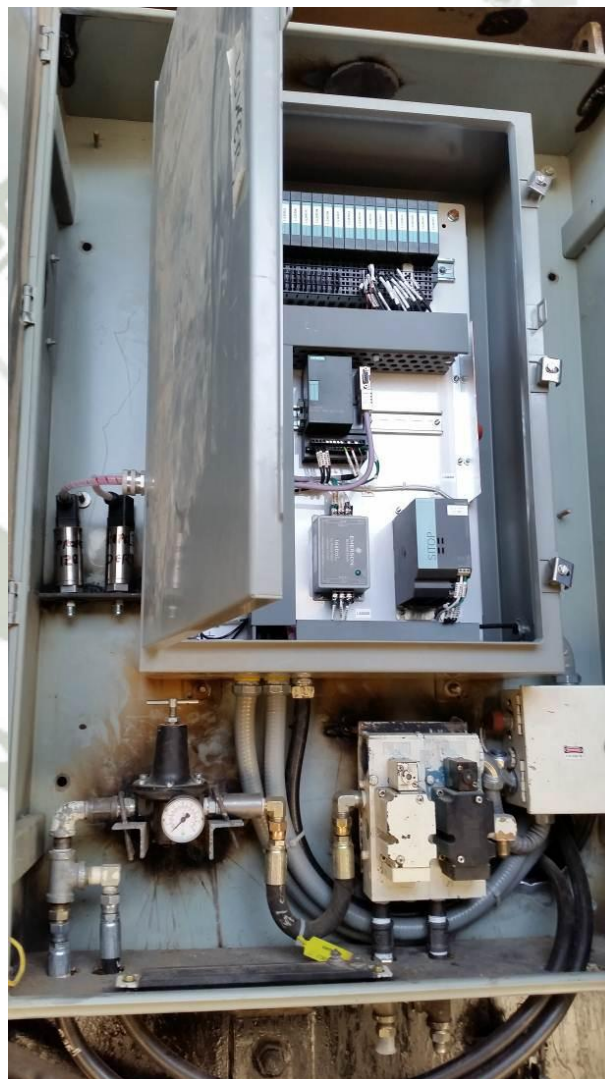


Fig. 6.5 Gabinete de I/O de Lower

Fuente: [Elaboración propia]

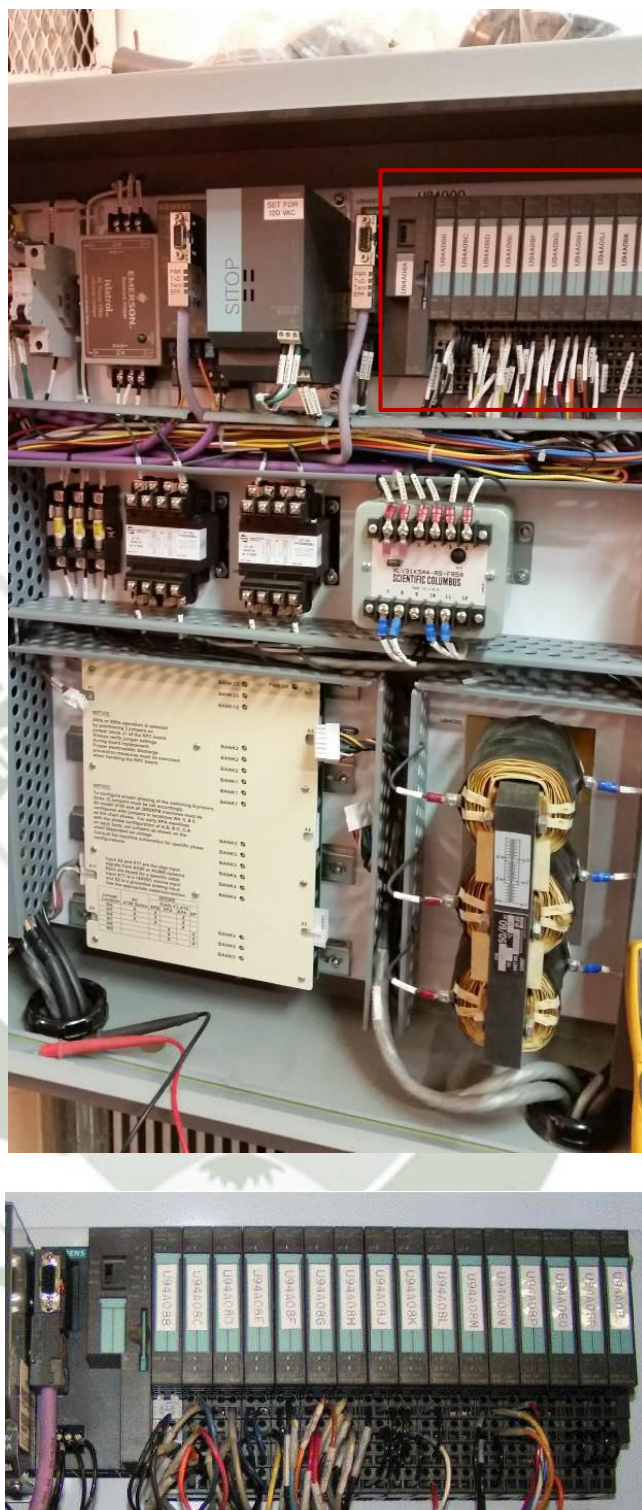


Fig. 6.6 Gabinete de I/O de RPC

Fuente: [Elaboración propia]

Los Módulos de Interface Inteligente y Componentes de I/O comprenden:

- Módulo de interface inteligente: controla la función del RPC.

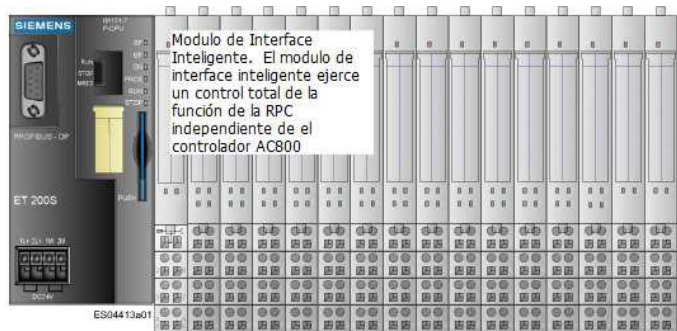


Fig. 6.7 Módulo de interface inteligente

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de alimentación: monitorea el voltaje de todos los módulos.

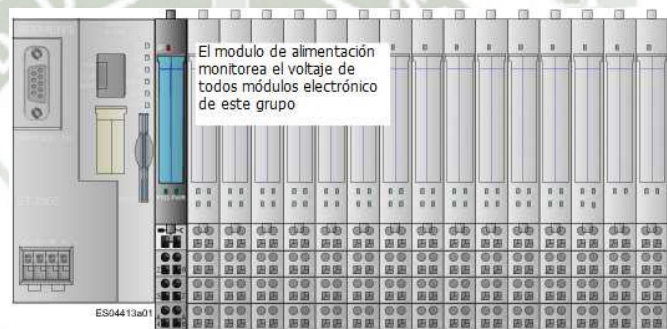


Fig. 6.8 Módulo de alimentación

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de entrada digital: monitorean las entradas digitales de 24VDC.

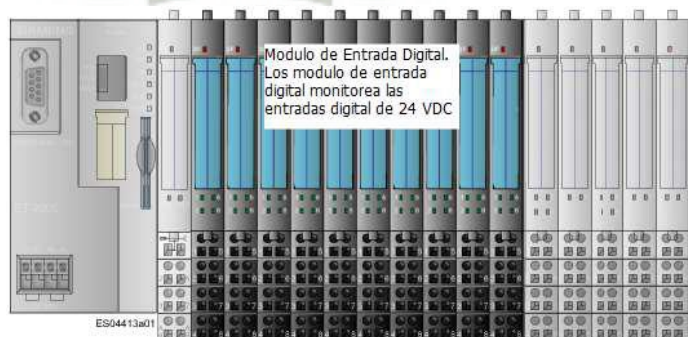


Fig. 6.9 Módulo de entrada digital

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de entrada analógica: procesa la señal del transductor de KVAR.

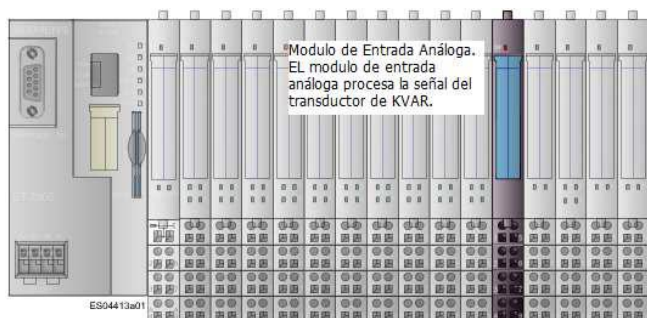


Fig. 6.10 Módulo de entrada analógica

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de salida analógica: provee la señal de activación de bancos de la tarjeta de disparo (señal ON).

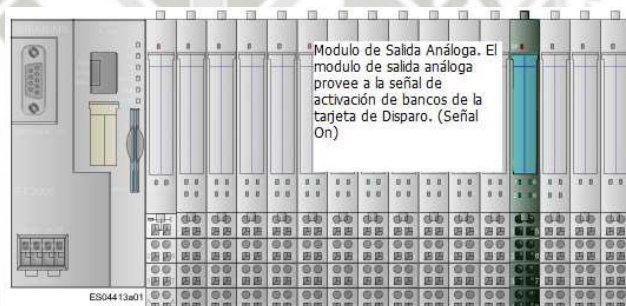


Fig. 6.11 Módulo de salida analógica

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de salida digital: provee la señal digital de 24VDC.

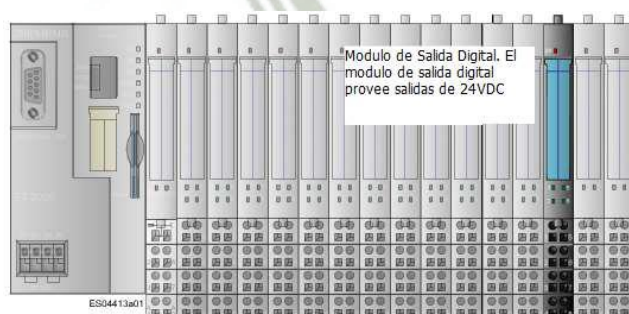


Fig. 6.12 Módulo de salida digital

Fuente: [Elaboración propia]

- Módulo de Relé de salida digital: provee dos salidas con relé digital.

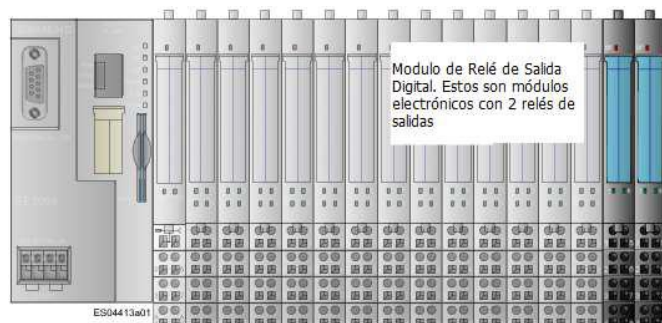


Fig. 6.13 Módulo de Relé de salida digital

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.1.2. CAMBIO DE SOLENOIDES DE AIRE PARA LOS FRENOS Y GRASAS.

Se cambiaron los solenoides de aire para los frenos de empuje, levante y giro así como de los sistemas de grasa de upper grease, lower grease, open gear y spray.

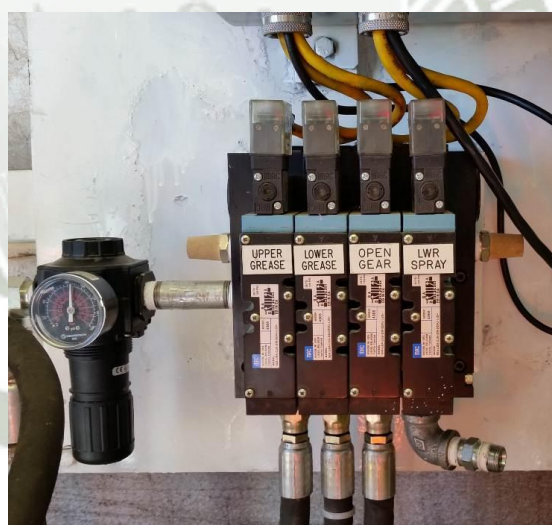


Fig. 6.14 Solenoides del sistema de grasa

Fuente: [Elaboración propia]



Fig. 6.15 Solenoides de los frenos

Fuente: [Elaboración propia]

Para esta pala hay disponibles dos sistemas automáticos de lubricación. Un sistema es fabricado por Lincoln. El otro es fabricado por Farval.

El objetivo básico del sistema de control es encender y apagar cada una de las tres bombas de lubricante a los intervalos requeridos y mantenerlas encendidas durante el tiempo requerido.

Cada sistema tiene recipientes de lubricante, tres bombas de lubricante Lincoln, inyectores de lubricante (Lincoln), o válvulas dosificadoras (Farval), boquillas de rocío, todas las tuberías necesarias y los controles necesarios. Se proporcionan tres bombas para:

- El sistema de grasa superior que proporciona Grasa Multi-Usos (MPG) o Lubricante de Multi-Servicio (MS) para la lubricación del tornamesa, pluma y gantry (pie derecho).
- El sistema de grasa inferior que proporciona Grasa Multi-Usos (MPG) o Lubricante de Multi-Servicio (MS) para la lubricación del sistema de propulsión.
- El sistema de engranaje abierto que suministra Lubricante de Engranaje Abierto (GL) o Lubricante de Multi-Servicio (MS) para lubricar la corona, círculo de polines, piñones de giro, dientes de la cremallera del mango del balde (lápiz del cucharón), piñones del shipper shaft y planchas de desgaste de la corredera (montura)

#### **6.1.2.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

Cuando se presiona el interruptor de encendido en el panel de control del operador, se aplica energía eléctrica al PLC. Cuando los temporizadores en el PLC llegan al tiempo preseleccionado, el PLC energiza las válvulas solenoide de aire en el panel de control para abrirlas y permitir que fluya el aire a una bomba de lubricación operada por aire.

