



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMA DE
RETARDO DINAMICO CAEX 830E-1AC EN MINERA MANTOVERDE**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor guía: Juan Carlos Madrigal Lobos

Christiaan David Silva Castillo

Copiapó, Chile 2024

INDICE

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo general	2
1.3 Objetivo específico	2
1.4 Resumen de capítulos	2
CAPITULO II	4
MARCO TEORICO	4
2.1. Mantenimiento	4
2.1.1 Tipos de mantenimiento	4
2.1.2 Confiabilidad	5
2.1.3 Disponibilidad	7
2.1.4 Diagrama Pareto	7
2.1.4.1 Diagrama de dispersión	11
2.2 Retardo dinámico	14
2.3 Resistencia eléctrica	14
2.3.1 Tipos resistencia	14
2.3.1.1 Resistencias fijas	14
2.3.1.2 Resistencia variable	15
2.4 Alternador	15
2.4.1 Generador	15
2.4.2 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico	15
2.4.2.1 Ley de Faraday	15
2.4.3 Generador de corriente alterna	17
2.4.3.1 El alternador	17
2.4.3.2 Estructura del alternador	19
2.4.4 Funcionamiento alternador	19
2.5 Excitatriz de los alternadores	20

2.6 Efectos del funcionamiento de un alternador	21
2.7 Inversor de voltaje	21
2.7.1 Tipos de inversores	21
2.7.1.1 Inversor de onda senoidal pura	21
2.7.1.2 Inversores de onda cuadrada	22
2.7.1.3 Inversores de onda senoidal modificada	22
2.7.1.4 Inversores de conexiones a red	22
2.7.1.5 Inversores autónomos	22
2.7.1.6 Inversores multifunción	22
2.7.1.7 Inversores de baterías	23
2.8 Puente rectificador	23
2.8.1 Puente rectificador de onda completa	23
2.8.2 Tipos de puente rectificadores	25
2.8.2.1 Monofásico	25
2.8.2.2 Trifásico	25
2.8.2.3 Fase variable	26
2.8.3 Aplicaciones de un puente rectificador	26
2.8.4 Ventajas y desventajas de un puente rectificador	26
2.8.4.1 Eficiencia	26
2.8.4.2 Factor de ondulación	27
2.8.4.3 Voltaje inverso pico	27
2.8.4.4 Costos	27
CAPÍTULO III	28
DESCRIPCION GENERAL SISTEMA ELECTRICO CAMIONES 830E-1AC	28
3.1 Alternador GTA 41	28
3.2 Circuitos y componentes de control alternador principal	29
3.2.1 Puente rectificador semicontrolado	30
3.2.2 Transformadores de pulso	32
3.2.3 Tarjeta battery boost	32
3.3 Filtro armónico o filtro FP	35

3.4 Rectificador principal	36
3.5 Gabinete de potencia	38
3.6 Descripción gabinete PSC	39
3.6.1 Inversor 1	39
3.6.2 Inversor 2	39
3.6.3 Modulo chopper y diodos	40
3.6.4 Condensadores de línea	40
3.7 motor de tracción AC	40
3.7.1 Formas de operación del motor AC	41
3.7.2 Descripción funcionamiento sistema de motores de tracción	42
3.8 panel ICP	45
CAPITULO IV	55
SISTEMA DE RETARDO DINAMICO	55
4.1 Componentes sistema de retardo dinámico	55
4.1.1 Motores de tracción (MT1 Y MT2)	56
4.2 Contactores RP1 Y RP2	57
4.3 Sopladores o blower	58
4.4 Troceadores o módulos chopper	59
4.5 Resistencias de frenado	60
CAPITULO V	63
PARAMETROS Y MEDICIONES	63
5.1 Parámetros WPTU	63
5.2 Medición de aislación	65
CAPITULO VI	70
ACTUALIZACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA RETARDO	70
6.1 Problemática y aspectos principales	70
6.2 Inspección de elementos de retardo	73
6.2.1 Mejoras en los resistores de retardo	74

6.2.2 Resistores tipo J VS Resistores tipo D	75
6.2.2.1 Resistor tipo D	75
6.2.2.2 Resistor tipo J	76
6.3 Análisis de costos plan mantenimiento sistema retardo	77
6.3.1 Actualización de Plan propuesto y costo estimado	78
6.3.2 costos de resistores y recuperación de inversión	79
CAPITULO VII	86
ANALISIS DE LOS RESULTADOS	86
7.1 Resultados	86
CAPITULO VIII	93
CONCLUSIONES	93
GLOSARIO	95
BIBLIOGRAFIA	97

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Grafica diagrama Pareto de tiempo falla de equipo	10
Figura N° 2.2: Grafico jacknife de dispersión de tiempos / frec. falla de equipos	13
Figura N° 2.3: Movimiento de espira en campo magnético	16
Figura N° 2.4: Señales de salida de un alternador y un dinamo	17
Figura N° 2.5: Modelo del funcionamiento de un alternador	18
Figura N° 2.6: Puente rectificador de onda completa	24
Figura N° 3.1: Alternador principal	28
Figura N° 3.2: Bobina y anillos rozantes de alternador principal	29
Figura N° 3.3: Excitador estático del campo del alternador	30
Figura N° 3.4: Puente rectificador semicontrolado	31
Figura N° 3.5: Diagrama de disparo de transformadores de pulso	32
Figura N° 3.6: Tarjeta battery boost y sus componentes	33
Figura N° 3.7: Diagrama circuito battery boost	34
Figura N° 3.8: Filtro armónico o filtro de panel	35
Figura N° 3.9: Diagrama esquemático de filtro RC y transitorios	36
Figura N° 3.10: Rectificador principal y vista caja conexiones	37
Figura N° 3.11: Diodo de potencia tipo Press - Pack	37
Figura N° 3.12: Gabinete de potencia con los módulos de disparo IGBT	38
Figura N° 3.13: Gabinete de potencia camión 830E-1AC	39
Figura N° 3.14: Imagen en corte motor de tracción camión 830E-1AC	41
Figura N° 3.15: Cuadrantes de funcionamiento motor AC	42
Figura N° 3.16: Diagrama simple método funcionamiento motor AC	43
Figura N° 3.17: Configuración inversor con conducción por modulo B	43
Figura N° 3.18: Configuración inversor con conducción por modulo A y C	44
Figura N° 3.19: Configuración inversor con conducción por modulo A	44
Figura N° 3.20: Configuración “shoot though”	45
Figura N° 3.21: Gabinete de control integrado	46
Figura N° 3.22: Tarjetas análogas y digitales panel ICP	47
Figura N° 3.23: Tarjeta de memoria 17FB174 PSC	49

Figura N° 3.24: Tarjeta digital 17FB104 PSC	50
Figura N° 3.25: Tarjeta de análoga 17FB173 PSC	50
Figura N° 3.26: Tarjeta memoria 17FB174 TCI	51
Figura N° 3.27: Tarjeta análoga 17FB160 TCI	52
Figura N° 3.28: Tarjeta digital 17FB104 TCI	52
Figura N° 3.29: Tarjeta inversora 17FB179 inversor 1	53
Figura N° 3.30: Tarjeta inversora 17FB179 inversor 2	54
Figura N° 4.1: Esquema generación de energía motores de tracción	56
Figura N° 4.2: Funcionamientos motores en modalidad retardo dinámico	57
Figura N° 4.3: Contactor retardo RP1 y RP2	58
Figura N° 4.4: Blower ventilación	59
Figura N° 4.5: Circuito retardo dinámico y chopper	60
Figura N° 4.6: Diagrama 14 resistores de retardo con 2 blower duales	61
Figura N° 4.7: Diagrama completo banco 14 resistores	62
Figura N° 5.1: Pantalla tiempo real software WPTU	64
Figura N° 5.2: Conexión megohmetro a blower	65
Figura N° 5.3: Cartilla de especificaciones blower modelo 5GEB26A	66
Figura N° 5.4: Sistema de retardo con 12 resistores	67
Figura N° 5.5: Resistor dañado o cortocircuito	68
Figura N° 5.6: Medición aislación blower camión 830E-1AC	69
Figura N° 6.1: Pareto de horas no programadas	71
Figura N° 6.2: Listado de eventos fallas electrónica de potencia	72
Figura N° 6.3: Resistor retardo tipo D	75
Figura N° 6.4: Encajes de fibra resistor tipo D	76
Figura N° 6.5: Encaje de fibra resistor tipo J	77
Figura N° 7.1: Pareto horas no programadas periodo Q1	87
Figura N° 7.2: Grafica de dispersión periodo Q1	88
Figura N° 7.3: Pareto horas no programadas periodo Q2	89
Figura N° 7.4: Grafica de dispersión periodo Q2	89
Figura N° 7.5: Pareto horas no programadas periodo Q3	90
Figura N° 7.6: Grafica de dispersión periodo Q3	91

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Análisis Pareto de tiempos de fallas de equipos	9
Tabla N° 2.2: Análisis dispersión de tiempos y frecuencia falla de equipos	12
Tabla N° 6.1: Banco equipos 12 resistores	72
Tabla N° 6.2: Banco equipo 14 resistores	73
Tabla N° 6.3: Numero de parte camión 830	78
Tabla N° 6.4: Valores resistores según proveedor	78
Tabla N° 6.5: Resistores flota camiones 830E-1AC	79
Tabla N° 6.6: Calculo total ahorro reparación resistores	80
Tabla N° 6.7: Hora de operación y frecuencia de cambio resistores	82
Tabla N° 6.8: Costos totales y recuperación de inversión	85
Tabla N° 7.1: Disponibilidad y cumplimiento semana 44 año 2023	92

RESUMEN

En la minería de hoy está irrumpiendo muy fuerte la utilización de activos mineros específicamente maquinarias de gran envergadura enfocada a la electromovilidad, en este proyecto de titulación tiene como objetivo principal la implementación de un plan de mantenimiento para un sistema de retardo dinámico o freno regenerativo de una flota de camiones eléctricos de la marca Komatsu modelo 830E-1AC, pertenecientes a la faena minera Manto Verde de la empresa Capstone Copper, se comienza describiendo los componentes principales del equipo y la relación de trabajo que tienen entre ellos, este camión es de propulsión eléctrica, con 2 motores eléctricos de tracción tipo jaula de ardilla los cuales serán alimentados eléctricamente por medio de un alternador GTA 41, que almacena su energía generada en una barra DC que tendrá la energía para alimentar los motores por medio de inversores de corriente, uno para cada motor de tracción. Estos inversores estarán compuestos cada uno por 12 módulos de faso o IGBT, que alimentarán con energía a los motores de tracción para generar el movimiento del equipo, todo esto controlado por un panel ICP que comandará la secuencia de disparos de los inversores. Dentro de la modalidad de trabajo del equipo vamos a tener un frenado regenerativo, este tiene componentes críticos como resistores de retardo, blower, contactores. Se realiza mediante mediciones y pruebas un plan de mantenimiento para poder adelantarse a fallas críticas que producen largas horas de detención, mediciones eléctricas mediante megohmetro, para medir aislación de los componentes de retardo y análisis de componentes mediante software WPTU para hacer seguimiento de variables eléctricas. Todo esto aplicado a la flota de camiones. Mediante los datos obtenidos se aplicará el plan de mantenimiento a los equipos de la flota, donde se hará un levantamiento de los componentes de retardo dispuestos en faena, analizando los costos que tendremos en la implementación del plan y las horas de trabajo que se necesitan para aplicar el plan y así mejorar la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

KOMATSU - MANTENIMIENTO - MOTOR

ABSTRACT

In today's mining, the use of mining assets is bursting very strongly, specifically large-scale machinery focused on electromobility, in this titling project has as its main objective the implementation of a maintenance plan for a dynamic retarding system or regenerative braking of a fleet of electric trucks of the Komatsu brand model 830E-1AC, belonging to the Manto Verde mining site of the Capstone Copper company, begins by describing the main components of the equipment and the working relationship they have between them, this truck is electrically propelled, with 2 electric squirrel cage traction motors which will be electrically powered by means of a GTA 41 alternator, which stores its generated energy in a DC bar that will have the energy to power the motors by means of current inverters, one for each traction motor. These inverters will each be composed of 12 phaso or IGBT modules, which will supply energy to the traction motors to generate the movement of the equipment, all controlled by an ICP panel that will command the sequence of trips of the inverters. Within the team's work modality we are going to have regenerative braking, this has critical components such as delay resistors, blowers, contactors. A maintenance plan is carried out through measurements and tests to be able to anticipate critical faults that produce long hours of stoppage, electrical measurements using megohmmeter, to measure isolation of delay components and component analysis using WPTU software to track electrical variables. All this applied to the truck fleet. Through the data obtained, the maintenance plan will be applied to the fleet equipment, where a survey of the delay components arranged at work will be carried out, analyzing the costs that we will have in the implementation of the plan and the hours of work that are needed to apply the plan and thus improve the availability and reliability of the equipment.