Las bombas neumáticas fuerzan el lubricante a través de una válvula inversora (Farval) o a través de una válvula de venteo (Lincoln) hasta las válvulas dosificadoras (Farval) o inyectores (Lincoln). Las válvulas dosificadoras, los inyectores y las válvulas de rociado aplican una cantidad medida de lubricante a

los diferentes puntos de lubricación en el sistema.

Después de aplicado el lubricante, la presión del sistema aumenta hasta que llega a la presión requerida para disparar el interruptor de presión en sistemas Lincoln o el pistón auxiliar de la válvula inversora cargada por resorte en sistemas Farval, des energizando las válvulas solenoide.

### 6.1.3. CAMBIO DE GABINETE DE CONTROL.

Se realizó el cambio del gabinete de control antiguo por el nuevo de control Centurión.



Fig. 6.16 Gabinete de control

Fuente: [Elaboración propia]

Este gabinete trae instalado dentro, el procesador AC800, los 04 drives DCS800 (convertor de corriente continua) de Armadura, 03 drives DCS800 de campo, y la pantalla táctil (GUI).

## **EL PROCESADOR AC800**

A diferencia del PLC Allen-Bradley SLC-5/04, el procesador AC800 de la marca ABB permite contar con protección IP20 (Protección contra objetos sólidos con un diámetro de hasta 12,5 mm); además, certificado EMC (cuenta con mecanismos para eliminar, disminuir y prevenir los efectos de acoplamiento entre un equipo eléctrico o electrónico y su entorno electromagnético).

Por medio de la Interfase de Comunicación CI854 el procesador AC800 accede a la red Profibus DP-V1, actuando como Master logrando el control de hasta 124 esclavos; con una velocidad de 12 Mbit /s y un total de 4000 bytes de I/O para la comunicación cíclica a una de respuesta de ciclo cercano a 1 ms.

El PLC SLC-5/04 puede procesar 960 señales de entrada y salida discretas, mientras que el procesador AC800 tiene la posibilidad de procesar 1340 señales de entrada y salida por medio del módulo de fibra óptica.

### **6.1.4. VERIFICACIÓN DEL CIRCUITO DE COMUNICACIÓN FIBRA OPTICA.**

Para la comunicación entre el procesador AC800, la Branching Unit y los Drives de control se utilizó el cable de fibra óptica Typo A, que permite el procesamiento de señales por PROFIBUS DP-V1.

Se verificó la continuidad del lazo de fibra óptica con emisión de luz (se emite luz a través de la fibra y su resultado se recoge en el extremo de la misma, permitiendo medir la diferencia entre la luz emitida y la recibida) según esquemático eléctrico, tanto en la comunicación con el AC800 (canal 0), como con el canal 03 para Servicio/Mantenimiento.



Fig. 6.17 Verificación de las fibras ópticas en los Drives DCS800

Fuente: [Elaboración propia]

La unidad de Drives DCS800 cuenta con Entradas digitales: 8 estándar, hasta 14 opcionales, Salidas digitales: 8 estándar, hasta 12 opcionales, Entradas analógicas: 4 estándar  $\pm 10$  V; 0/2...10 V, hasta 8 opcionales  $\pm 20$  mA; 0/4...20 mA, y Salidas analógicas: 3 estándar (1x Iact)  $\pm 10$  V; 0/2...10 V, hasta 7 opcionales  $-20$  mA; 0/4...20 mA

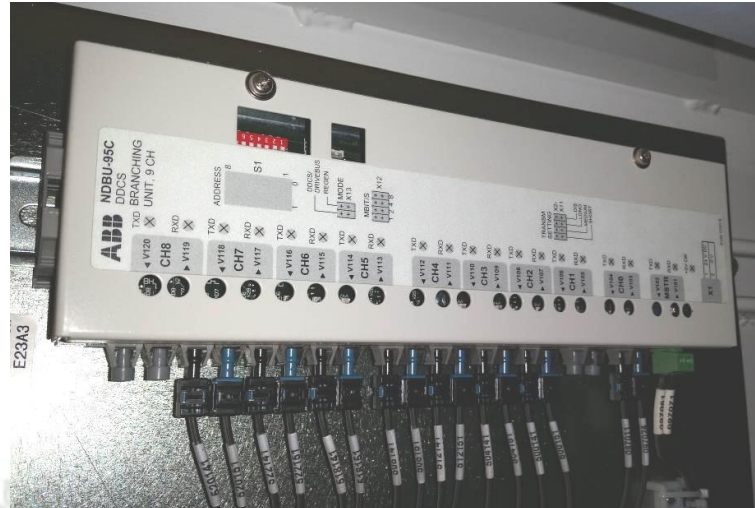


Fig. 6.18 Verificación de las fibras ópticas en la Branching Unit.

Fuente: [Elaboración propia]

La Branching Unit se encarga de transmitir la información entre el procesador AC800 y los drives de campo y armadura para el control de los distintos movimientos de la Pala.

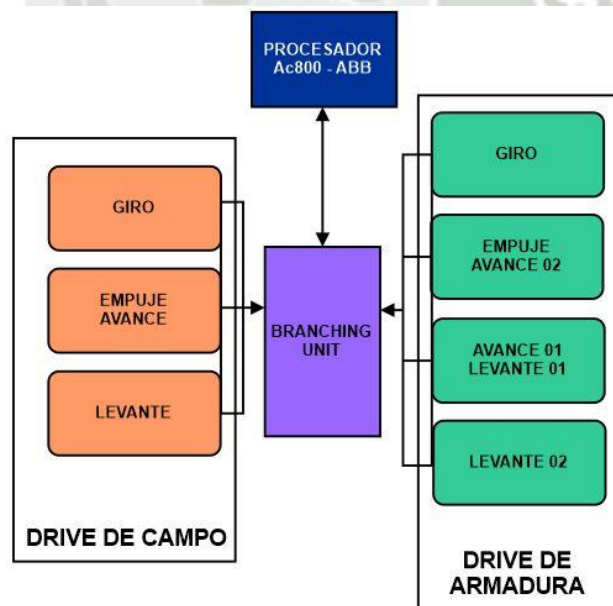


Fig. 6.19 Branching Unit.

Fuente: [Elaboración propia]



Fig. 6.20 Verificación de la continuidad de la fibra óptica mediante haz de luz

Fuente: [Elaboración propia]

#### 6.1.5. PROGRAMACIÓN DE MEMORIAS EN GUIs.

Se programaron los discos C (Versión 4.7) y D (Versión 4.10) de cada pantalla táctil (GUI) tanto en el cuarto de Control y en la cabina del Operador. En el Disco D, se encuentra el programa del Control Centurión (Versión 4.13).



Fig. 6.21 Programación de los discos C y D de los 02 GUIs DUROS de la pala

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.1.6. PROGRAMACIÓN DEL PROCESADOR AC800 modelo PM864A.

Se procedió a programar el procesador AC800 con los archivos del Control Centurión.



Fig. 6.22 Procesador AC800

Fuente: [Elaboración propia]

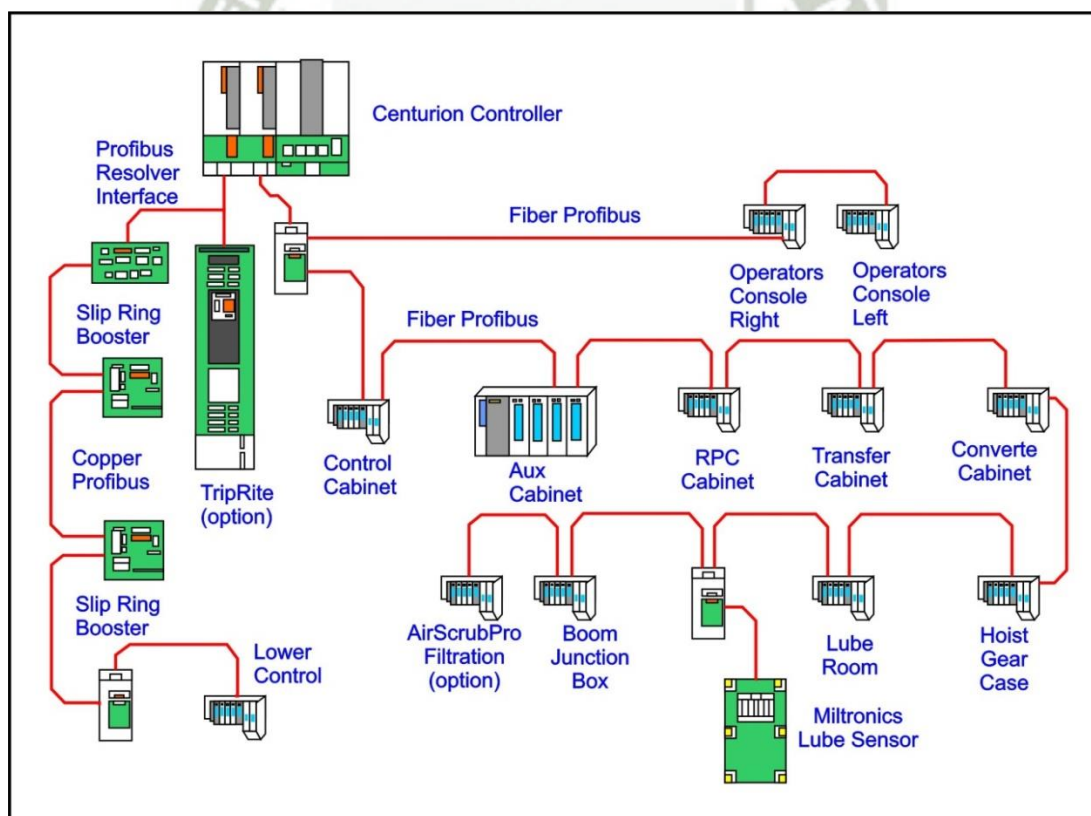


Fig. 6.23 Proceso de comunicación AC800

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.1.7. PROGRAMACIÓN DE LOS DRIVES DE ARMADURA Y CAMPO.

Se programaron los 04 drives de armadura y 03 drives de campo, se descargó firmware, texto, programa CoDeSys (drives de Armadura) y los parámetros para cada drive según los motores instalados en la pala.



Fig. 6.24 Drives de Armadura

Fuente: [Elaboración propia]



Fig. 6.25 Drives de Campo

Fuente: [Elaboración propia]

- **Sistema Empuje (Crowd)**
  - Motor (01) – Transmisión (individual)
  - Drive Armadura (compartido): Crowd / Propel #2
  - Drive de Campo (compartido): Crowd /Propel
  
- **Sistema Giro (Swing)**
  - Motor (03) – Transmisión (individual)
  - Drive Armadura (Exclusivo)
  - Drive de Campo (Exclusivo)
  
- **Sistema Levante (Hoist)**
  - Motor (02) – Transmisión (Compartida)
  - Drive Armadura: Hoist #1 / Propel#1 (Compartido), Hoist #2 (Exclusivo)
  - Drive de Campo (Exclusivo)
  
- **Sistema Propulsión (Propel)**
  - Motor (02) – Transmisión (Individual)
  - Drive Armadura: Hoist #1 / Propel #1 (Compartido), Crowd / Propel #2 (Compartido)
  - Drive de Campo (Compartido): Crowd /Propel

#### **6.1.7.1. OPERACIÓN DRIVE**

Para reducir la velocidad, por bajo su velocidad base, se disminuye el voltaje de armadura gradualmente, manteniendo la corriente estable. Este modo se llama de Torque Constante.

Para aumentar su velocidad por sobre la nominal, ya que no puede aumentar el voltaje Nominal, se baja la intensidad del Campo, a esto se le llama debilitamiento de campo y el modo de trabajo es Modo Horsepower. La disminución del Torque será inversamente proporcional al aumento de velocidad.

#### **6.1.7.2.SISTEMA CODESYS**

CoDeSys es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3 más comunes para PLCs y reguladores industriales. Permite programar autómatas de diferentes fabricantes, así como generar código para algunos microprocesadores y DSPs.

Soporta los cinco lenguajes de programación del estándar, dispone de visualización integrada, además de un simulador offline. Se trata de un software de programación abierto que puede ser descargado de manera gratuita por medio de la página del fabricante.

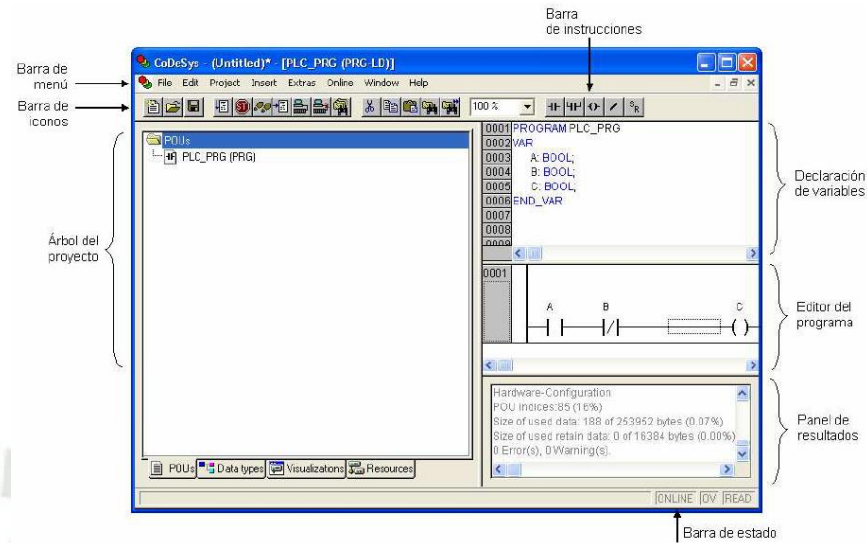


Fig. 6.26 Menú de trabajo de CodeSys.

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.1.8. PRUEBAS DE COMISIONADO ELÉCTRICO.

Se realizaron pruebas de Control, Auxiliares, RPC, calibración de diverters, pruebas de Campo, Armadura y pruebas dinámicas de la Pala.

Durante estas pruebas se reconfirmaron las características de los motores como voltajes/corrientes Campo y armadura, así como el correcto giro de los ventiladores de los motores.

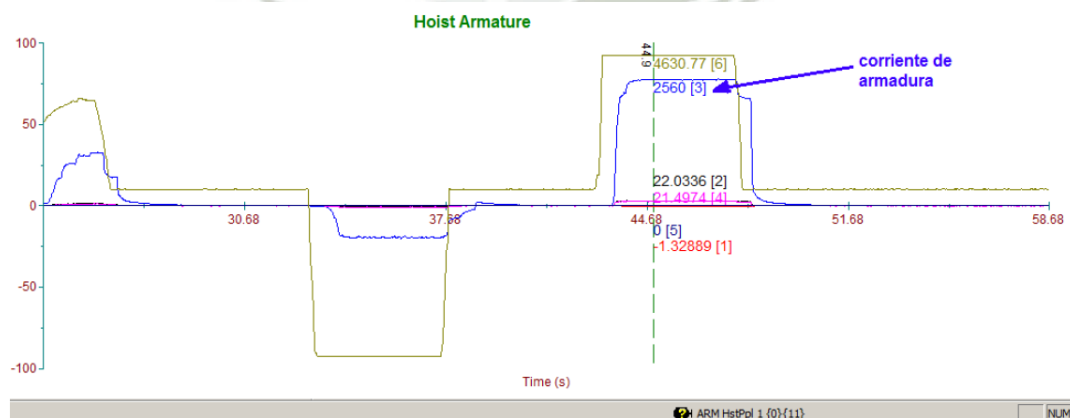


Fig. 6.27 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Hoist (Levante).

Fuente: [Elaboración propia]

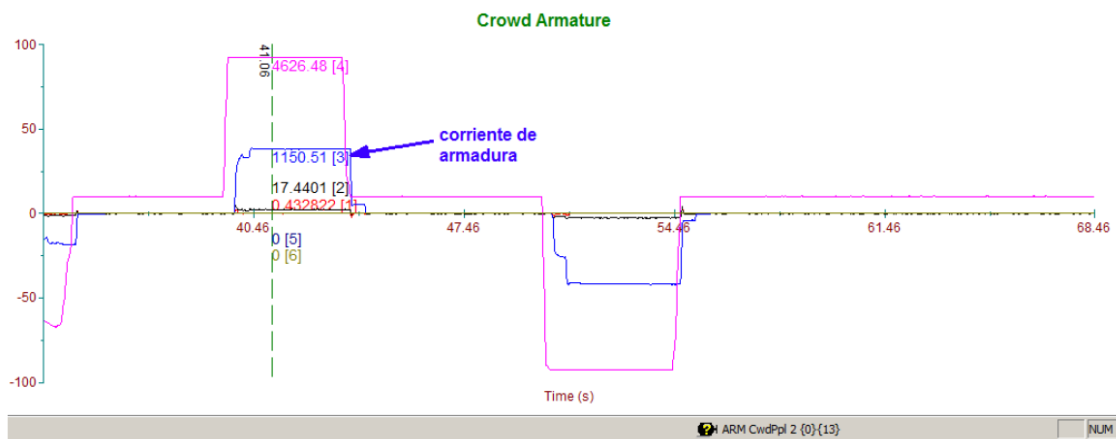


Fig. 6.28 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Crowd (Empuje).

Fuente: [Elaboración propia]

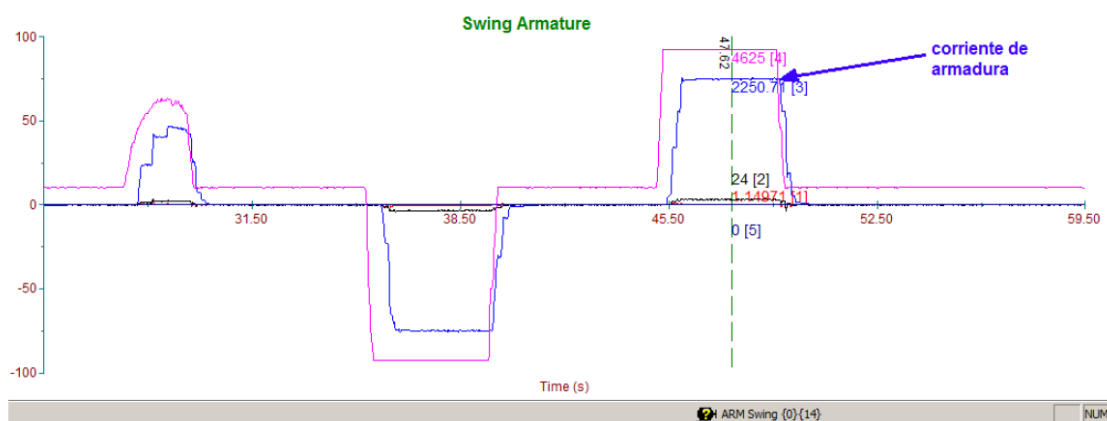


Fig. 6.29 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Swing (giro).

Fuente: [Elaboración propia]

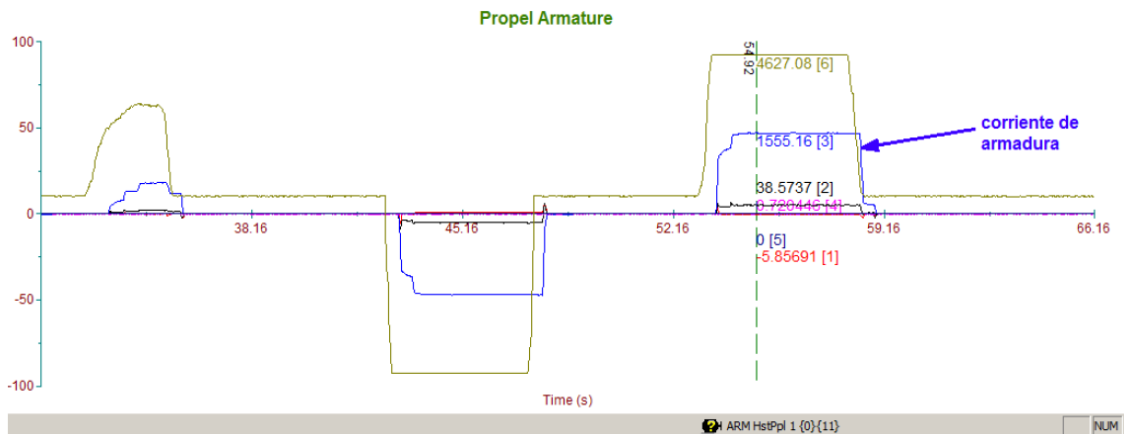


Fig. 6.30 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Propel (propulsión).

Fuente: [Elaboración propia]

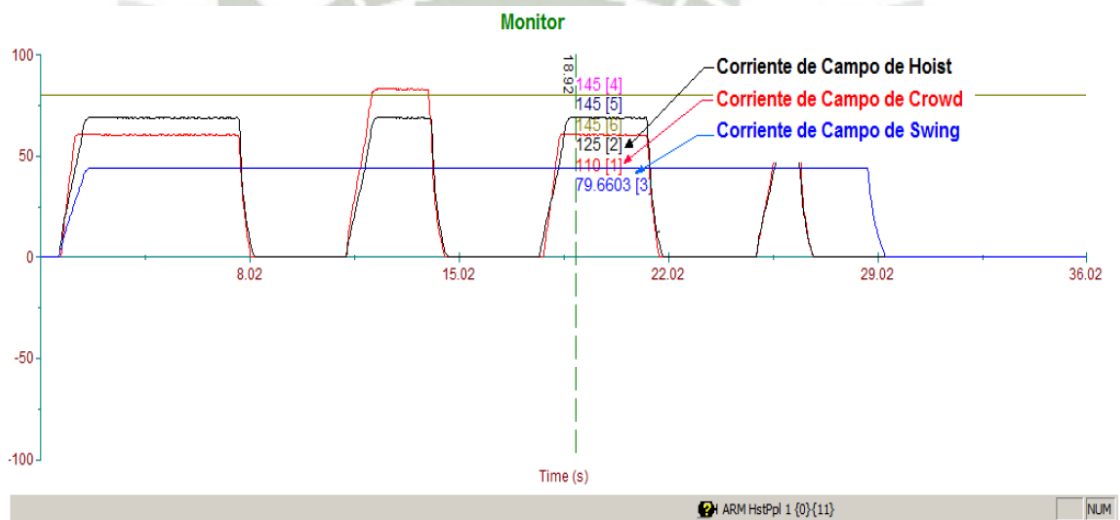


Fig. 6.31 Gráfica de la prueba de campos de todos los movimientos

Fuente: [Elaboración propia]

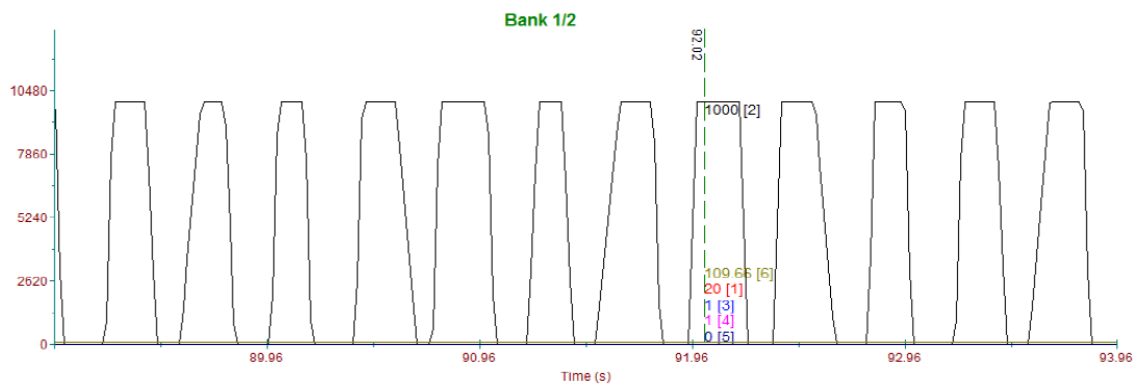


Fig. 6.32 Gráfica de la prueba de RPC banco 1/2

Fuente: [Elaboración propia]

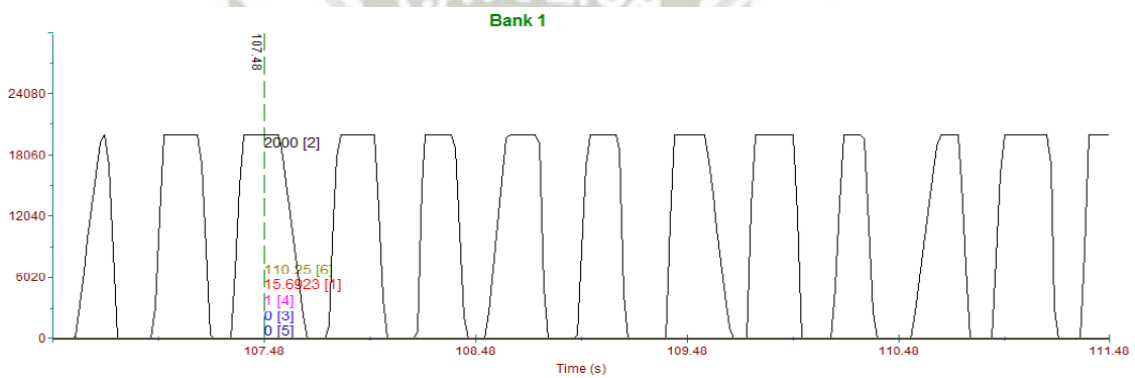


Fig. 6.33 Gráfica de la prueba de RPC banco 1.

Fuente: [Elaboración propia]

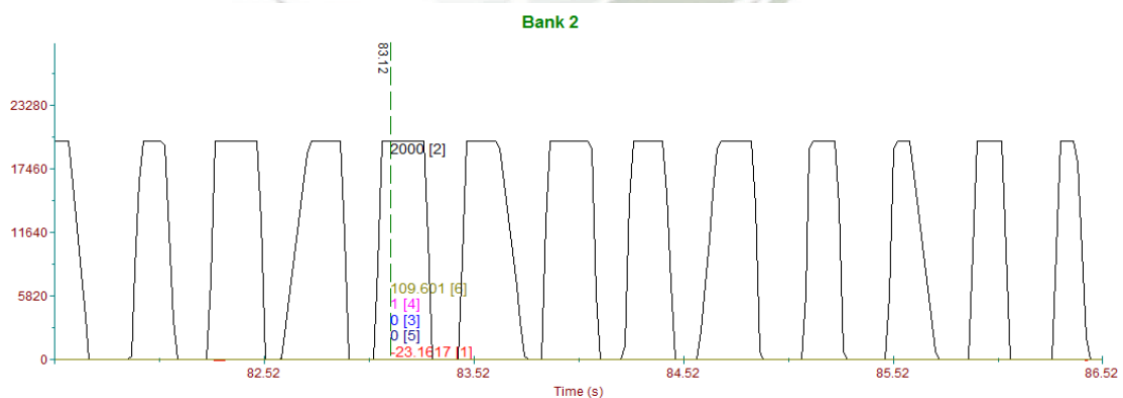


Fig. 6.34 Gráfica de la prueba de RPC banco 2.