KOMATSU - MAINTENANCE - ENGINE

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Hoy en día la industria de la minería dentro de sus metas de producción está orientada a cumplir el objetivo de minimizar los costos de producción, a través de un uso eficiente de los recursos y específicamente un aprovechamiento en mayor medida de los costos de los activos mineros, en este mismo tema en el área de extracción del material específicamente en mineras de cielo abierto donde se ocupan maquinarias de alto tonelaje, irrumpe el concepto de los activos mineros relacionados a maquinarias (camiones, palas eléctricas, cargadores etc.), donde los distintos holding de la minería compiten para prestar o vender los mejores servicios.

En este tiempo ha entrado con fuerza la electromovilidad reflejándose en la industria minera en la adquisición de equipos mineros eléctricos o de transmisión eléctrica, este estudio se enfoca en analizar e implementar un programa de trabajo en un equipo específicamente el camión de extracción Komatsu 830E- 1AC, estos equipo pertenecen a la empresa minera Capstone Copper (faena manto verde), siendo uno de los activos mineros más importantes relacionados a la producción de la empresa, por consecuencia su disponibilidad y confiabilidad tienen que estar en línea con los requerimientos de producción.

Para esto se analizará y se implementará un mejoramiento en un sistema de funcionamiento crítico que tienen estos equipos, como lo es el sistema de retardo dinámico o freno regenerativo, este objetivo de mejora se realizará por variadas metodologías y herramientas que contiene el camión a través de un software de análisis y monitoreo de condiciones, comparación y ajustes de variables eléctricas mediante mediciones de componentes eléctricos relacionados al sistema, comparación de resultados con valores de fabrica del equipo, por medio de estas herramientas se podrán realizar un seguimiento a los equipos que componen la flota de camiones, a través de estas metodologías se podrá recopilar los datos suficientes para poder implementar el plan de mantenimiento para este sistema

especifico del camión que por consecuencia van permitir tener una ganancia en el tema de disponibilidad y confiabilidad de la flota, para poder cumplir con las metas de producción de la empresa.

1.2 Objetivo general

Actualizar el plan de mantenimiento para el sistema de retardo dinámico que mejore la disponibilidad en flota de camiones Komatsu 830E-1AC de minera Manto Verde.

1.3 Objetivos específicos

- ✚ Describir el sistema de retardo dinámico o freno regenerativo CAEX 830E-1AC
- ✚ Describir los parámetros y mediciones que se van a realizar en el sistema de retardo dinámico o freno regenerativo.
- ✚ Actualizar el plan de mantenimiento del sistema de retardo dinámico.
- ✚ Analizar los resultados del plan de mantenimiento.

1.4 Resumen de capítulos

Capítulo II: se realizará un respaldo teórico de los sistemas y componentes del camión Komatsu 830E-1AC, también se definirán teóricamente las herramientas y metodologías utilizadas en el desarrollo y pruebas de este proyecto.

Capítulo III: se hará una descripción global del funcionamiento eléctrico del camión se describen componentes específicos del equipo y sus variadas modalidades, además se describen componentes de control relacionados al funcionamiento del equipo.

Capítulo IV: se realiza una descripción específica del sistema de retardo dinámico del equipo, ya que es el sistema que se expone en este proyecto, se describirá cada componente involucrado en el funcionamiento de este sistema para así exponer un conocimiento más específico en el equipo.

Capítulo V: se describen los parámetros y mediciones que se realizarán en los camiones, especificando los parámetros que se van a analizar y los tipos de mediciones que se realizan en el camión para la recopilación de datos correspondiente que nos ayudarán para avalar este estudio.

Capítulo VI: se explica en forma general las problemáticas y en que consiste el plan de mantenimiento que se presenta en este estudio, además se describen algunas mejoras dentro del sistema de retardo que van de la mano junto al plan. Se dan a conocer las herramientas de gestión utilizadas para hacer un seguimiento a este plan de mantención y se realiza un plan de costos especificando los costos que involucra la implementación de este plan y los respectivos cálculos de recuperación de la inversión.

Capítulo VII: se expone un análisis de los resultados obtenidos post actualización del plan de mantenimiento, donde por medio de los resultados de disponibilidades analizados de forma trimestral por medio de los Paretos y graficas de dispersión, se realiza un seguimiento de la mejora en disponibilidad en cada trimestre del año, explicando la disminución de las fallas en el sistema expuesto en este estudio.

Capítulo VIII: se encuentran las conclusiones de este proyecto de título, donde por medio de resultados y comparaciones de los resultados obtenidos, se pudo dar respuesta a cada objetivo específico y general de este proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Mantenimiento

Es la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte el rendimiento de un bien de capital, propiedad de la empresa.

El mantenimiento es necesario para evitar fallos en el proceso productivo que generen mayores costos.

2.1.1 Tipos de mantenimiento

Entre los tipos de mantenimiento podemos distinguir los siguientes tipos:

✚ **Mantenimiento de conservación:** consiste en reponer el desgaste sufrido por el transcurso del tiempo. A su vez este se puede dividir en los siguientes tipos:

- **Inmediato:** es aquel que se realiza en el mismo momento donde se identifica el daño
- **Diferido:** cuando se detiene la actividad del elemento afectado, pudiendo luego realizarse la reparación correspondiente.
- **Preventivo:** su objetivo es anticiparse a futuros desperfectos del equipo en cuestión. dentro de esta categoría, se encuentran tres tipos:
 - **Programado:** cuando el mantenimiento se efectúa automáticamente, en función del tiempo de vida transcurrido.
 - **Predictivo:** es aquel que se realiza cuando se ha ido revisando periódicamente el equipo, de manera que se pueda anticipar cuando va a ocurrir un fallo, haciendo en ese momento la respectiva reparación.

- **De oportunidad:** es el mantenimiento que se desarrolla aprovechando que el equipo no está siendo utilizado, por ejemplo, cuando se para la actividad en una temporada de baja demanda. De ese modo, se evita que se tenga que detener la producción en momentos donde sería inoportuno y más costoso.

2.1.2 Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición de este: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

La confiabilidad en relación con la misión específica asignada a un activo. En lugar de centrarse meramente en la prevención de fallas, es un indicador que se enfoca en asegurar que el equipo pueda cumplir consistentemente su función designada, durante un periodo establecido y bajo condiciones predeterminadas.

De este modo, se pone énfasis en la habilidad de un equipo o componente para continuar ejecutando las tareas esperadas sin interrupciones o contratiempos, es decir, sin presentar fallas.

La confiabilidad puede calcularse utilizando la función de confiabilidad exponencial, que se basa en el supuesto de que las fallas se distribuyen aleatoriamente a lo largo del tiempo. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Confiabilidad (R)} = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.1})$$

Donde:

- ✚ R: es la confiabilidad del sistema
- ✚ λ (lambda): es la tasa de fallas del sistema, normalmente expresada como fallas por unidad de tiempo.
- ✚ T: es el periodo de tiempo para el que se calcula la confiabilidad.
- ✚ e: es la base del logaritmo natural (aproximadamente 2.718).

Un ejemplo, se calculará la confiabilidad de una bomba centrífuga del ejemplo anterior para un periodo de tiempo futuro de 360 horas.

Inicialmente, se calcula la tasa de fallas (λ), y para ello se necesitan algunos datos históricos sobre el rendimiento de la máquina. Se dispone de datos sobre el número de fallas para la bomba, se supone que en el último trimestre esta tuvo un tiempo total de funcionamiento de 1116 horas, y se presentaron un total de 4 fallas, así:

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}{\text{Tiempo total funcionamiento}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.2})$$

$$\lambda = \frac{4}{1116} = 0.003 \frac{\text{fallas}}{\text{hora}}$$

Luego, se procede a estimar la confiabilidad de la máquina para el próximo mes, suponiendo que el equipo tendrá un tiempo total de funcionamiento de 360 horas en ese mes. Se reemplaza el valor de lamda obtenido en la ecuación N° 2.2 en la ecuación N° 2.1, tenemos:

$$\text{confiabilidad (R)} = 2,718^{(-0,003*360)} = 0,339 = 33,9 \%$$

Este resultado indica para las próximas 360 horas de funcionamiento, existe una probabilidad de 33,9 % de que el equipo funcione sin fallas.

2.1.3 Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente realice la función prevista cuando sea requerido. Se expresa en porcentaje y tiene en cuenta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del sistema.

La disponibilidad de un equipo puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$\text{Dispon.} = \frac{\text{hrs totales func.planeadas} - \text{hrs en paradas}}{\text{hrs totales func.planeadas}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.3})$$

Un ejemplo de cálculo de disponibilidad, se calcula la disponibilidad para una bomba centrífuga para el último trimestre (julio, agosto, septiembre) la cual opera de lunes a viernes, 18 horas por día, y que sufrió 4 paradas de 24, 16, 18 y 6 respectivamente durante esos 3 meses.

Luego tenemos que, en total, el último trimestre tuvo 62 días laborales y que en total la bomba tuvo un tiempo total de funcionamiento planeado de 1116 horas. Ahora, se suma los tiempos de parada que la bomba presentó durante los 62 días. En este caso, la suma del tiempo de horas en paradas fue 64 horas.

Finalmente, se reemplazan los datos en la ecuación N° 2.3 y se calcula la disponibilidad:

$$\text{Disponibilidad} = \left(\frac{1116 - 64}{1116} \right) * 100 = 94,2 \%$$

2.1.4 Diagrama de Pareto

Generalmente en las industrias intensivas en activos físicos se realiza un control estadístico de las fallas ocurridas en un periodo de análisis, el cual normalmente tiene una frecuencia mensual y es parte del informe de gestión de la unidad de mantenimiento.