Fuente: [Elaboración propia]

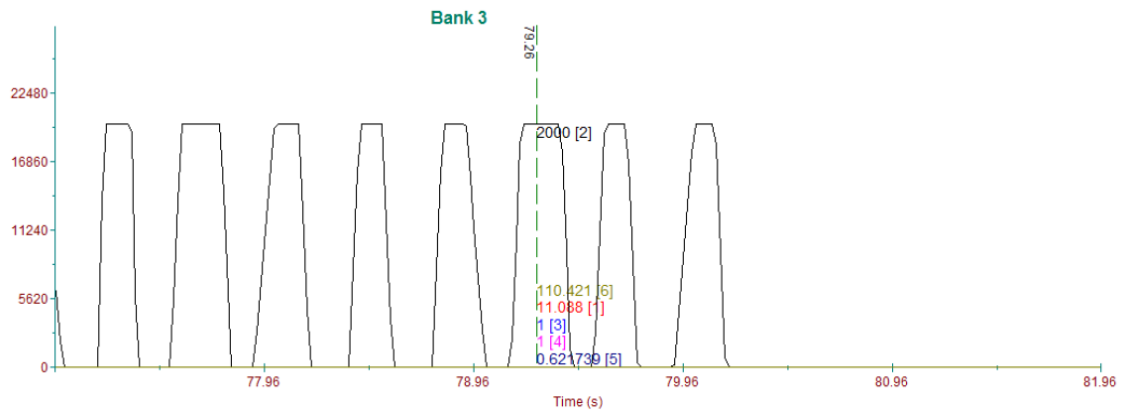


Fig. 6.35 Gráfica de la prueba de RPC banco 3.

Fuente: [Elaboración propia]

Se realizaron las calibraciones de las tarjetas de Diverter en el gabinete de Convertidores.

### 6.1.9 CIRCUITO DIVERTER (DPR)

Sistema de protección contra sobre-corriente principalmente para el Motor. El Circuito del Diverter bloquea la conducción de los SCR y además proporciona una ruta para disipar el campo magnético acumulado en la armadura del motor.

El ajuste del Circuito diverter se realiza al 140% de corriente de Armadura en Stall (Motor con eje Bloqueado), este ajuste con el tiempo varía, así como varía la condición del motor.

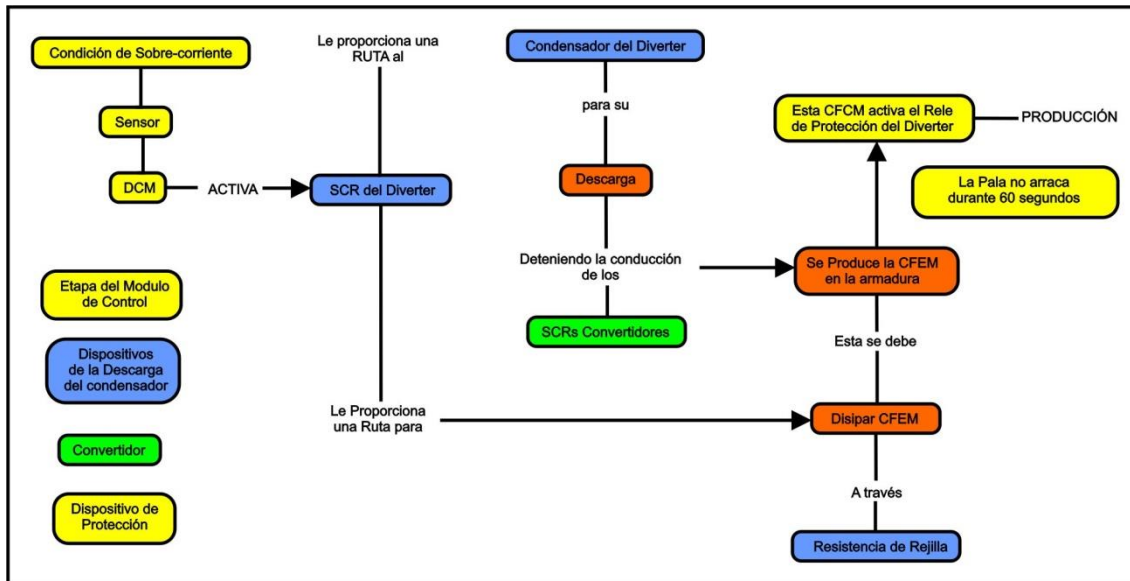


Fig. 6.36 Circuito Diverter – Diagrama de bloques

Fuente: [Elaboración propia]

Funcionamiento:

- Cuando los SCR del Convertidor dejan de conducir, el motor pierde flujo de corriente. Puesto que la armadura del motor es una bobina, su característica inherente es oponerse a cualquier cambio en el flujo de corriente. Para evitar esta pérdida en el flujo de corriente, la armadura del motor invierte la polaridad y el campo magnético a lo largo de la armadura del motor se descarga a través del SCR del Diverter y se disipa a través de la Resistencia de Rejilla del Diverter. La armadura colapsante del motor se disipa a través del Relé de Protección del Diverter (DPR) haciendo que este se energice.
- Los contactos normalmente abiertos asociados al DPR, se cierran, proporcionando una entrada al Sistema de I/O Remota en el Gabinete del Convertidor. Esta entrada es percibida por el Controlador. La Lógica del Programa del Controlador inicia una detención instantánea y evita que la pala arranque por 60 segundos con posterioridad al disparo del Diverter. Los

diodos Zener a lo largo del DPR regulan la caída de voltaje a lo largo del DRP hasta 50VDC.

Se registran los siguientes valores para cada movimiento:

- Hoist: 5,30 VDC, se dejó calibrado (140%) a 7,42 VDC.
- Crowd: 2,7 VDC, se dejó calibrado (140%) a 3,78 VDC.
- Swing: 4,9 VDC, se dejó calibrado (140%) a 6,86 VDC.

Así mismo se realizaron las pruebas, comprobando que la ruta de descarga de los condensadores de la protección del Diverter ante una sobre-corriente en algún motor funciona.

Todas las pruebas durante el comisionado eléctrico salieron satisfactorias.

## **6.2. DIAGNÓSTICO DE FALLAS POR MEDIO DE SISTEMA CENTURION**

### **6.2.1. INTERFASE DE USUARIO**

La pantalla touch panel, ha sido un apoyo hacia el operador facilitando su fácil uso y entendimiento del estado en que se encuentra la pala; así mismo, permite al personal de mantenimiento diagnosticar rápidamente la falla en el equipo por medio de varios niveles de información.

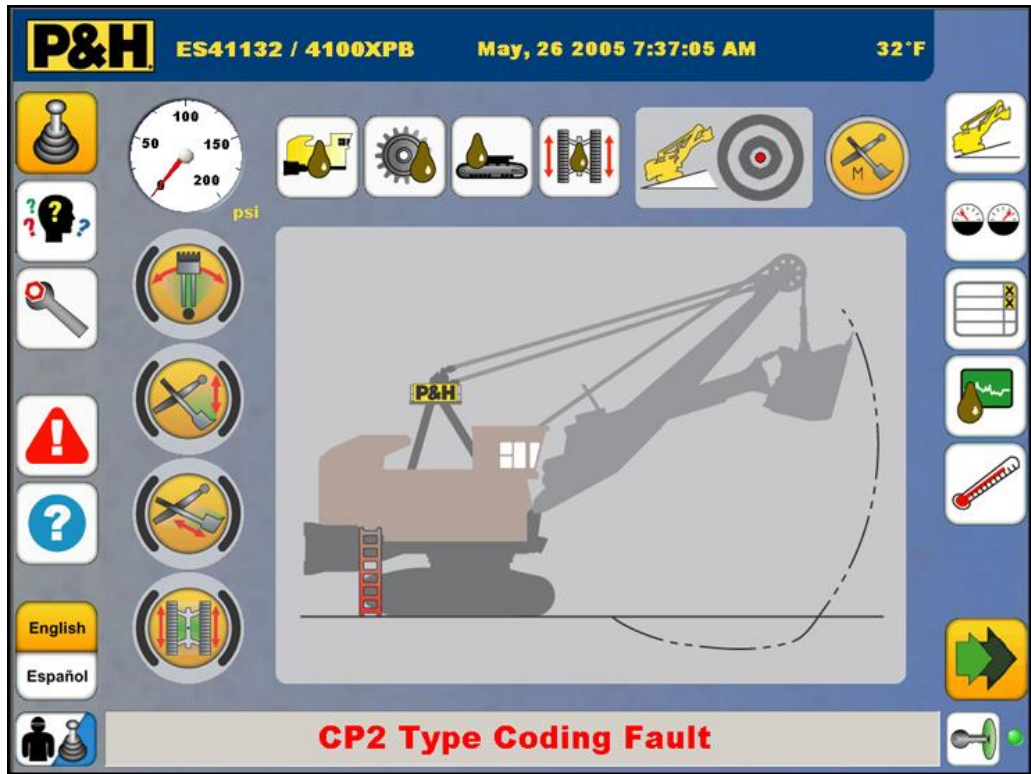


Fig. 6.37 Pantalla del touch panel.

Fuente: [Elaboración propia]

La pantalla touch panel se usa en control y monitoreo del equipo.



Fig. 6.38 Cabina del operador – Touch panel

Fuente: [Elaboración propia]



Fig. 6.39 Sala de máquinas – Touch panel

Fuente: [Elaboración propia]

## 6.2.2. PANTALLA DE SISTEMA CENTURION

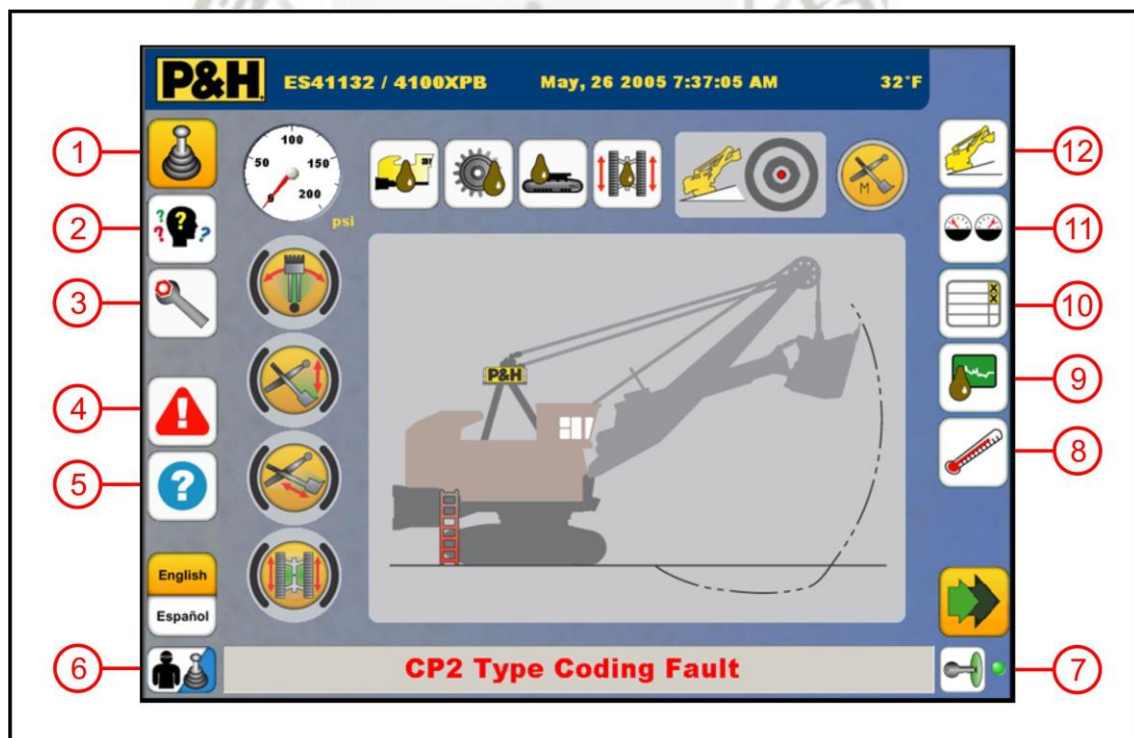


Fig. 6.40 Distribución de pantalla del Touch panel

Fuente: [Elaboración propia]

La pantalla con sistema centurión se ha dividido en varias secciones.

- Pantalla de operación ( 1 )
- Pantalla de diagnóstico ( 2 )
- Pantalla de configuraciones ( 3 )
- Pantalla actividades ( 4 )
- Pantalla de ayuda ( 5 )
- Personal ( 6 )

Operador



Ingeniero



Mantenimiento



Minepro



- Llave en PLC ( 7 )

Esto le informa al operador que no hay llave en Plc/lubricación



Esta le indica al operador que hay llave en el Plc/lubricación



- Pantalla de monitoreo de temperatura ( 8 )

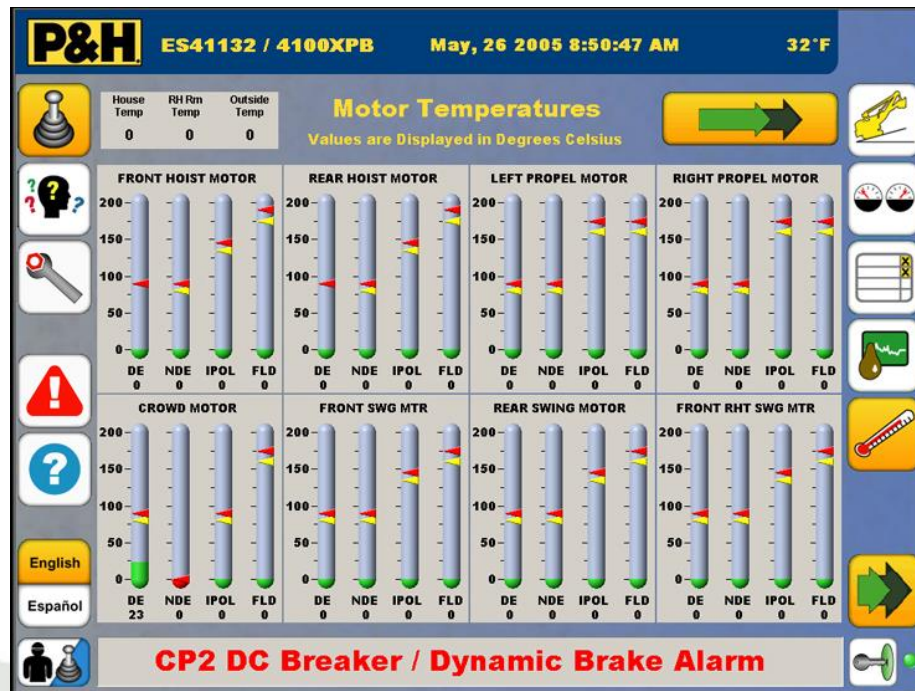


Fig. 6.41 Pantalla de monitoreo de temperatura

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de estado del sistema de lubricación de la Pala (9)

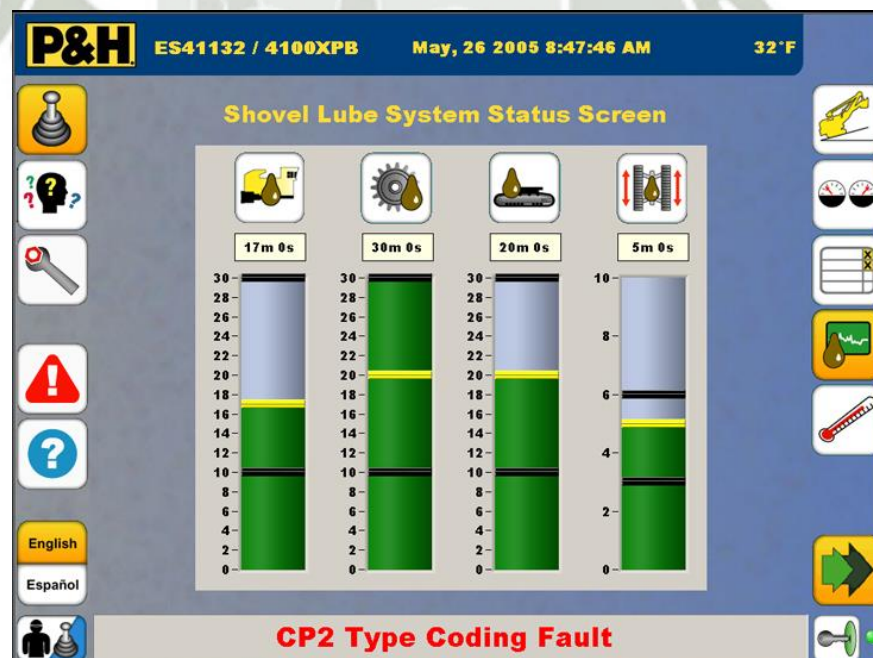


Fig. 6.42 Pantalla de estado del sistema de lubricación

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de permisos de arranque de la Pala ( 10 )

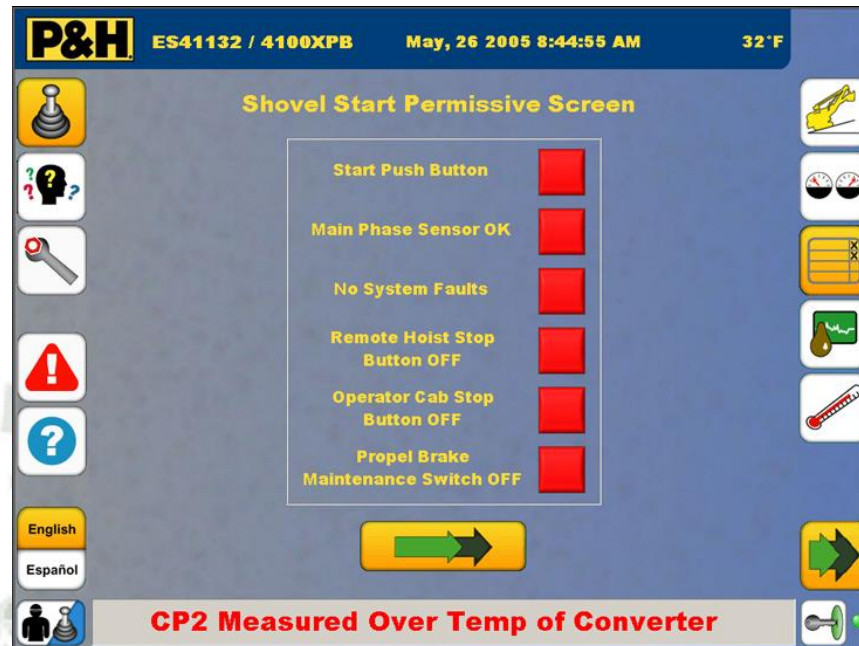


Fig. 6.43 Pantalla de permisos de arranque

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de valores del display de operación de la Pala ( 11 )

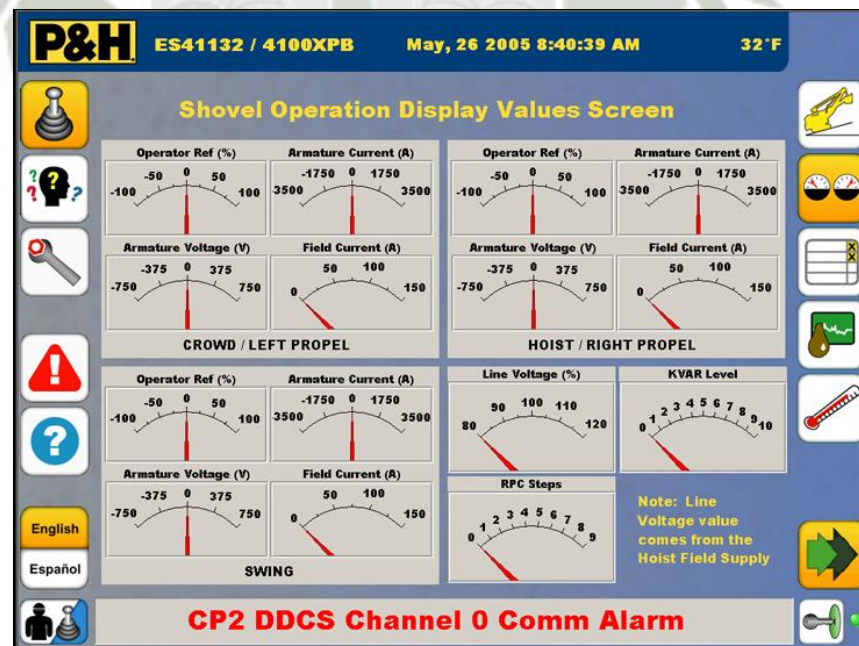


Fig. 6.44 Pantalla de operación de la Pala

Fuente: [Elaboración propia]

- Inclinación de la Pala ( 12 )

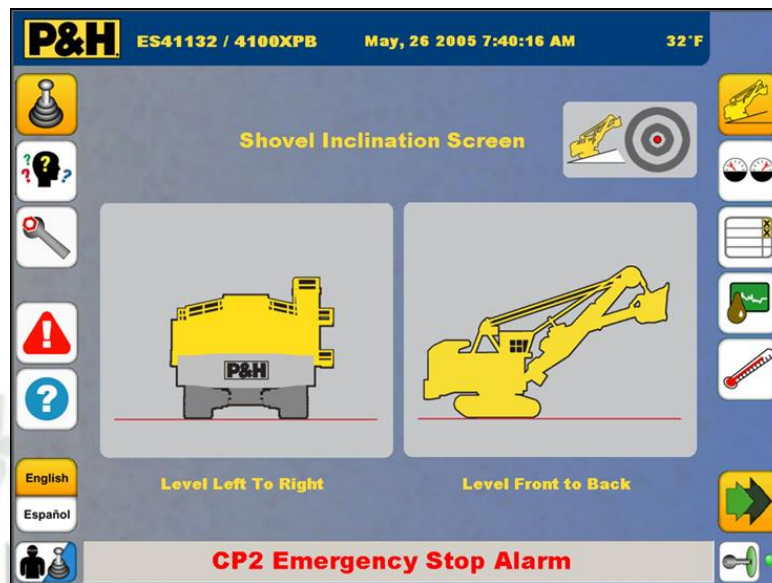


Fig. 6.45 Pantalla de inclinación de la Pala

Fuente: [Elaboración propia]

- El panel display le entrega al operador diferentes estados:
  - o Escalera de acceso si está arriba o abajo.
  - o Ventilador de sala a maquina
  - o Alarma de empuje y/o levante
  - o Alarma de Boom jacking

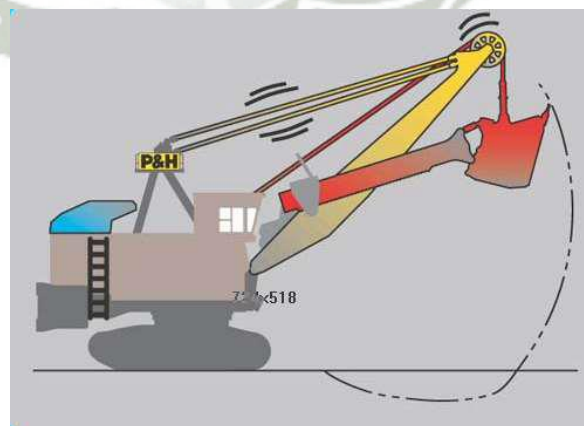


Fig. 6.46 Panel Display de estado

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.2.3. FUNCIONES DE DIAGNOSTICO

Al tocar el signo de diagnóstico aparecerá esta pantalla.

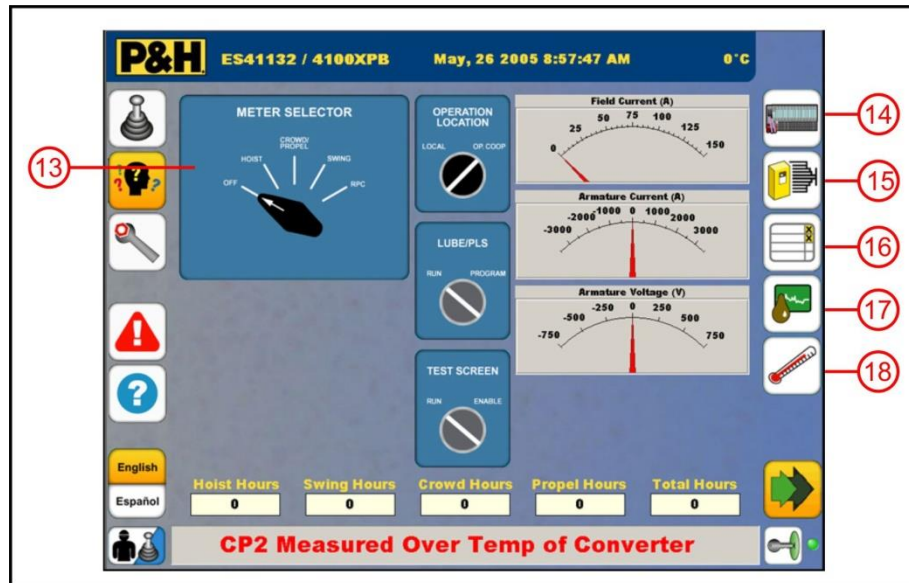


Fig. 6.47 Pantalla de funciones diagnóstico

Fuente: [Elaboración propia]

- Selector de Medidor ( 13 )
- Pantalla diagnóstico de I/O ( 14 )

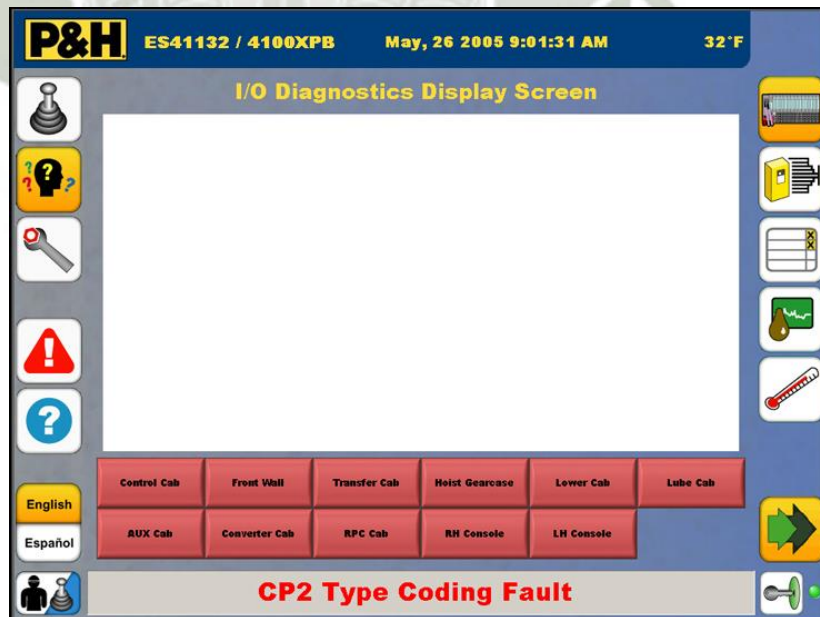


Fig. 6.48 Pantalla de diagnóstico

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de información de la pantalla DDCS de la Pala. ( 15 )