Salvo algunas excepciones de sectores industriales específicos, la gran mayoría tiene únicamente como indicador de fallas las horas de detención producto de fallas de los equipos a cargo. Este indicador es generalmente llamado “atraso” y se asigna a la unidad responsable de la detención.

Existe una herramienta para análisis estadístico para establecer correctas estrategias de mantenimiento, una es llamada el diagrama de Pareto creada por Vilfredo Pareto, la cual establece que el grupo minoritario del 20 % posee el 80 % del fenómeno.

En el caso de los eventos de fallas en activos físicos, el principio se lee de la siguiente forma: “existe el 20 % de los equipos que provoca el 80% del tiempo total de detenciones producto de eventos de falla”.

Una vez encontrados los equipos que pertenecen a dicho grupo, es posible aplicar alguna metodología que permita disminuir el número y tiempo de detenciones en estos equipos.

A continuación, se muestra un ejemplo y caso de estudio de la aplicación del diagrama de Pareto para un conjunto de equipos pertenecientes a un laminador de barras de una empresa siderúrgica. Los datos de nombres de equipos, números de evento de falla y tiempos por equipo fueron modificados por reserva de la empresa.

La figura N° 2.1. “tabla análisis Pareto de tiempos de falla de equipos” muestra en las dos primeras columnas los datos extraídos de la base de datos de la compañía correspondiente al número de fallas y la suma de los tiempos de falla para cada equipo en el lapso de tres meses, ordenado de mayor a menor según el tiempo de falla total. La tercera columna corresponde al porcentaje de tiempo de falla calculado para cada equipo respecto al total de tiempo de falla. La última columna corresponde a la suma acumulada del porcentaje de tiempo de falla total, para el cálculo del porcentaje tiempo de falla total se realiza por medio de la ecuación N° 2.4.

$$\% \text{ tiempo de falla total } i = \frac{\text{tiempo de falla total } i}{\sum \text{ tiempo de falla total}} * 100 \quad (\text{Ec. N}^\circ 2.4)$$

Con los datos obtenidos del porcentaje de tiempo de falla total de la ecuación N° 2.4, esta se reemplaza en la ecuación N° 2.5 para obtener el porcentaje de tiempo de falla total acumulado por equipo y así ir completando los datos de la tabla.

$$\% \text{ t. de falla total ac. equipo } i = \% \text{ t. de falla total } i + \% \text{ t. de falla acumulado } (i - 1) \quad (\text{Ec. N}^\circ 2.5)$$

Tabla N° 2.1: Análisis Pareto de tiempos de fallas de equipos.

	A	B	C	D	E	F
	N°	Equipos	N° de Fallas	Tiempo de Falla Total (min)	% Tiempo de Falla Total	% Tiempo de Falla Acumular'
1					"=D1/\$D\$32"	"=E1+F2"
2						
3	1	Equipo 1	24	1181	21,94%	21,94%
4	2	Equipo 2	15	771	14,32%	36,26%
5	3	Equipo 3	22	421	7,82%	44,08%
6	4	Equipo 4	2	397	7,37%	51,45%
7	5	Equipo 5	7	334	6,20%	57,65%
8	6	Equipo 6	9	272	5,05%	62,70%
9	7	Equipo 7	3	266	4,94%	67,64%
10	8	Equipo 8	26	252	4,68%	72,33%
11	9	Equipo 9	6	194	3,60%	75,93%
12	10	Equipo 10	9	183	3,40%	79,33%
13	11	Equipo 11	5	114	2,12%	81,45%
14	12	Equipo 12	5	109	2,02%	83,47%
15	13	Equipo 13	4	107	1,99%	85,46%
16	14	Equipo 14	1	102	1,89%	87,35%
17	15	Equipo 15	4	100	1,86%	89,21%
18	16	Equipo 16	9	98	1,82%	91,03%
19	17	Equipo 17	4	98	1,82%	92,85%
20	18	Equipo 18	8	94	1,75%	94,60%
21	19	Equipo 19	10	91	1,69%	96,29%
22	20	Equipo 20	5	46	0,85%	97,14%
23	21	Equipo 21	3	46	0,85%	97,99%
24	22	Equipo 22	2	44	0,82%	98,81%
25	23	Equipo 23	1	17	0,32%	99,13%
26	24	Equipo 24	1	17	0,32%	99,44%
27	25	Equipo 25	1	17	0,32%	99,76%
28	26	Equipo 26	1	4	0,07%	99,83%
29	27	Equipo 27	2	4	0,07%	99,91%
30	28	Equipo 28	1	3	0,06%	99,96%
31	29	Equipo 29	1	2	0,04%	100,00%
32		Suma Total	191	5384	100%	

Fuente: predictiva21.com

En este ejemplo se puede observar que la suma de los tiempos de falla total hasta el equipo 10 se obtiene el 79 % del tiempo total de detenciones. Esto implica que 10 sobre 29 equipos, o en términos porcentuales, un 34 % de los equipos generan el 79 % de los tiempos de detenciones. En forma gráfica podemos observar el principio de Pareto aplicado a los tiempos de detenciones.

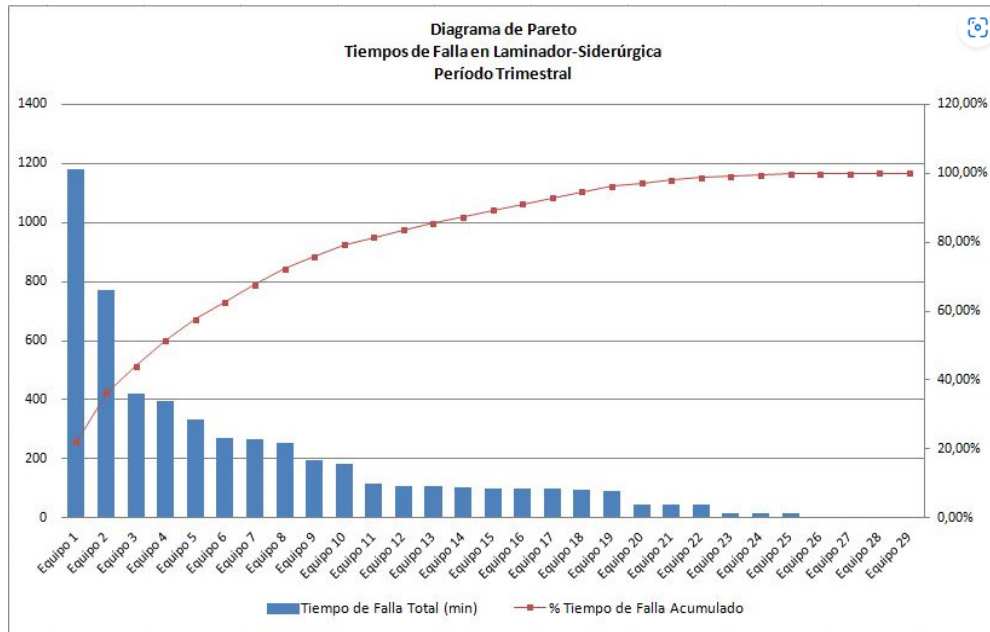


Figura N° 2.1: Grafica diagrama de Pareto de tiempos de falla de equipos.

Fuente: predictiva21.com

El análisis debe contemplar los modos de fallos presentados y sus frecuencias. Si es un modo de fallo preponderante, entonces la investigación se orienta a realizar la metodología RCA (análisis causa raíz), y luego realizar los cambios pertinentes para disminuir o eliminar la probabilidad de ocurrencia de dicho modo de falla. Por el contrario, si se presentan múltiples modos de fallo con cual o similares frecuencias entonces sería aconsejable aplicar un RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) el cual permitiría verificar las respectivas probabilidades y consecuencias de cada modo de fallo y de esta forma realizar una mejora según la importancia de cada una.

Para el control, seguimiento y evaluación de las acciones correctivas es necesario realizar mensual o trimestralmente el análisis de Pareto para verificar si disminuyeron

los tiempos de detención y si entraron nuevos equipos al 20 % que generan el 80 % de los tiempos de detención.

2.1.4.1 Diagrama de dispersión

El diagrama de Pareto antes mostrado, indica tiempos totales de detenciones, pero no precisa información sobre la frecuencia de estas.

A modo de ejemplo podemos tener un equipo que solo detuvo una vez y su detención llevo un considerable tiempo de reparación y por otro lado podemos tener otro equipo que tuvo múltiples detenciones y en cada detención ocupó un bajo tiempo de reparación.

Los dos equipos tienen similar tiempo total de detención, pero estas ocurrieron en distintas maneras. Por esta razón el diagrama de dispersión toma importancia debido a que se puede diferenciar estos dos tipos de fenómenos.

Los diagramas de dispersión son unos gráficos en el que los puntos de datos se trazan en dos ejes, generalmente el eje x y el eje y, para mostrar cuanto afecta una variable a otra. Los puntos de datos generalmente se representan como puntos en el gráfico.

El diagrama de dispersión que se analiza es el diagrama Jack Knife. A partir de la tabla N° 2.2 y considerando los datos de números de fallas y tiempo de falla total por equipo, se tienen las siguientes relaciones que se grafican.

Tabla N° 2.2: Análisis dispersión de tiempos y frecuencia de falla de equipos

	A	B	C	D	E	F	G
	N°	Equipos	N° de Fallas	Tiempo de Falla Total (min)	MTTR	Limite MTTR	Limite N° Detenciones
1							
2					"=D3/C3"	"=\$D\$32/\$C\$32"	"=\$C\$32/\$A\$31"
3	1	Equipo 1	24	1181	49,2	28,2	6,6
4	2	Equipo 2	15	771	51,4	28,2	6,6
5	3	Equipo 3	22	421	19,1	28,2	6,6
6	4	Equipo 4	2	397	198,5	28,2	6,6
7	5	Equipo 5	7	334	47,7	28,2	6,6
8	6	Equipo 6	9	272	30,2	28,2	6,6
9	7	Equipo 7	3	266	88,7	28,2	6,6
10	8	Equipo 8	26	252	9,7	28,2	6,6
11	9	Equipo 9	6	194	32,3	28,2	6,6
12	10	Equipo 10	9	183	20,3	28,2	6,6
13	11	Equipo 11	5	114	22,8	28,2	6,6
14	12	Equipo 12	5	109	21,8	28,2	6,6
15	13	Equipo 13	4	107	26,8	28,2	6,6
16	14	Equipo 14	1	102	102,0	28,2	6,6
17	15	Equipo 15	4	100	25,0	28,2	6,6
18	16	Equipo 16	9	98	10,9	28,2	6,6
19	17	Equipo 17	4	98	24,5	28,2	6,6
20	18	Equipo 18	8	94	11,8	28,2	6,6
21	19	Equipo 19	10	91	9,1	28,2	6,6
22	20	Equipo 20	5	46	9,2	28,2	6,6
23	21	Equipo 21	3	46	15,3	28,2	6,6
24	22	Equipo 22	2	44	22,0	28,2	6,6
25	23	Equipo 23	1	17	17,0	28,2	6,6
26	24	Equipo 24	1	17	17,0	28,2	6,6
27	25	Equipo 25	1	17	17,0	28,2	6,6
28	26	Equipo 26	1	4	4,0	28,2	6,6
29	27	Equipo 27	2	4	2,0	28,2	6,6
30	28	Equipo 28	1	3	3,0	28,2	6,6
31	29	Equipo 29	1	2	2,0	28,2	6,6
32	Suma Total		191	5384			

Fuente: predictiva21.com

para la gráfica de dispersión se tomarán los datos del MTTR y el número de fallas, en la ecuación N° 2.6 tenemos:

$$\text{MTTR Equipo } i = \frac{\text{tiempo de falla total } i}{\text{N° de falla total } i} \quad (\text{Ec. N° 2.6})$$

El diagrama es dividido en 4 cuadrantes según las siguientes rectas, donde se aplican para cada eje las ecuaciones N° 2.7 y N° 2.8.