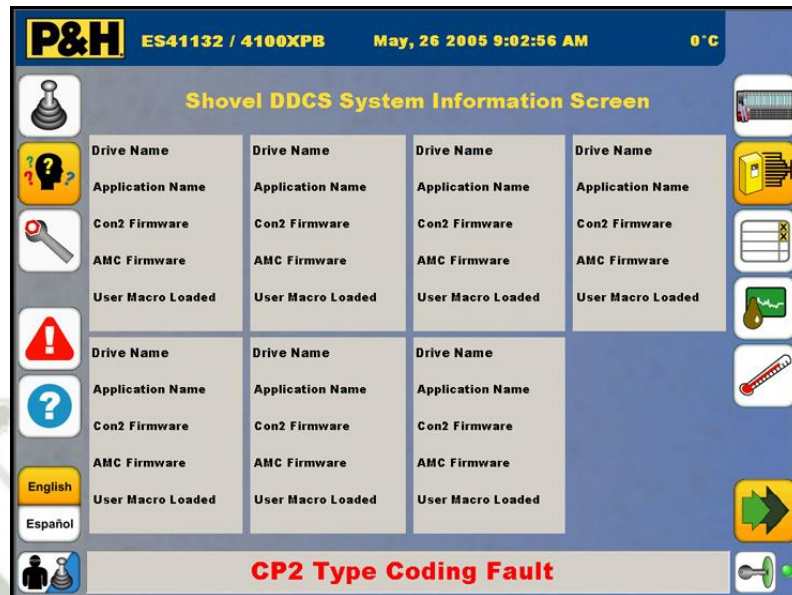


Fig. 6.49 Pantalla de información DDCS

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de permisos de arranque de la Pala. ( 16 )

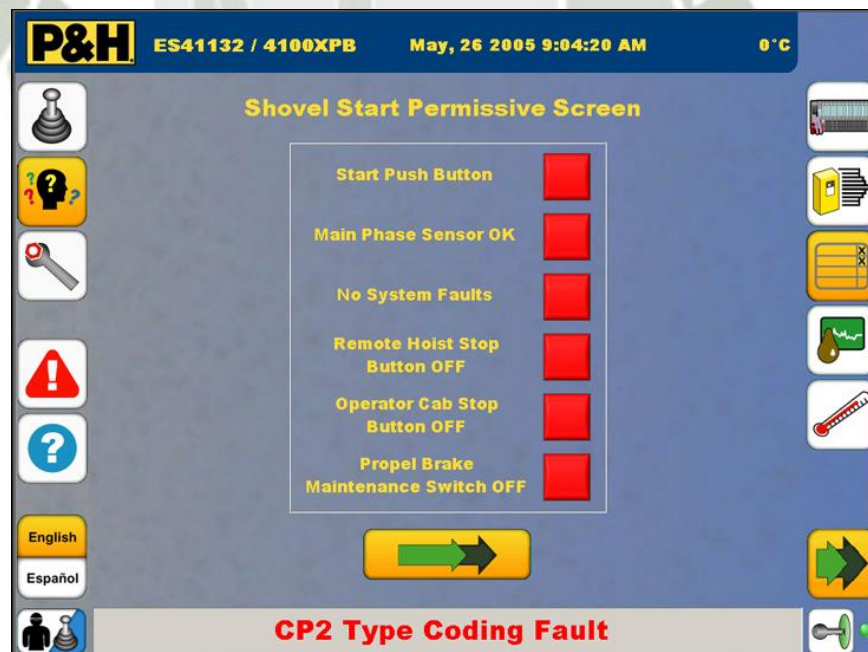


Fig. 6.50 Pantalla de permisos de arranque

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de estado lubricación ( 17 )

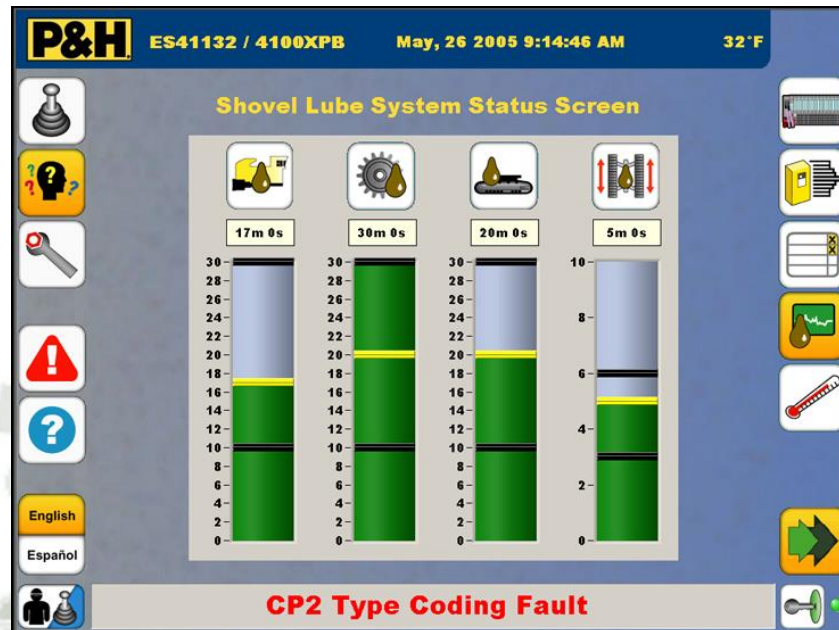


Fig. 6.51 Pantalla de estado de lubricación

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de monitoreo de temperatura de la Pala ( 18 )

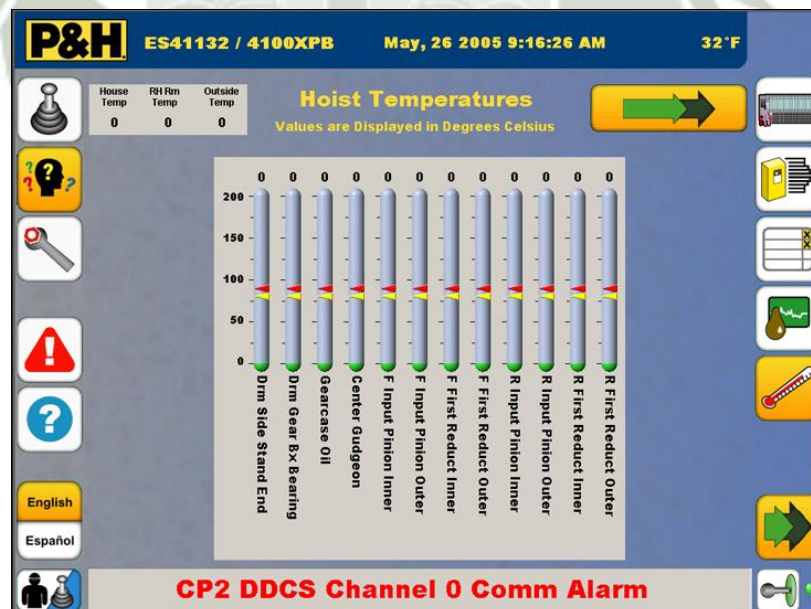


Fig. 6.52 Pantalla de monitoreo de temperatura

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de información de los motores de la Pala ( 19 )

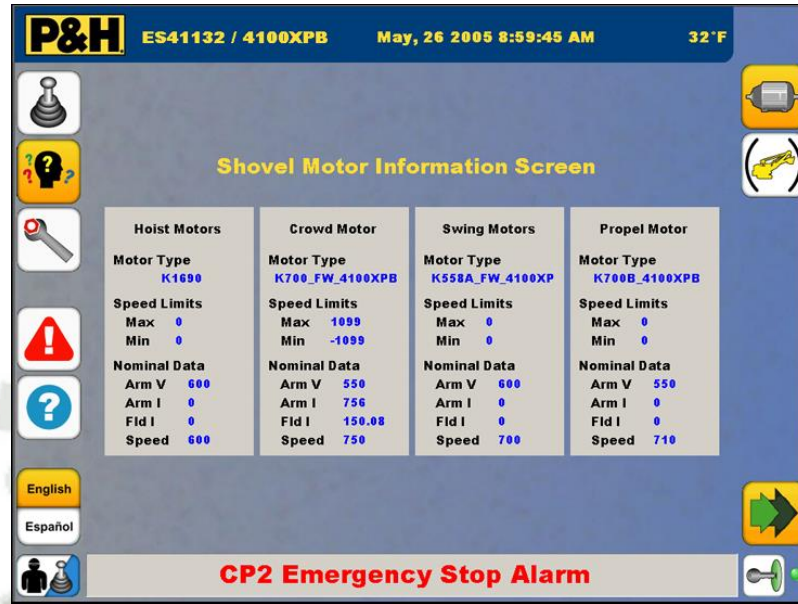


Fig. 6.53 Pantalla de información de motores

Fuente: [Elaboración propia]

- Pantalla de diagnóstico del sistema de frenos de la Pala ( 20 )

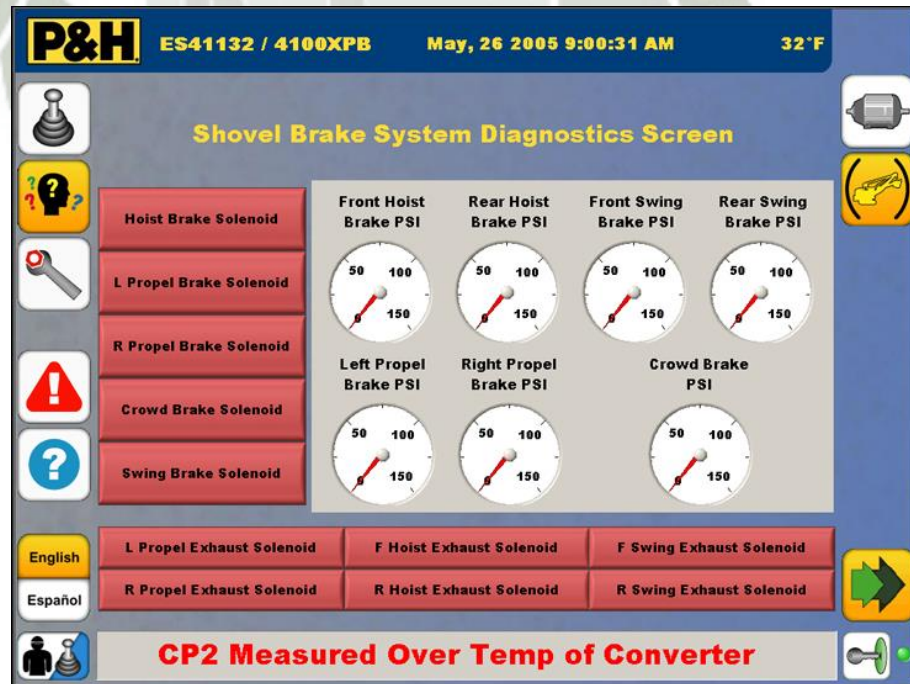


Fig. 6.54 Pantalla de diagnóstico de frenos

Fuente: [Elaboración propia]

### 6.3 SISTEMA CENTURION VS SISTEMA ELECTROTORQUE

En la tabla siguiente se muestran las diferencias entre el Sistema Electrotorque, Sistema Electrotorque Plus y Sistema de Control Centurión.



Fig. 6.55 Evolución de los sistemas de control en la Pala

Fuente: [Referencia electrónica]

Característica	Sistema de Control Centurión	Sistema de Electrotorque
<b>DC Digital Drive</b> Reemplaza el sistema análogo obsoleto con un drive digital	✓	✓
<b>Extended Speed Range</b> Incrementa la velocidad del motor	✓	✓
<b>Dynamic Field Weakening</b> Variable dinámica de velocidad y torque	✓	✓
<b>OPC Compliant GUI</b> Mejorado método de extracción de datos	✓	
<b>Test Modes with Motivator Mode</b> Reduce el tiempo de falla y el tiempo de configuración para el movimiento de la Pala	✓	
<b>Opti-Dig</b> Previene estancamiento en el banco, reduciendo la sobre carga de temperatura en el motor	✓	
<b>RPC Bank Rotation</b> Rotación de RPC bancos, reduciendo la carga de temperatura en los bancos	✓	
<b>Cycle State Engine</b> Medición y reportes de ciclos de trabajo en tiempo real	✓	
<b>Advanced Power Monitoring</b> Permite información de monitoreo por medio de la interfaz del operador	✓	
<b>RPC Advanced Diagnostics</b> Sistema de detección y diagnóstico de fallas. Sistema RPC optimizado	✓	
<b>ARC Flash Detection</b> Incorpora protección ARC a los gabinetes eléctricos	✓	

<p><b>Payload System with Cycle State Engine</b> Carga y acarreo de cucharón con ciclo optimizado</p>	<p>√</p>	
---	----------	--

Tabla 6.1 Tabla diferencias Sistema de control

Fuente: [Elaboración propia]

La productividad también llamado rendimiento, expresa las toneladas removidas por hora del equipo en mención. Este índice es el más importante, porque demuestra que la Pala carga los volquetes con mayor velocidad, logrando un mejor rendimiento utilizando el Sistema de Control Centurión.

En el gráfico se muestra un aumento en el rendimiento de la Pala P& H 4100 con el Sistema de Control Centurión.

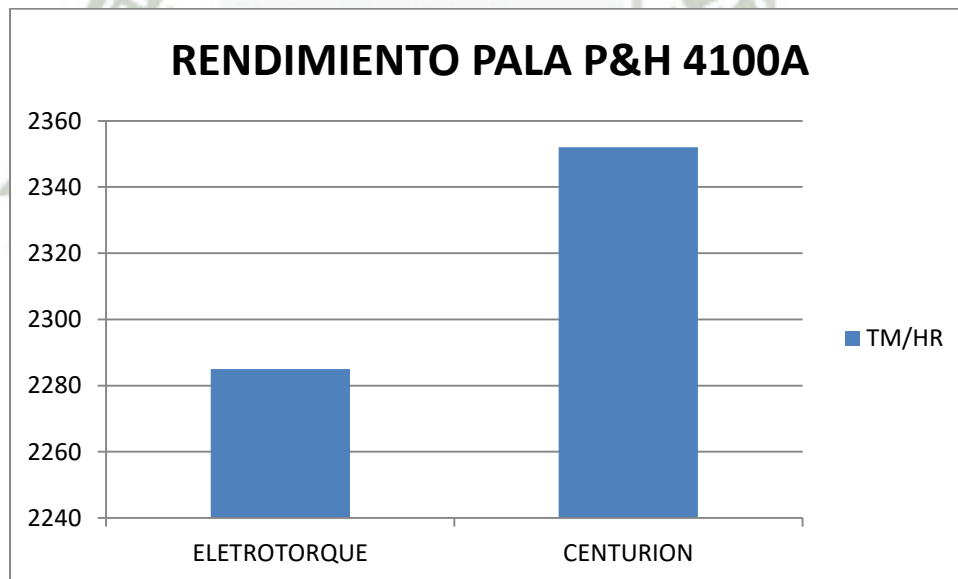


Fig. 6.56 Rendimiento de la Pala 4100A

Fuente: [Elaboración propia]

La disponibilidad operativa indica cuanto del día el equipo está apto para trabajar normalmente y sin inconvenientes mecánicos.