Eje Y:

$$\text{Limite MTTR} = \frac{\sum \text{ tiempo total falla}}{\sum \text{ Numero de fallas}} \quad (\text{Ec. N° 2.7})$$

Eje x:

$$\text{Limite N}^\circ \text{ detenciones} = \frac{\sum \text{Numero de fallas}}{\sum \text{Numero de equipos}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.8})$$

En las gráficas de dispersión cada cuadrante tiene la siguiente denominación:

- ✚ Cuadrante crónico-agudo: Es aquel en donde se agrupan los equipos que poseen alto número de fallas y un elevado MTTR. (baja confiabilidad y mantenibilidad).
- ✚ Cuadrante crónico: Es aquel que se agrupan los equipos que poseen un alto número de detenciones y un bajo MTTR. (baja confiabilidad).
- ✚ Cuadrante agudo: Es aquel donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un elevado MTTR. (baja mantenibilidad).
- ✚ Cuadrante leve: Es aquel donde se agrupan los equipos que poseen un bajo número de fallas y un bajo MTTR.

El diagrama de dispersión Jack nife se grafica en escala logarítmica para mejor visualización de los resultados.

En la figura N° 2.2 se observa la gráfica de dispersión, se relaciona se relaciona el MTTR con el número de fallas para cada equipo.

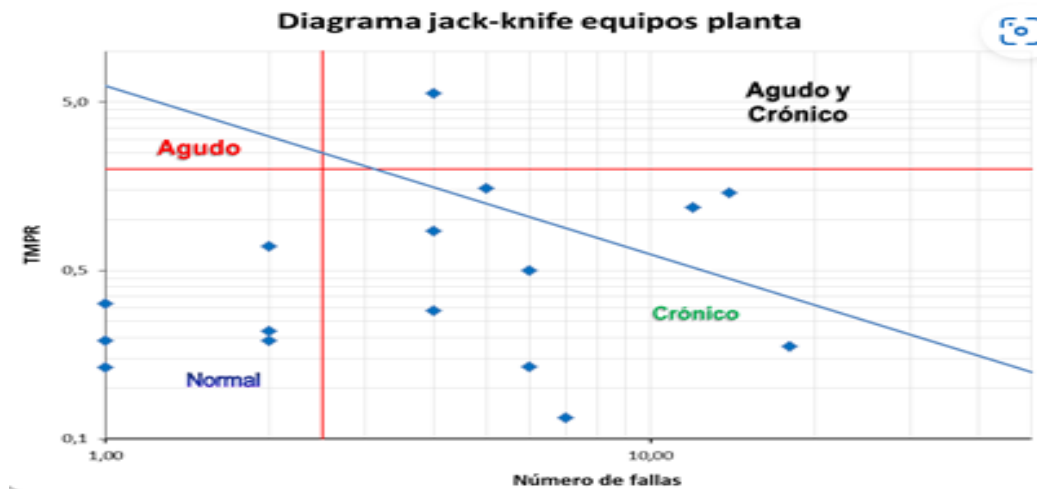


Figura N° 2.2: Grafico Jack nife de dispersión de tiempo/frecuencia de falla de equipos

Fuente: predictiva21.com

2.2 Retardo dinámico

Retardo dinámico o freno regenerativo utilizado en maquinarias o vehículos con transmisión eléctrica, consiste en el frenado eléctrico donde los motores de tracción de la maquina o vehículo funcionan como generadores, donde el rotor o armadura de los motores es girada por una fuerza externa que produce que la corriente generada por el motor-generator sea disipada en un conjunto de resistores, la corriente que se genera al ingresar las cargas de los resistores genera una oposición al movimiento del rotor produciendo un frenado.

2.3 Resistencia eléctrica

Es una de las propiedades eléctricas que se caracteriza por oponerse al flujo de corriente. Es decir que, en un circuito o cualquier aplicación dificulta el paso de la corriente. Esta unidad se mide en ohmios y se representa con la letra R. la cantidad de resistencia que puede existir en un circuito depende del tamaño y del número de resistores que se utilicen, es importante mencionar que, a mayor resistencia, menor corriente circulará por el circuito.

2.3.1 Tipos de resistencias

Dentro de los tipos de resistencias eléctricas se dividen en 2 tipos, las cuales serán definidas a continuación.

2.3.1.1 Resistencias fijas

Son las que presentan un valor que no podemos modificar.

2.3.1.2 Resistencias variables

Son las que presentan un valor que se puede variar modificando la posición de un contacto deslizante. A este tipo de resistencia variable se le llama potenciómetro.

2.4 Alternador

2.4.1 Generador

Generador es una maquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a su interacción de sus componentes principales: el rotor (parte giratoria), y el estator (parte estática). Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las 2 partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido). Los generadores eléctricos se diferencian según el tipo de corriente que producen, dando lugar a 2 grandes grupos: los alternadores y los dinamos; los alternadores generan electricidad en corriente alterna y los dinamos generan electricidad en corriente continua.

2.4.2 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico

2.4.2.1 ley de Faraday

La ley de Faraday está basada en los experimentos que Michael Faraday, físico británico, realizó en 1830. Establece que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto significa que, si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, se necesita una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genere la fuerza electromotriz (f.e.m.).

Faraday también ideó el primer generador electromagnético: el disco de Faraday. Era un disco de cobre que giraba impulsado por una manivela situada entre los extremos de un imán con forma de herradura.

El disco de Faraday demostró que se podía generar electricidad usando magnetismo. Además, abrió la puerta a los conmutadores, dinamos de corriente continua y a los alternadores de corriente.

Cuando dentro de un campo magnético se tiene una espira por donde circula una corriente eléctrica aparecen un par de fuerzas que provocan que la espira gire alrededor de su eje. De esta misma manera, si dentro de un campo magnético se introduce una espira y se hace girar se provocará la corriente inducida. Esta corriente inducida es la responsable de la fuerza electromotriz y será variable en función de la posición de la espira y el campo magnético. La cantidad de corriente inducida o f.e.m. dependerá de la cantidad de flujo magnético (también llamado líneas) que la espira puede cortar, cuanto mayor sea el número, mayor variación de flujo genera y, por lo tanto, mayor fuerza electromotriz.

En la figura N° 2.3 se observa los dos casos extremos, cuando la espira está situada 0° o 180° y no corta líneas, y cuando está a 90° y 270° las corta todas.

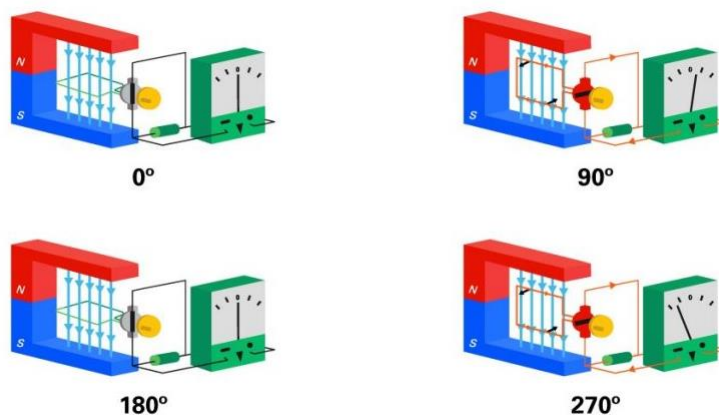


Figura N° 2.3: movimiento de espira en campo magnético.

Fuente: fundaciónendesa.org

La cantidad de corriente inducida o fuerza electromotriz dependerá de la cantidad de flujo magnético (también llamado líneas) que la espira pueda cortar. Cuanto mayor sea el número, mayor variación de flujo genera y por lo tanto mayor fuerza electromotriz.

Al hacer girar la espira dentro del imán se consigue una tensión que variará en función del tiempo. Esta tensión tendrá una forma alterna, puesto que de 180° a 360° los polos estarán invertidos y el valor de la tensión será negativo.

En la figura N° 2.4 se observa las señales de salida de un alternador, en corriente alterna, y de un dinamo en corriente continua.

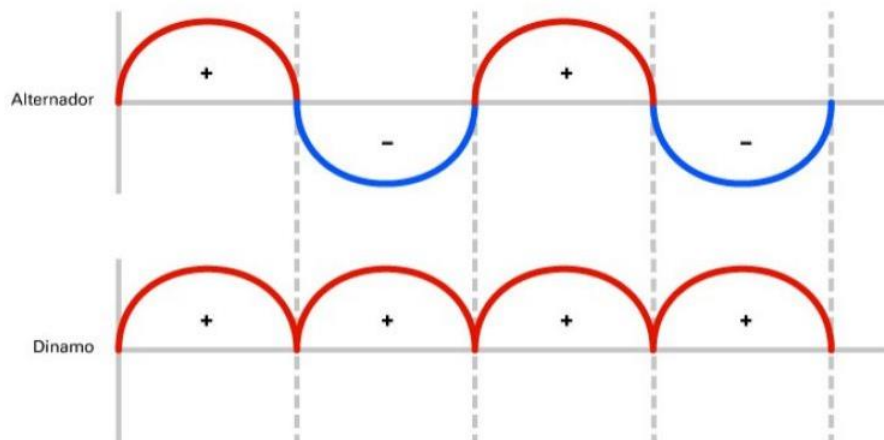


Figura N°2.4: señales de salida de un alternador y un dinamo.

Fuente: fundaciónendesa.org

2.4.3 Generador de corriente alterna

2.4.3.1 El alternador

Los alternadores, también llamados generadores de corriente alterna, son máquinas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, la mayoría son de corriente alterna sincrónica, lo que significa que giran a la velocidad de sincronismo, que está relacionada con el número de polos que tiene la máquina y la frecuencia de la fuerza electromotriz.

Esta relación hace que el motor gire a la misma velocidad que le impone el estator a través del campo magnético. Esta relación viene dada por la ecuación N° 2.9:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (\text{Ec. N}^\circ 2.9)$$

Donde:

- ✚ n: velocidad de sincronismo de la maquina
- ✚ f: frecuencia de la red que está conectada la máquina
- ✚ p: número de pares de polos que tiene la máquina.

En la figura N° 2.5 se observa un modelo de alternador, donde se señala el inductor del alternador el cual es excitado por un método inicial y el inducido que es donde se genera el voltaje alterno de la máquina.

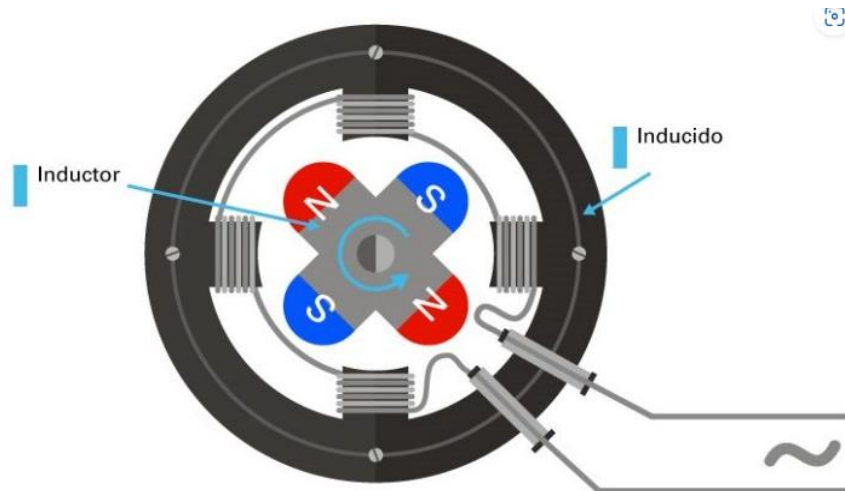


Figura N° 2.5: Modelo del funcionamiento de un alternador.

Fuente: fundaciónendesa.org

Al ser máquinas síncronas que se conectan a la red, los alternadores han de trabajar a una frecuencia determinada. En el caso de Europa y algunas zonas de Latinoamérica se trabaja a 50 Hz, mientras que en estados unidos usan 60 Hz. En aplicaciones especiales como en el caso de la aeronáutica, se utilizan frecuencias elevadas, del orden de los 400 Hz.

2.4.3.2 Estructura del alternador

La estructura del alternador consta de lo siguiente:

Estator: parte fija exterior de la máquina. Está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte. En su interior se encuentra el núcleo del inducido, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido.

Rotor: parte móvil que gira dentro del estator. Contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor. En función de la velocidad de la máquina hay dos formas constructivas:

✚ **Rotor de polos salidos o rueda polar.** Se utiliza en turbinas hidráulicas o motores térmicos para sistemas de baja velocidad.

✚ **Rotor de polos lisos.** Se utiliza para turbinas de vapor y gas (turboalternadores). Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 r.p.m. en función de los polos que tenga.

2.4.4 Funcionamiento del alternador

Los alternadores para generar el campo magnético, hay que aportar una corriente de excitación (I_e) en corriente continua. Esta corriente genera el campo magnético para conseguir la corriente inducida (I_i) que será corriente alterna.

Los alternadores están acoplados a una máquina motriz que les genera la energía mecánica en forma de rotación. Según la máquina motriz se tienen 3 tipos:

✚ **Máquinas de vapor:** se acopla directamente al alternador. Generan una velocidad de giro baja y necesitan un volante de inercia para generar una rotación uniforme.

- ✚ **Motores de combustión interna:** se acoplan directamente y las características son similares al caso anterior.

- ✚ **Turbinas hidráulicas:** la velocidad de funcionamiento tiene un rango muy amplio. Están diseñados para funcionar bien hasta el doble de su velocidad de régimen.

2.5 Excitatriz de los alternadores

Los alternadores necesitan una fuente de corriente continua para alimentar los electroimanes (devanados) que forman el sistema inductor. Por eso, en el interior del rotor. Se incorpora la excitatriz.

La excitatriz es la maquina encargada de suministrar la corriente de excitación a las bobinas del estator, parte donde se genera el campo magnético. Según la forma de producir el flujo magnético inductor se puede hablar de:

- ✚ **Excitación independiente:** la corriente eléctrica proviene de una fuente exterior.

- ✚ **Excitación serie:** la corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas inductoras en serie con el inducido. Toda la corriente inducida a las bobinas del rotor pasa por las bobinas del estator.

- ✚ **Excitación shunt o derivación:** la corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas del estator en paralelo con el inducido. Solo pasa por las bobinas del estator una parte de la corriente inducida.

- ✚ **Excitación compound:** en este caso las bobinas del estator están conectadas tanto en serie como en paralelo con el inducido.

2.6 Efectos del funcionamiento de un alternador

Cuando un alternador funciona conectado a un circuito exterior se crean corrientes inducidas que generan los siguientes efectos:

- ✚ **Caída de tensión en los bobinados inducidos:** la resistividad que nos presentan los conductores hacen que exista una caída de tensión.
- ✚ **Efecto de reacción en el inducido:** el tipo de reacción que se tiene en el inducido dependerá de la carga conectada: resistiva, inductiva y capacitiva.
- ✚ **Efecto de dispersión del flujo magnético:** hay líneas de fuerza que no pasan por el inducido, se pierden o llegan al siguiente polo. Cuanto más alta sea la corriente del inducido, más pérdidas por dispersión se produce.

2.7 Inversor de voltaje

Un inversor de voltaje es un dispositivo electrónico capaz de convertir la corriente directa (CD) a corriente alterna (CA). El objetivo de un inversor es la conversión de un voltaje de entrada en corriente continua, a un voltaje de salida en corriente alterna con especificaciones de tensión y frecuencia de acuerdo con la necesidad del usuario, aunque todos los inversores realizan esta función básica, hay diferentes tipos de inversores que se utilizan para diferentes aplicaciones.

2.7.1 Tipos de inversores

2.7.1.1 Inversores de onda senoidal pura

Los inversores de onda senoidal pura producen una corriente alterna que es idéntica a la que se suministra a través de la red eléctrica. Este tipo de inversores es ideal para alimentar dispositivos sensibles como los ordenadores y los electrodomésticos modernos que utilizan controladores electrónicos.

2.7.1.2 Inversores de onda cuadrada

Los inversores de onda cuadrada son los más simples y menos costosos, pero la corriente alterna que producen no es tan suave como la de los inversores de onda senoidal pura. Por lo tanto, no son adecuados para dispositivos sensibles.

2.7.1.3 Inversores de onda senoidal modificada

Los inversores producen una corriente alterna que es una versión aproximada de una onda senoidal. Son menos costosos que los inversores de onda senoidal pura, pero pueden ser utilizados con una gama más amplia de dispositivos que los inversores de onda cuadrada.

2.7.1.4 Inversores de conexión a red

Estos inversores están diseñados para conectarse directamente a la red eléctrica y alimentar la energía generada por fuentes de energías renovables directamente en la red. Son esenciales para los sistemas de energía solar y eólica que están conectados a la red.

2.7.1.5 Inversores autónomos

Los inversores autónomos, también conocidos como inversores independientes de la red, son ideales para sistemas aislados como los utilizados en casas rodantes, barcos, o viviendas rurales fuera de la red eléctrica. Almacenan energía en baterías para su uso posterior.

2.7.1.6 Inversores multifunción

Los inversores multifunción son un híbrido entre los inversores de conexión de red y los autónomos.

Pueden inyectar la electricidad sobrante en la red eléctrica o almacenarlas en las baterías para su uso posterior. Son perfectos para sistemas de energías renovables que necesitan adaptarse a las variaciones de la demanda y el suministro de energía.

2.7.1.7 Inversores de baterías

Los inversores de baterías, utilizados comúnmente en vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía, convierten la corriente continua de la batería en corriente alterna para el uso en el hogar o para alimentar el motor de un vehículo eléctrico. Estos inversores deben ser muy eficientes para maximizar la duración de la batería.

2.8 Puente rectificador

El puente rectificador es básicamente un circuito que se usa cuando se necesita convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (DC). Se puede utilizar en variadas aplicaciones, como fuentes de alimentación conmutadas y fuentes de alimentación lineales. Además, los puentes rectificadores se pueden encontrar en dispositivos como equipos de soldadura eléctrica o radios.

Un circuito rectificador de puente típico consta de un voltaje de CA de entrada, cuatro diodos y una resistencia de carga conectada a la terminal positiva de la señal CC de salida.

La eficiencia máxima de un puente rectificador está determinada por la relación entre la potencia de salida de CC y la potencia de entrada de CA. Puede alcanzar hasta 81.2 %, aunque, en realidad, esta cifra tiende a ser mucho más baja debido a las caídas de voltaje debido a la corriente que fluye a través de los diodos.

2.8.1 Puente rectificador de onda completa

Un rectificador de onda completa es un convertidor de CC eficiente que utiliza 4 diodos en un circuito de puente para convertir la corriente alterna (CA), en corriente continua

(CC). El beneficio principal de este tipo de circuito es que no necesita un costoso transformador de derivación central, lo que reduce significativamente tanto su tamaño como su costo.

Cuando se aplica una señal de CA a un puente rectificador como el de la Figura N° 2.6, los diodos D1 y D3 se polarizan en directa, mientras que los diodos D2 y D4 se polarizan en inversa. Esto hace que la corriente de carga fluya a través de los diodos D2 y D3, generando una resistencia R_L en la resistencia de carga de salida.

En un semiciclo negativo, los diodos D2 y D4 se polarizan en directa mientras que D1 y D3 se polarizan en inversa. Esto hace que la corriente fluya a través de los diodos D2 y D3 hacia la salida R_L .

Los voltajes de salida del puente rectificador son como pulsos, por lo que para obtener un suministro de CC uniforme, se debe filtrar con un capacitor. El capacitor se carga hasta que el voltaje rectificado alcanza su pico, luego se descarga en el circuito de carga cuando baja para suavizar la forma de onda de la rectificación.

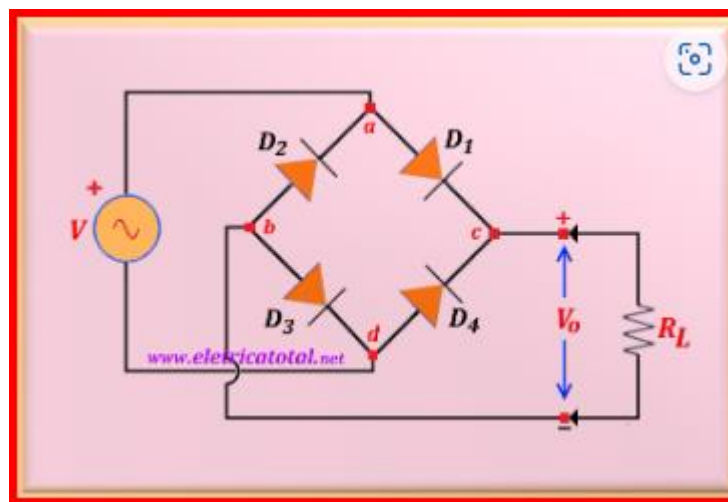


Figura N° 2.6: Puente rectificador de onda completa.

Fuente: eletricatotal.com

2.8.2 Tipos de puentes rectificadores

Los puentes rectificadores son productos de módulos semiconductores que convierten la entrada de CA en una salida de CC, que se puede utilizar para alimentar dispositivos. Se encuentran comúnmente en electrodomésticos y artículos eléctricos en el lugar de trabajo.

2.8.2.1 Monofásico

Un puente rectificador monofásico es un circuito rectificador ampliamente utilizado en aplicaciones tales como fuentes de alimentación conmutadas y fuentes de alimentación lineales. Utiliza 4 diodos (D1, D2, D3 Y D4) junto con una resistencia de carga (RL) para convertir CA en CC de manera eficiente.

El proceso de rectificación depende de la polaridad de una forma de onda CA de entrada. Cuando aparece el medio ciclo positivo en esta señal, los diodos D1 y D3 se polarizan directamente mientras que los diodos D2 y D4 se polarizan inversamente. Como resultado, la corriente comienza a fluir a través de la ruta en cortocircuito de D3 y D4.