Este índice de rendimiento es importante porque es clave para determinar la causa de una baja en la producción, ya sea porque algún equipo de carguío que dejó de funcionar y se tuvo que parar parte de la producción o por otro percance mecánico inesperado de un equipo.

El sistema Centurión permite diagnosticar en forma rápida la falla en el equipo y facilita la respuesta mecánica para su reparación.

En el gráfico se muestra un aumento en la Disponibilidad Operativa de la Pala P&H 4100 con el Sistema Centurión.

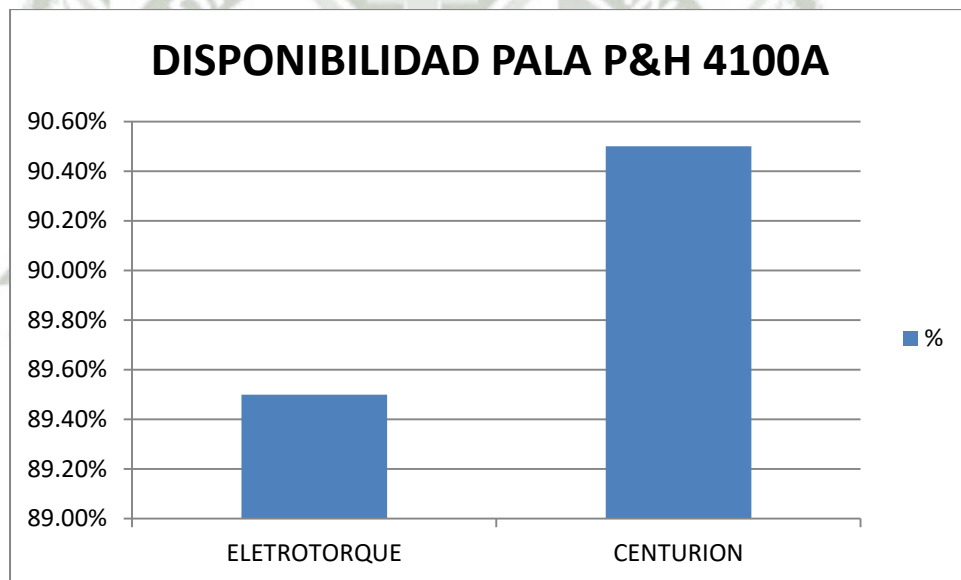


Fig. 6.57 Disponibilidad de la Pala 4100A

Fuente: [Elaboración propia]

## CONCLUSIONES

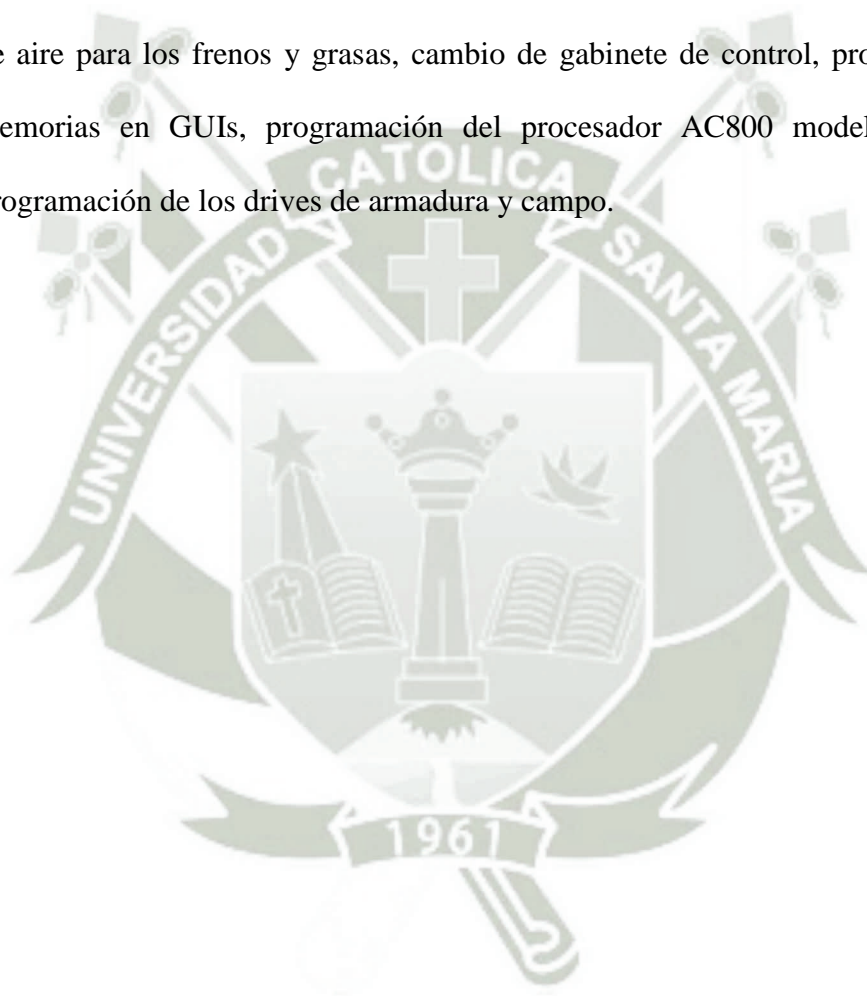
1. El presente trabajo demuestra que la actualización al Sistema Centurion resultó beneficiosa para la mina Toquepala debido a que mejora el rendimiento de la Pala por medio de:
  - a. Mayores rangos de velocidad en los movimientos de levante y empuje (aproximadamente 10% de incremento de la velocidad de motores) lo que incrementa el rendimiento (producción) de la Pala.
  - b. Aumento de la carga (de 10 a 15% de mejora en el tiempo de carga), lo que reduce varios segundos cada ciclo de excavación y aumenta las unidades movidas por hora.
  - c. Reducción de los tiempos de transferencia de propulsión aproximadamente a tres segundos, lo cual aumenta la movilidad de la pala.

E incrementan la disponibilidad del equipo debido a:

- d. La instalación de los gabinetes de Entradas y Salidas I/O, por medio de Profibus habilita la verificación de la aplicación y la liberación del freno y la verificación del sistema de impulsión - lubricación lo que ayuda a reducir los daños al equipo; lo que incrementa la disponibilidad de la Pala.
- e. Si ocurre un problema, el Sistema Centurion ofrece abundante información de diagnóstico. El personal de mantenimiento utiliza la

computadora con pantalla táctil de a bordo para tener acceso a distintos niveles de información de diagnóstico en los impulsores y controladores; permitiendo la comprobación de errores.

2. Se demostró en qué consiste la actualización del Sistema de Control Centurion y las ventajas que este ofrece, realizando el montaje de los gabinetes de I/O (entradas y salidas) y gabinete de supresores del transformador auxiliar, cambio de solenoides de aire para los frenos y grasas, cambio de gabinete de control, programación de memorias en GUIs, programación del procesador AC800 modelo PM864a y programación de los drives de armadura y campo.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar la actualización a Sistema Centurión en la Pala 01 y Pala 02, equipos P&H de SOUTHERN PERU – Toquepala.
2. En un futuro lograr la implementación del siguiente paso en la gestión de información mediante el Sistema PREVAIL de P&H (sistema de monitoreo de condiciones a distancia) que monitorea las 24 horas, los siete días de la semana, los factores clave del estado de la Pala, que tienen el potencial de provocar costosas interrupciones, paradas instantáneas o demoras.
3. Llevar un registro de los siguientes valores que determinan el estado de la Pala:
  - Alimentación eléctrica principal suministrada a través del cable.
  - Datos térmicos de los engranajes del motor.
  - Datos analíticos de los frenos.
4. Por ser ésta la primera Pala con Sistema de Control Centurión, se recomienda tener un stock de repuestos de respaldo para esta pala con Sistema de Control Centurión.
5. Se recomienda incluir en el plan curricular del programa académico profesional de ingeniería electrónica cursos de ingeniería en mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo haciendo énfasis en estrategia de mantenimiento basado en la gestión de condiciones a distancia (RHM), herramientas de gestión como el software SAP, todo esto con la finalidad de brindar mayores herramientas al profesional egresado de la carrera.
6. Profundizar dentro de la carrera profesional de ingeniería electrónica temas de electrónica de potencia, rectificadores controlados SCRs, compensación de Potencia Reactiva y redes industriales como Profibus DP-V1; los cuales son utilizados en equipos de minería.

## BIBLIOGRAFÍA

- [www.selinperu.com](http://www.selinperu.com)
- <https://es.scribd.com/doc/255301658/Manual-P-H-4100-XPC>
- <http://www.maquinariaspesadas.org/blog/2094-manual-sistema-electrotorque-pala-electrica-4100a-pyh-motores-control>
- <http://www.joyglobal.com/docs/default-source/non-product-documents/technology/controls-and-drives/xs31413centurionbro.pdf?sfvrsn=24>
- [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/EI1B2/4/material\\_docente/bajar?id\\_material=144216](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/EI1B2/4/material_docente/bajar?id_material=144216)
- <http://www.joyglobal.com/es/tecnolog%C3%ADa/controles-y-drives/sistema-de-control-el%C3%A9ctrico-centurion>
- <http://www.wmea.net/Technical%20Papers/P&H%20Centurion%20System.pdf>
- <http://www.geolay.cl/minas4/OP-MANT/Curso-Pala/07%20Sistema%20de%20control%20Centurion.pdf>
- <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1150-rendimiento-de-la-pala-ac-vs-dc.html>
- <http://www.maquinariaspesadas.org/blog/1747-manual-partes-funcionamiento-sistemas-palas-electricas-cable>
- [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1747-um011\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1747-um011_-en-p.pdf)
- [https://library.e.abb.com/public/1cb4fadd66365e57c1257b740027013b/3BSE036351-510\\_A\\_en\\_AC\\_800M\\_5.1\\_Controller\\_Hardware.pdf](https://library.e.abb.com/public/1cb4fadd66365e57c1257b740027013b/3BSE036351-510_A_en_AC_800M_5.1_Controller_Hardware.pdf)
- [https://library.e.abb.com/public/da54d5edee606e3ac1257aa0002f3dc9/10\\_63\\_647\\_EN\\_D.1.pdf](https://library.e.abb.com/public/da54d5edee606e3ac1257aa0002f3dc9/10_63_647_EN_D.1.pdf)

## ÍNDICE FIGURAS

Fig. 2.1 Ubicación geográfica de las oficinas SELIN	Pág. 16
Fig. 2.2 Organigrama general de la empresa	Pág. 17
Fig. 3.1 Explotación de Minas a tajo abierto	Pág. 21
Fig. 3.2 Componentes de una Pala	Pág. 22
Fig. 3.3 Movimiento de la Pala	Pág. 23
Fig. 3.4 Secciones principales de la Pala	Pág. 24
Fig. 3.5 Ubicación de los Sistemas de la Pala	Pág. 25
Fig. 3.6 Movimientos de la Pala	Pág. 26
Fig. 3.7 Motor de propulsión	Pág. 28
Fig. 3.8 Aro de balde	Pág. 28
Fig. 3.9 Punta de pluma	Pág. 29
Fig. 3.10 Carbody	Pág. 29
Fig. 3.11 Oruga	Pág. 30
Fig. 3.12 Mango de balde	Pág. 30
Fig. 3.13 Gantry	Pág. 31
Fig. 3.14 Cabina de control	Pág. 32
Fig. 3.15 Shipper Shaft	Pág. 33
Fig. 3.16 Cable de fuerza	Pág. 33
Fig. 3.17 Sistema eléctrico – ubicación de componentes	Pág. 34
Fig. 3.18 Módulo de I/O Remotas	Pág. 35
Fig. 3.19 Eje de tambor de levante	Pág. 37
Fig. 3.20 Compresor de aire	Pág. 38

Fig. 3.21 Transmisión de levante	Pág. 39
Fig. 3.22 Conjunto de anillos colectores	Pág. 39
Fig. 3.23 Estanque de lubricación	Pág. 40
Fig. 3.24 Centro de control de carga	Pág. 41
Fig. 3.25 Motores de movimiento	Pág. 44
Fig. 3.26 Movimiento de izar	Pág. 45
Fig. 3.27 Movimiento de empuje	Pág. 45
Fig. 3.28 Movimiento de giro	Pág. 46
Fig. 3.29 Movimiento de avance	Pág. 47
Fig. 4.1 Control Electrotorque – Diagrama de bloques	Pág. 51
Fig. 4.2 Transformador principal	Pág. 52
Fig. 4.3 Transformador auxiliar	Pág. 53
Fig. 4.4 Transformador de alta voltaje	Pág. 54
Fig. 4.5 Zapatas de alto voltaje	Pág. 55
Fig. 4.6 Anillos de alto voltaje	Pág. 55
Fig. 4.7 Puente reversor	Pág. 56
Fig. 4.8 Puentes en serie	Pág. 57
Fig. 4.9 Semiconvertidor	Pág. 58
Fig. 4.10 Motor DC – Principio de funcionamiento	Pág. 59
Fig 4.11 (a) Distribución espacial de la densidad de flujo en el entrehierro de una máquina de continua elemental, y (b) onda de tensión entre las escobillas.	Pag. 60
Fig. 4.12 Motor DC – Excitación separada	Pág. 61