2.8.2.2 Trifásico

Utilizado para convertir voltaje de CA trifásico en CC, este dispositivo consta de 6 diodos y proporciona una solución rentable para rectificar la fuente de alimentación de CA en CC, sin necesidad de un transformador de derivación central.

Los rectificadores trifásicos ofrecen una mayor eficiencia de rectificación en comparación con los rectificadores monofásicos, ya que su corriente de salida es menor y se requieren menos componentes de CA para la salida de CC.

El rectificador de puente trifásico es una solución popular para convertir la alimentación de CA en una salida de CC constante, pero requiere disipadores de calor costosos y soluciones de refrigeración activa, que se suman a su tamaño y complejidad.

2.8.2.3 Fase variable

Los puentes rectificadores de fase variable (VPBR), son convertidores de energía eléctrica que transforman el voltaje de entrada de CA en voltaje de salida CC. Se encuentran comúnmente en sistemas que operan a altas frecuencias.

Estos circuitos tienen muchas aplicaciones, como la alimentación de motores, accionamientos eléctricos, iluminación y otros dispositivos electrónicos. El circuito de rectificación de estos dispositivos suele construirse con diodos.

2.8.3 Aplicaciones de un puente rectificador

Un puente rectificador tiene muchas aplicaciones en dispositivos electrónicos de alimentación de CA como electrodomésticos, controladores de motores, procesos de modulación y procesos de soldadura.

El beneficio principal de usar un puente rectificador es que no hay necesidad de un transformador de derivación central, lo que reduce el tamaño y el costo del dispositivo.

2.8.4 Ventajas y desventajas de un puente rectificador

2.8.4.1 Eficiencia

Proporciona una salida más suave y confiable que el rectificador de media onda y se puede emplear en la modulación de señales de radio o soldadura eléctrica para generar voltaje de CC polarizado.

2.8.4.2 Factor de ondulación

El factor de ondulación, o la cantidad de componentes de CA presentes en una salida rectificadora de un puente rectificador, debe mantenerse lo más bajo posible. La forma más eficiente de reducir este número es mediante el uso de condensadores de filtro que filtran las formas de onda no sinusoidales.

2.8.4.3 Voltaje inverso pico

Los puentes rectificadores producen el doble de la tensión inversa máxima de un rectificador de onda completa con derivación central, lo que elimina la necesidad de un transformador de derivación central adicional. Además, su salida tiene factores de utilización de transformador más altos que los rectificadores de onda completa con derivación central, lo que los hace más adecuados para muchas aplicaciones. Sin embargo, su naturaleza pulsante puede presentar riesgos para los equipos electrónicos sensibles.

2.8.4.4 Costos

Una de las ventajas de este tipo de rectificador es que no necesita un transformador de derivación central, lo que reduce tanto el costo como el tamaño del dispositivo. Sin embargo, este tipo de rectificador también tiene algunas desventajas. Por ejemplo, la pérdida de potencia con este rectificador es mucho mayor en comparación con un rectificador de media onda o un rectificador de onda completa con derivación central.

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL SISTEMA ELECTRICO CAMION 830E-1AC

El equipo para estudiar es un camión de transmisión eléctrica de la marca Komatsu, donde su estructura principal o tren de potencia está conformado por los siguientes componentes: motor Diesel Cummins QSK60, alternador principal GTA 41 GENERAL ELECTRIC. Además, un sistema de control dentro del equipo como es el sistema de control del alternador conformado por un panel AFSE (excitador estático del campo del alternador) y un sistema de potencia conformado por 2 inversores con 12 módulos IGBT, cada uno y un sistema de retardo dinámico para el freno regenerativo del equipo que está compuesto por 12 o 14 resistores, 2 modulo chopper, 2 contactores, 2 motores DC blowers o sopladores.

3.1 Alternador GTA 41

Este alternador, que se muestra en la figura N° 3.1 es una maquina eléctrica que al igual que los motores de inducción presentan una construcción robusta y sencilla, este consta de un rotor donde se produce el campo magnético de corriente continua, un estator que es el que corta el campo magnético para inducir voltaje.



Figura N° 3.1: alternador principal.

Fuente: curso producto eléctrico AC 930.

Este componente para su excitación en el rotor utiliza 2 anillos rozantes con 3 escobillas cada una, estos componentes funcionan en todo momento en el equipo pasando por una excitación inicial producida por las baterías de 24 volts y después cambia a una autoexcitación la cual es apoyada por una bobina terciaria ubicada en el mismo alternador, finalmente se tiene la salida trifásica que es la que entrega la energía que va a estar disponible para los componentes del equipo.

En la figura N° 3.2 se observa una imagen con los detalles más importante del alternador principal, donde se nombran sus componentes antes mencionados.

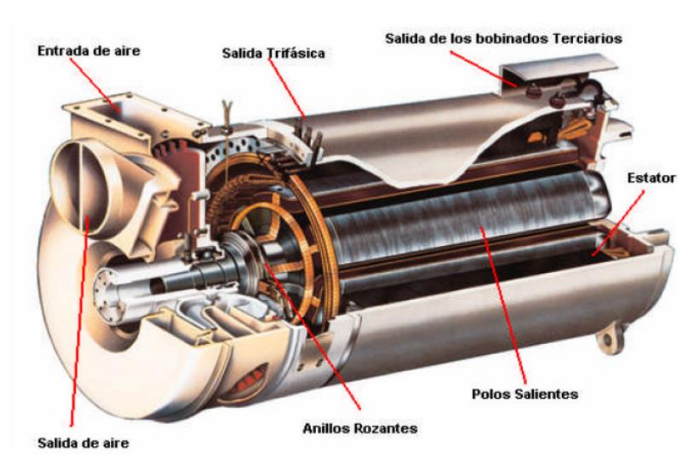


Figura N° 3.2.: bobina terciaria y anillos rozantes de alternador principal.

Fuente: curso producto eléctrico AC 930.

3.2 Circuitos y componentes de control del alternador principal

El alternador principal su función es de generar la energía necesaria para el funcionamiento del camión, el nivel de energía generado por este componente dependerá del requerimiento que solicite el equipo y el estado de funcionamiento en el cual éste se encuentre. Para el control del nivel de energía trifásica generada por el alternador el camión tiene un circuito de control específicamente en el bobinado de campo del alternador, este circuito está integrado en un módulo llamado AFSE (excitador estático del campo del alternador).

Este componente se observa en la figura N° 3.3, es el encargado de regular la alimentación hacia las bobinas de campo del alternador por medio de señales externas que monitorean los niveles de voltajes de campo y circuitos internos que van a ir regulando la alimentación de estas bobinas.

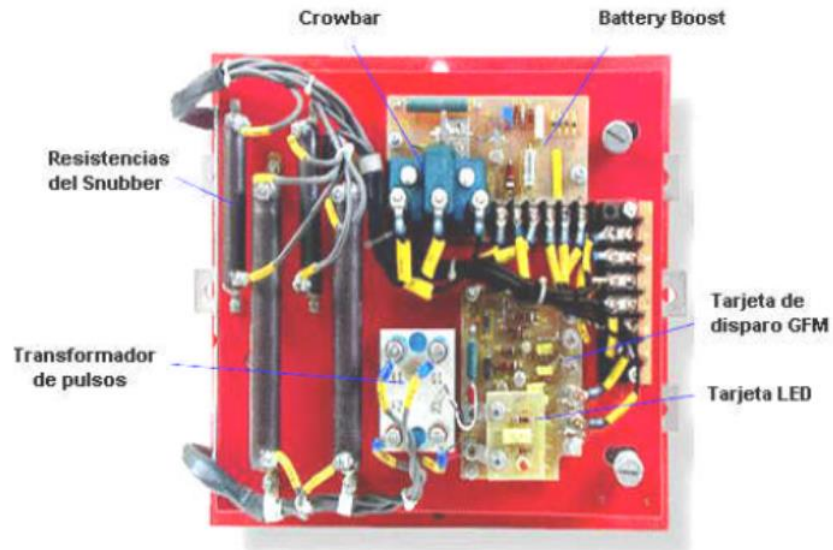


Figura N° 3.3: excitador estático del campo del alternador.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

En el interior del panel AFSE se encuentran las mallas de resistencia snubber, circuito de protección crowbar, tarjeta battery boost, tarjeta disparo GFM, transformadores de pulso y un puente rectificador semicontrolado.

3.2.1 Puente rectificador semicontrolado

El rectificador semicontrolado está compuesto por 2 diodos y 2 semiconductores, el camión emplea los del tipo asimétrico monofásico.

Estos circuitos controlan la energía hacia el bobinado de campo del alternador principal por medio del circuito de excitación, el puente semicontrolado no difiere su funcionamiento en la secuencia de operación de los diodos y tiristores con la de un puente rectificador normal con diodos.

En la figura N° 3.4 se observa el diagrama del puente rectificador con los 2 diodos D1 y D2 además los semiconductores SCR1 Y SCR2.

EL nivel de la energía de salida del puente se realiza por medio del control de disparo de los SCR1 Y SCR2, este control dependerá de los requerimientos de energía solicitados durante la operación del equipo.

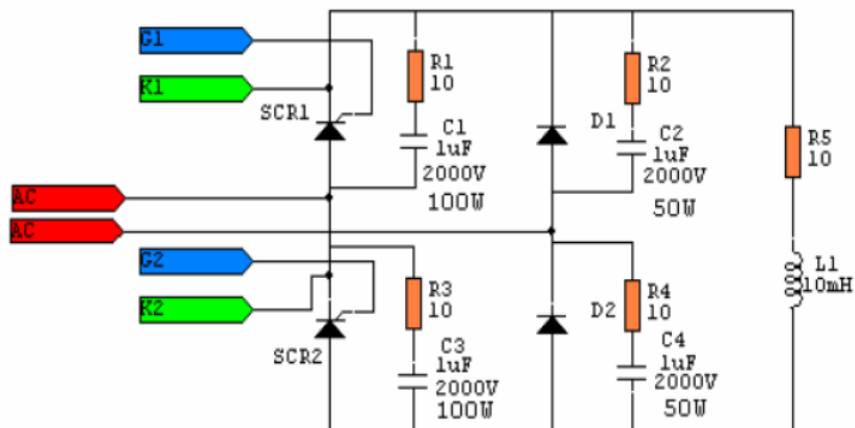


Figura N° 3.4: puente rectificador semicontrolado.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

Para el control de los semiconductores del puente rectificador aparecen dos componentes en este circuito: 2 transformadores de pulso y 2 tarjetas de disparo GFM.

3.2.2 Transformadores de pulso

Los transformadores de pulso en este sistema están diseñados para trabajar con ondas de alta frecuencia (kHz, MHz), además como se hacen con 2 devanados independientes, estos transformadores se emplean para aislar el circuito de control del circuito de potencia de tiristores u otros dispositivos de control.

En la figura N° 3.5 en la izquierda del diagrama se observan los pulsos de disparo y a la derecha las salidas hacia los “gate” de los semiconductores.

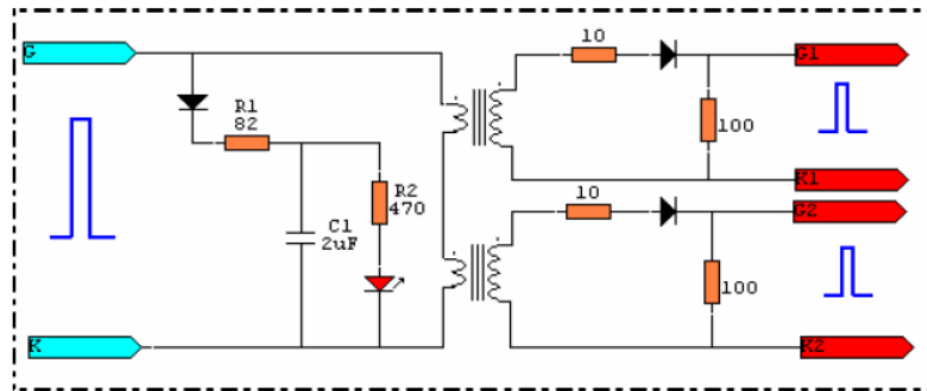


Figura N° 3.5: diagrama de disparo de transformadores de pulso.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

Los pulsos de disparo son simultáneos, es decir que los 2 semiconductores reciben la misma orden de disparo. Se emplean diversas opciones determinadas por el tipo de disparo que se aplica a los tiristores, los tipos de disparo son: 1 solo pulso, 1 pulso prolongado, 1 tren de pulsos.

3.2.3 Tarjeta battery boost

El circuito o tarjeta battery boost tiene la función de hacer el cambio desde la excitación inicial hacia la autoexcitación.

Esto se realiza a través de un circuito en la placa de la tarjeta el cual está compuesto por un rectificador de onda completa, diodo de protección, diodo detector de nivel de voltajes Zener, transistores Q1 Y Q2 y el SCR3 que funciona como interruptor en el cambio de excitación inicial hacia autoexcitación.

En la figura N° 3.6 se encuentran señalizados los componentes de la tarjeta battery boost, específicamente los transistores Q1 y Q2, el detector de voltaje Zener, el puente rectificador y el diodo de protección.

En la figura N° 3.7 se encuentra un diagrama esquemático de los circuitos, donde interactúan los componentes del battery boost antes mencionados.

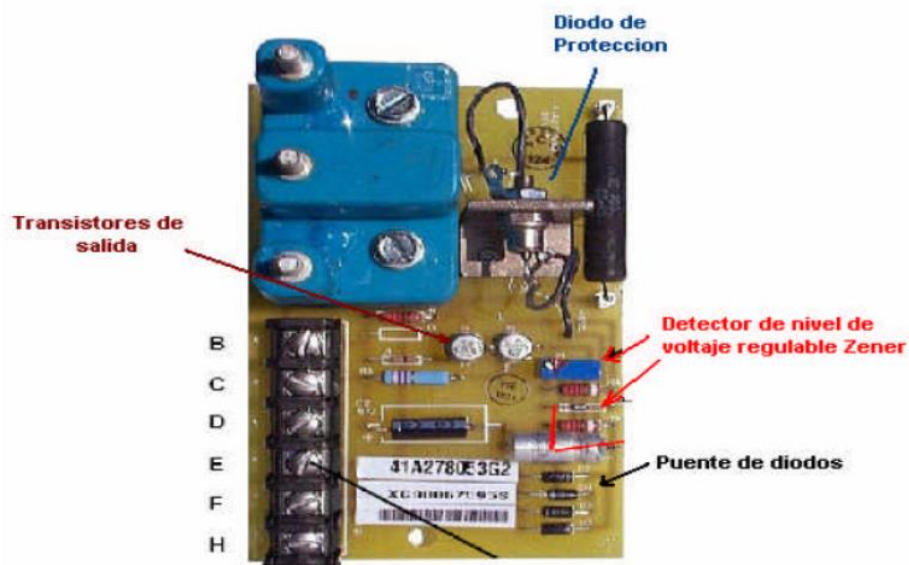


Figura N° 3.6: Tarjeta battery boost y sus componentes.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

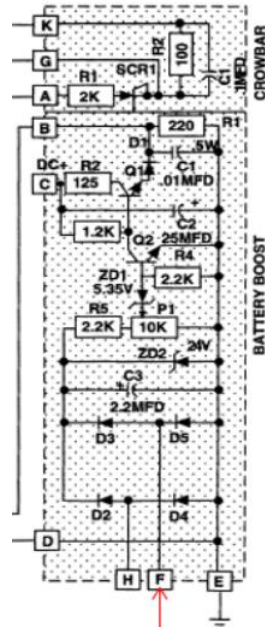


Figura N° 3.7: Diagrama circuito battery boost.

Fuente: presentación tarjetas afse.

El camión al estar energizado o con contacto cerrado se energiza en forma inmediata el gate del SCR3, en esa condición no habrá voltaje en la base del transistor Q1 en cambio los colectores de los transistores Q1 y Q2 estarán energizados. La misma alimentación del colector del transistor Q2 se usa para energizar su propia base entrando en conducción manteniendo energizado el gate del SCR3. Estas condiciones se mantendrán hasta que el equipo alcance en su excitación inicial los 300 Volts en la salida trifásica, en ese momento se realiza el cambio a autoexcitación.

En el proceso de autoexcitación del alternador principal, la alimentación hacia la bobina de campo del alternador principal dependerá 100 % de la bobina terciaria ubicada en el mismo alternador que ingresará a la misma tarjeta battery boost del panel AFSE. Este sistema puede generar voltajes que bordean entre los 600 y 1600 Volts en la barra link del gabinete de potencia. Sin embargo, el voltaje de salida trifásico antes de ingresar a la barra link pasara por un filtro armónico y un rectificador de onda completa.

3.3 Filtro armónico o filtro FP

El filtro FP de la figura N° 3.8 está formado por una red RC en triangulo colocada en paralelo con el alternador. Tiene por función desviar las corrientes de alta frecuencia que pueda generar el alternador en la salida trifásica.

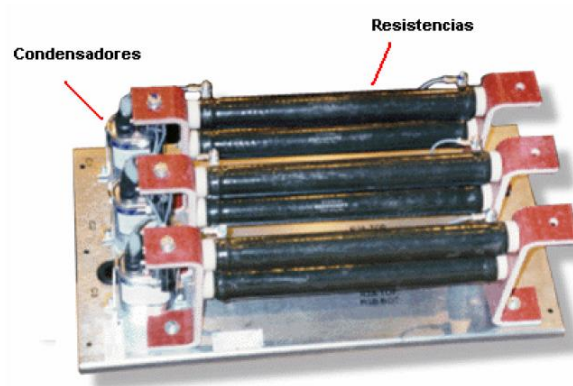


Figura N° 3.8: Filtro armónico o filtro panel.

Fuente: electrónica avanzada camiones 830/930.

El alternador trifásico del camión tiene durante su operación, voltajes y frecuencias variables, donde se producirán periodos de transitorios donde aparecerán picos de voltajes.

Los picos de voltajes generan ondas de frecuencia diferente a la fundamental. Estas frecuencias son múltiplos de la fundamental, y son las que encontrarán una ruta fácil en el circuito RC. Estas ondas son denominadas armónicos y el circuito RC filtro.

Si estos picos de voltajes o ondas armónicas llegan al rectificador de onda completa puede producir un daño en los diodos de potencia del rectificador, ya que estos picos de voltajes de forma inversa pueden superar los voltajes de ruptura de los diodos provocando fallas en el equipo que afectan directamente a la operación. Por eso este circuito de protección es muy importante en el funcionamiento del equipo.

En la figura N° 3.9 se observa un diagrama de los transitorios y del filtro RC donde los valores resistivos son de 25 Ohmios y el de los capacitores de 0.5 μ F.

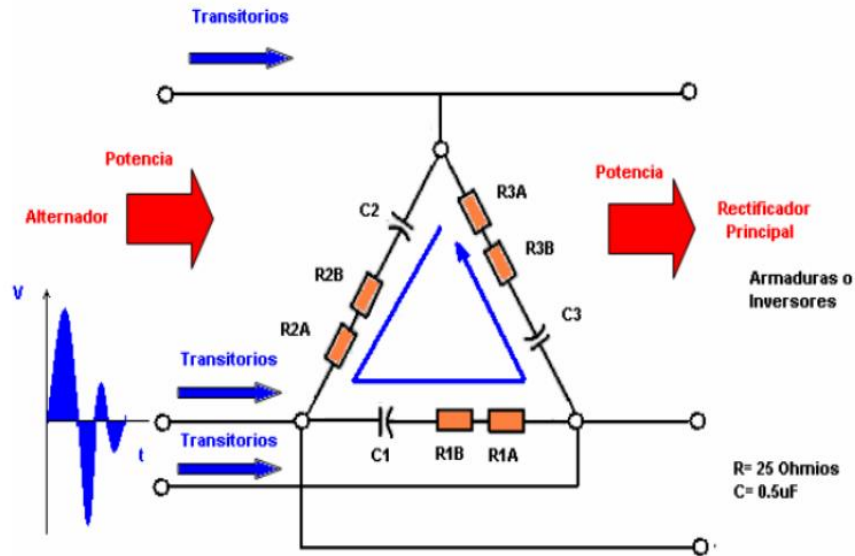


Figura N° 3.9: Diagrama esquemático de filtro RC y transitorios.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

3.4 Rectificador principal

El rectificador principal o también llamado convertidor trifásico no controlado de 6 pulsos, tiene por objetivo convertir la tensión alterna proveniente del alternador principal en tensión continua. Es un rectificador de onda completa, contiene 6 diodos de potencia del tipo press-pack (ficha de hockey) con la capacidad de conducir miles de amperios y de soportar tensiones inversas del orden de los miles de voltios.

En la figura N° 3.10 se observa el rectificador principal y el conexionado interno del componente.

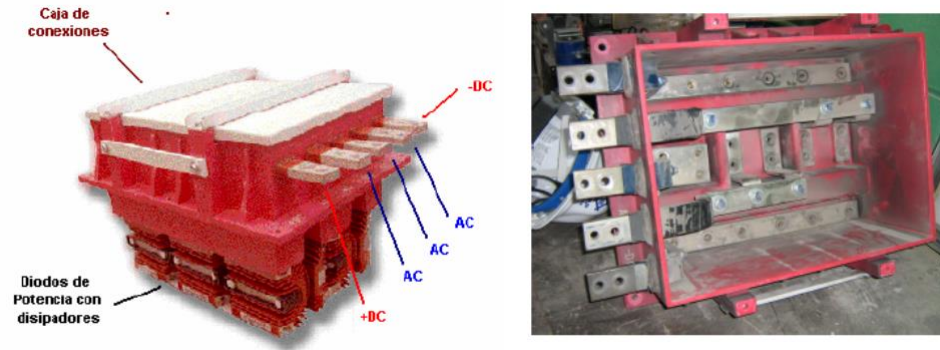


Figura N° 3.10: Rectificador principal y vista de caja de conexiones.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

En la figura N° 3.11, se observa un diodo de potencia de los 6 del rectificador de onda completa, donde se menciona el ánodo y cátodo en la imagen.



**Figura N° 3.11: Diodo de potencia tipo press-pack (ficha de hockey),
rectificador principal.**

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

Así secuencialmente después que el voltaje generado por el alternador principal pasa por el filtro armónico, rectificador de onda completa. El voltaje es transformado de alterno a continua y queda a disposición en un gabinete de potencia que está conformado por una barra link y 2 inversores de corriente con 12 módulos IGBT cada uno.