Fig. 4.13 Curvas de corriente de armadura y campo	Pág. 62
Fig. 4.14 Curvas de fuerza contra electromotriz CEMF	Pág. 62
Fig. 4.15 Movimiento de la Pala – Curvas características	Pág. 63
Fig. 4.16 Aplicación: Empuje – Avance – Izar	Pag. 64
Fig. 4.17 Aplicación: Giro	Pag. 64
Fig. 4.18 Cuadrantes de control: Movimientos de izar y descenso	Pag. 65
Fig. 4.19 Voltaje y corriente de armadura	Pag. 66
Fig. 4.20 Movimiento de izar – Debilitamiento de campo	Pag. 67
Fig. 4.21 Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Izar	Pag. 68
Fig. 4.22 Configuración de los convertidores y armaduras de Izar, se usan 24 SCR's; 12 para cada convertidor.	Pag. 69
Fig. 4.23. Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Giro	Pag. 69
Fig. 4.24. Configuración del convertidor y las armaduras de Giro, se usan solo 12 SCR's y un solo convertidor.	Pag. 70
Fig. 4.25. Curva característica de respuesta del Control de la Armadura de Empuje.	Pag. 71
Fig. 4.26. Configuración del convertidor y la armadura de Empuje.	Pag. 71
Fig. 4.27. Curva característica de respuesta de control de armadura de Avance.	Pag. 72
Fig. 4.28 Configuración de los convertidores de Izar y Empuje con las armaduras de los motores de Avance.	Pag. 73
Fig. 4.29 Configuración de Convertidor y campos de los motores de izar.	Pag. 74

Fig. 4.30 Configuración de Semiconvertidor y Campos de Motores de Giro.	Pag. 76
Fig. 4.31 Configuración de Semiconvertidor y Campos de los Motores de Empuje/Avance.	Pag. 77
Fig. 4.32 Diagrama de Bloques del Control de un Motor DC Excitado en la Armadura.	Pag. 80
Fig. 4.33 Relay de sobre carga instantaneo (QTTM).	Pag. 84
Fig. 4.34 Circuito típico de detección de falla a tierra.	Pag. 85
Fig. 4.35 Relay monitor de fase.	Pag. 86
Fig. 4.36 Sistema de protección del diverter.	Pag. 87
Fig. 4.37 Diverter Control Module.	Pag. 88
Fig. 4.38 Protección contra bajo voltaje e inversión de fases.	Pag. 89
Fig. 4.39 Módulo diferencial de voltaje.	Pag. 90
Fig. 5.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Armadura del ELECTROTORQUE diseñado por P&H para la Pala 4100A.	Pág. 92
Fig. 5.2 Diagrama de Bloques de las señales de entrada y salida que tiene el conjunto de tarjetas de control de Armadura	Pág. 96
Fig. 5.3 Señal de liberación de freno para el movimiento.	Pág. 98
Fig. 5.4 Señal de Desbloqueo de Convertidor de Armadura	Pág. 99
Fig. 5.5 Señal Avance/Retardo de Fase	Pág. 100
Fig. 5.6 Representación en Diagrama de Bloques de Las Tarjetas de Control de Armadura divididas en 3 grupos funcionales.	Pág. 102
Fig. 5.7 Diagrama de Bloques de las Tarjetas que conforman los	

Circuitos de Movimientos y sus relaciones funcionales.	Pág. 105
Fig. 5.8 Tarjeta Adaptadora de Movimiento de Izar (Adapter Hoist-C/P)	Pág. 107
Fig. 5.9 Tarjeta monitor de control	Pág. 108
Fig. 5.10 Tarjetas que conforman el Bloque de circuitos de regulación.	Pág. 111
Fig. 5.11 Diagrama circuital de la Tarjeta reguladora de Voltaje (Voltaje Regulator).	Pág. 113
Fig. 5.12 Tarjeta Reguladora de Corriente (Current Regulator)	Pág. 114
Fig. 5.13 Tarjeta de Circuito de Bloqueo (Blocking Circuit), tal como aparece en los diagramas de la Pala.	Pág. 115
Fig. 5.14 Diagrama circuital de la Tarjeta Amplificadora de Bloqueo (Blocking Amplifier).	Pág. 115
Fig. 5.15 Circuitos de control.	Pág. 117
Fig. 5.16 Diagrama circuital de una Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo.	Pág. 118
Fig. 5.17 Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo tal como se muestra en los diagramas esquemáticos de la Pala.	Pág. 119
Fig. 5.18 Transformadores de Pulsos y sus conexiones para un puente rectificador trifásico a SCR's	Pág. 120
Fig. 5.19 Transformador de Pulsos y las formas de onda vistas con osciloscopio en el primario y secundario del Transformador.	Pág. 122
Fig. 5.20 Circuitos de Control de Campo	Pág. 123
Fig. 5.21 Transductor de corriente a reactor saturable en un circuito de realimentación de corriente de Campo	Pág. 126
Fig. 5.22 Circuito de Realimentación de Corriente de Campo	Pág. 127

Fig. 5.23 Diagrama de bloques de las tarjetas de Control del Campo de Izar	Pág. 128
Fig. 5.24 Tarjeta Referencia de Campo de Izar	Pág. 129
Fig. 5.25 Tarjeta Reguladora de Corriente del Campo de Izar.	Pág. 130
Fig. 5.26 Tarjeta Generadora de Pulsos de Disparo	Pág. 131
Fig. 5.27 Tarjeta Amplificadora de Pulsos de Disparo	Pág. 132
Fig. 5.28 Diagrama de Bloques de las Tarjetas de Control de Campo de Empuje/Avance y Giro.	Pág. 133
Fig. 5.28 Diagrama de Bloques de Un convertidor de Armadura con un sistema de Compensación de Potencia Reactiva (RPC).	Pág. 134
Fig. 5.29 Triángulo de potencia – conmutación de RPC	Pág. 135
Fig. 5.30 Diagrama de fasores	Pág. 136
Fig. 5.31 Diagrama Unifilar del RPC de la Pala 4100A	Pág. 137
Fig. 5.32 Diagrama del Banco #1	Pág. 139
Fig. 5.33 Transductor de Potencia Reactiva	Pág. 140
Fig. 5.34 Diagrama de Bloques del control del RPC	Pág. 141
Fig. 5.35 Tarjeta de Interface	Pág. 142
Fig. 5.36 Módulos de disparo del RPC	Pág. 143
Fig. 5.37 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de IZAR	Pág. 144
Fig. 5.38 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de Empuje/Avance	Pág. 145
Fig. 5.39 Grupo de Tarjetas de Control de Armadura de Giro	Pág. 146
Fig. 6.1 Pala 04 P&H 4100A	Pág. 147

Fig. 6.2 Sistema Centurión – Diagrama de Bloques	Pág. 149
Fig. 6.3 Gabinete de I/O de Lubricación	Pág. 150
Fig. 6.4 Gabinete de Supresores del transformador auxiliar.	Pág. 150
Fig. 6.5 Gabinete de I/O de Lower	Pág. 151
Fig. 6.6 Gabinete de I/O de RPC	Pág. 152
Fig. 6.7 Módulo de interface inteligente	Pág. 153
Fig. 6.8 Módulo de alimentación	Pág. 153
Fig. 6.9 Módulo de entrada digital	Pág. 153
Fig. 6.10 Módulo de entrada analógica	Pág. 154
Fig. 6.11 Módulo de salida analógica	Pág. 154
Fig. 6.12 Módulo de salida digital	Pág. 154
Fig. 6.13 Módulo de Relé de salida digital	Pág. 155
Fig. 6.14 Solenoides del sistema de grasa	Pág. 155
Fig. 6.15 Solenoides de los frenos	Pág. 156
Fig. 6.16 Gabinete de control	Pág. 157
Fig. 6.17 Verificación de las fibras ópticas en los Drives DCS800	Pág. 160
Fig. 6.18 Verificación de las fibras ópticas en la Branching Unit.	Pág. 161
Fig. 6.19 Branching Unit.	Pág. 161
Fig. 6.20 Verificación de la continuidad de la fibra óptica mediante haz de luz	Pág. 162
Fig. 6.21 Programación de los discos C y D de los 02 GUIs DUROS de la pala	Pág. 162
Fig. 6.22 Procesador AC800	Pág. 163
Fig. 6.23 Proceso de comunicación AC800	Pág. 163

Fig. 6.24 Drives de Armadura	Pág. 164
Fig. 6.25 Drives de Campo	Pág. 164
Fig. 6.26 Menú de trabajo de CodeSys	Pág. 167
Fig. 6.27 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Hoist (Levante).	Pág. 167
Fig. 6.28 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Crowd (Empuje).	Pág. 168
Fig. 6.29 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Swing (giro).	Pág. 168
Fig. 6.30 Gráfica de la prueba de armadura para el movimiento de Propel (propulsión).	Pág. 169
Fig. 6.31 Gráfica de la prueba de campos de todos los movimientos	Pág. 169
Fig. 6.32 Gráfica de la prueba de RPC banco ½	Pág. 170
Fig. 6.33 Gráfica de la prueba de RPC banco 1.	Pág. 170
Fig. 6.34 Gráfica de la prueba de RPC banco 2.	Pág. 170
Fig. 6.35 Gráfica de la prueba de RPC banco 3.	Pág. 171
Fig. 6.36 Circuito Diverter – Diagrama de bloques	Pág. 172
Fig. 6.37 Pantalla del touch panel.	Pág. 174
Fig. 6.38 Cabina del operador – Touch panel	Pág. 174
Fig. 6.39 Sala de máquinas – Touch panel	Pág. 175
Fig. 6.40 Distribución de pantalla del Touch panel	Pág. 175
Fig. 6.41 Pantalla de monitoreo de temperatura	Pág. 177
Fig. 6.42 Pantalla de estado del sistema de lubricación	Pág. 177
Fig. 6.43 Pantalla de permisos de arranque	Pág. 178

Fig. 6.44 Pantalla de operación de la Pala	Pág. 178
Fig. 6.45 Pantalla de inclinación de la Pala	Pág. 179
Fig. 6.46 Panel Display de estado	Pág. 179
Fig. 6.47 Pantalla de funciones diagnóstico	Pág. 180
Fig. 6.48 Pantalla de diagnóstico	Pág. 180
Fig. 6.49 Pantalla de información DDCS	Pág. 181
Fig. 6.50 Pantalla de permisos de arranque	Pág. 181
Fig. 6.51 Pantalla de estado de lubricación	Pág. 182
Fig. 6.52 Pantalla de monitoreo de temperatura	Pág. 182
Fig. 6.53 Pantalla de información de motores	Pág. 183
Fig. 6.54 Pantalla de diagnóstico de frenos	Pág. 183
Fig. 6.55 Evolución de los sistemas de control en la Pala	Pág. 184
Fig. 6.56 Rendimiento de la Pala 4100A	Pág. 185
Fig. 6.57 Disponibilidad de la Pala 4100A	Pág. 186

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Valores de corriente de campo fuerte y débil	Pág. 75
Tabla 4.2 Valores de corriente de campo de motores de giro	Pág. 76
Tabla 4.3 Movimiento de Pala – valores de corriente de campo	Pág. 77
Tabla 4.4 Movimiento de la Pala – Valores limite de tensión y corriente suministrada por convertidores a los Motores DC	Pág. 78
Tabla 4.5 Movimiento de la Pala – Regulaciones en las tarjetas de control del sistema Electrotorque	Pág. 79
Tabla. 5.1 Señal de Desbloqueo de Convertidor de Armadura	Pág. 99
Tabla. 5.2 Tarjeta reguladora de corriente – Puntos de prueba	Pág. 100
Tabla 5.3 Niveles de voltaje de las señales más importantes que se procesan en las tarjetas de los circuitos de regulación.	Pág. 116
Tabla. 5.4 Conmutación de bancos RPC	Pág. 138
Tabla 6.1 Tabla diferencias Sistema de control	Pág. 184

## GLOSARIO TÉCNICO

A continuación se definen las frases y palabras que son utilizadas en las actividades de excavación por medio de Pala Eléctrica de Cable:

- **Banco.** Corte de terreno natural donde el material puede ser utilizado para la excavación.
- **Balde (cucharón).** Tipo de pala acoplada al mango del balde el cual es forzada dentro del material y luego levantado
- **Empuje (crowd).** Movimiento por el cual la Pala mueve el mango del balde hacia afuera o hacia dentro para controlar la profundidad de corte y colocar el balde en la posición de vaciado
- **Levante (hoist).** Movimiento por el cual la Pala jala el balde hacia arriba a través del banco
- **Giro (Swing)** Movimiento por el cual rota la Pala entre las posiciones de excavación y vaciado
- **Avance (Propel)** Movimiento por el cual la Pala se traslada desde una posición de excavación a otra
- **Pluma.** Ejes rectos los cuales sostienen las poleas del cable de acero y el mango del balde.
- **Oruga.** Conjuntos de orugas sobre los cuales la pala descansa y se desplaza.
- **Carbody.** La base móvil donde va montado el chasis superior y los bastidores laterales
- **SCR.** El rectificador controlado de silicio (en inglés SCR: Silicon Controlled Rectifier) es un tipo de tiristor que tiene la característica de conducir la corriente

eléctrica en un solo sentido tal como lo hace un diodo, pero para que comience a conducir el tiristor SCR necesita ser activado.

- **Tambor de levante.** Soporte en el cual se enrollan los cables que van hacia el mango del balde.
- **PQM.** Medidor de calidad de potencia.
- **Campo.** En un motor eléctrico, es el campo magnético que rota a una velocidad uniforme (idealmente) y es generado a partir de una corriente eléctrica alterna trifásica.
- **Armadura.** En un motor eléctrico, es el elemento situado en el centro es la parte del motor que genera el movimiento. Consiste en un electroimán que puede girar libremente entorno a un eje.
- **Caja Planetaria.** Es un sistema de engranajes (o tren de engranajes) que consiste en uno o más engranajes externos o planetas que rotan sobre un engranaje central o sol.
- **Convertidor.** Dispositivo que tiene por función convertir una AC en una DC controlada.
- **Revolving Frame.** Estructura superior en donde se instala la sala de máquinas y la estructura del contrapeso.
- **RPC.** Compensación de potencia reactiva.