3.5 Gabinete de potencia

En la figura N° 3.12, se observan los 28 módulos IGBT con sus respectivos sistemas de control para su accionamiento y apagado, también en la parte inferior se observan 10 capacitores de línea de 2700 μF y en la parte superior del gabinete se pueden observar 2 barras metálicas de forma horizontal en el gabinete. De las 2 barras la superior es la barra link positiva y la inferior la barra link negativa, en estas barras estará a disposición la energía de corriente continua generada por el alternador principal y procesada por el rectificador, la energía en la barra será aproximadamente entre 600 y 1600 Volts para ser utilizada por el camión para poder realizar torque y por consecuencia el movimiento de los motores de tracción.



Figura N° 3.12: Gabinete de potencia con los módulos de disparo o IGBT.

Fuente: curso producto eléctrico 930AC.

En la figura N° 3.13 se especifican los inversores 1 y 2 correspondientes al control de los motores de tracción 1 y 2, además de la ubicación específica de los módulos chopper y banco de condensadores.

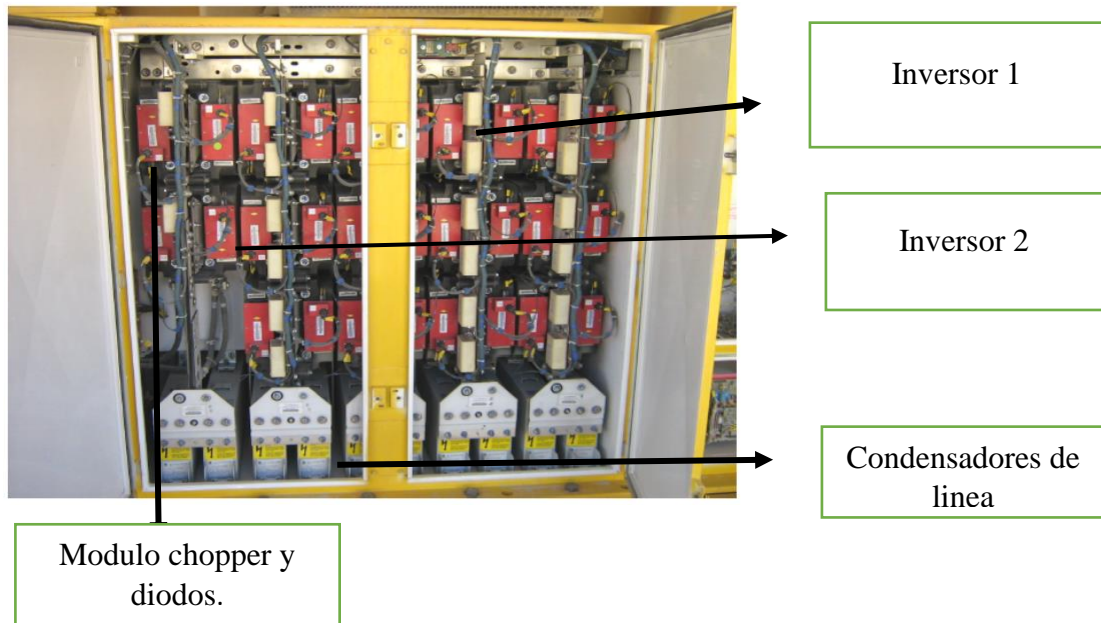


Figura N° 3.13: Gabinete de potencia camión 830E-1AC.

Fuente: curso producto eléctrico 930AC.

3.6 Descripción gabinete PSC (sistema control de propulsión)

3.6.1 Inversor 1

El inversor 1 está compuesto por 12 módulos de fase o IGBT, este inversor será el encargado de alimentar por medio de una secuencia de disparos a un motor de tracción 1, para poder desarrollar el torque necesario y así producir movimiento.

3.6.2 Inversor 2

El inversor 2 está compuesto por 12 módulos IGBT, este inversor será el encargado de alimentar por medio de una secuencia de disparos a un motor de tracción 2 para poder desarrollar el torque necesario y así producir movimiento.

3.6.3 Modulo chopper y diodos

Llamados también “troceadores”, son 2 módulos que trabajan con una malla resistiva, estos módulos funcionan cuando el camión está en la modalidad de retardo dinámico o freno regenerativo accionando de manera proporcional una malla resistiva dependiendo el requerimiento de frenado del camión

3.6.4 Condensadores de línea

Los condensadores de línea estarán ubicados en paralelo a la alimentación de cada inversor de los motores de tracción, serán condensadores por cada inversor y su función será filtrar la señal de alimentación hacia cada inversor.

3.7 Motor de tracción AC

El motor de tracción o motor AC es el encargado de realizar el torque necesario para generar la propulsión o movimiento del equipo. Este componente es un motor de inducción trifásico al que se le conoce como motor de inducción trifásico jaula de ardilla y también como motor asíncrono trifásico jaula de ardilla.

En la figura N° 3.14 se observan los componentes del motor eléctrico el cual está compuesto por una armadura o rotor, el rotor aparentemente es un bloque macizo de metal, pero en realidad es un conjunto de barras por donde circula corriente inducida. Las barras forman algo parecido a una jaula, de allí su nombre “jaula de ardilla”. y un estator con 3 bobinas con un desfase en 120 grados eléctricos para obtener un campo magnético rotatorio y conectadas en estrella, estas características son para ambos motores que se encuentran en el equipo.

funcionamiento del motor con un torque positivo. En este cuadrante su valor de deslizamiento “S” estará entre valores de 0 y 1. También se observa el cuadrante de deslizamiento menor que 0, donde se producirá un torque negativo en el motor, comportándose en este estado como generador. El cuadrante de deslizamiento mayor que 1, donde los campos magnéticos irán en direcciones contrarias en este estado el motor entra en estado de freno regenerativo o retardo.

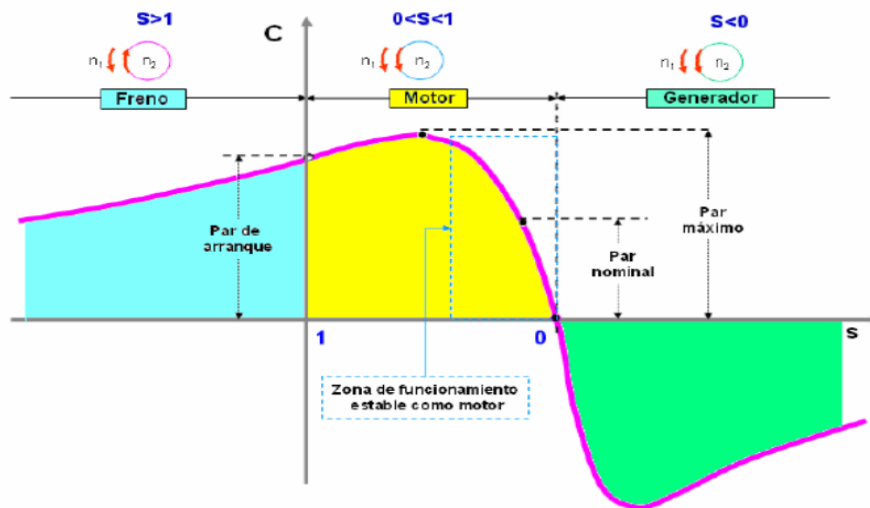


Figura N°3.15: cuadrantes de funcionamiento del motor AC.

Fuente: Curso simunea modulo 11

3.7.2 Descripción del funcionamiento del sistema de motores de tracción.

En el diagrama de la figura N° 3.16 se observa el circuito básico de alimentación para el funcionamiento de los motores AC o motores de tracción. En este circuito se describe según la figura una DC power supply, que es la barra link que contiene la energía DC proveniente del alternador principal, además se tiene los filtro DC que son los condensadores de línea encargados de filtrar la alimentación hacia los inversores. Se tiene finalmente la fuente del inversor que no es más que nada el inversor de corriente ejemplificado en la figura con 6 interruptores que son los módulos de fase de cada inversor, conectándose en modo estrella en el motor AC.

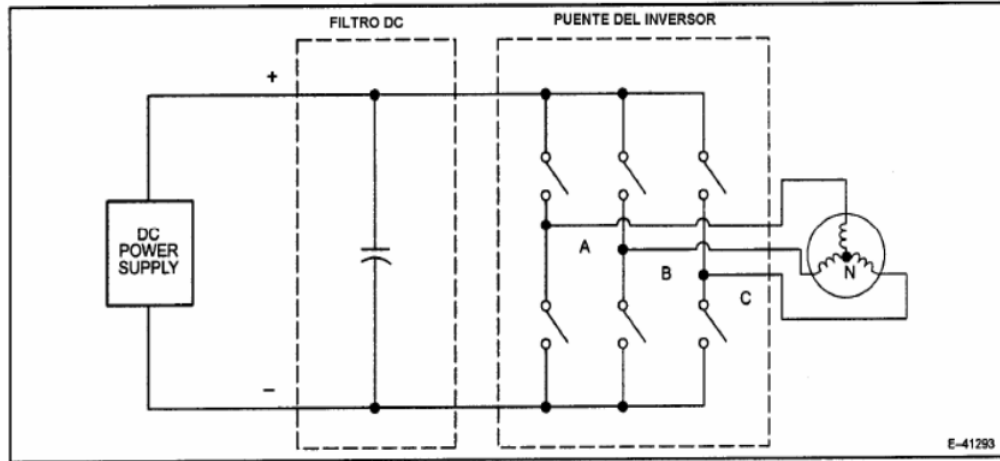


Figura N° 3.16: diagrama simple del método de funcionamiento de un motor AC.

Fuente: publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC.

En la figura N° 3.17 se observa otro instante del modo de trabajo de los inversores en el equipo, se puede ver una conducción del módulo positivo “B”, hacia el motor de tracción y retorno por los módulos negativos “A” y “C”.

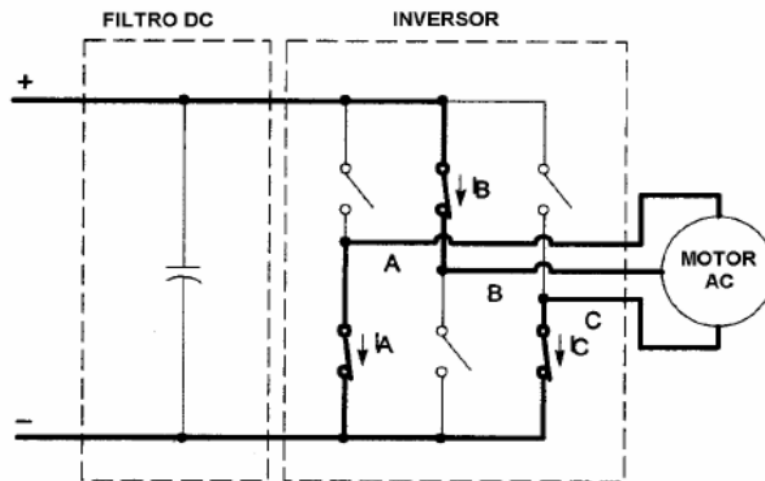


Figura N° 3.17: configuración del inversor con conducción por módulo B/ y retorno por fase A y C.

Fuente: publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC.

En la figura N° 3.18 se observa otro instante de configuración, en la cual se tiene una conducción positiva por dos módulos de fase del inversor en este caso los módulos “A” y “C” y retorno por el módulo negativo “B”.

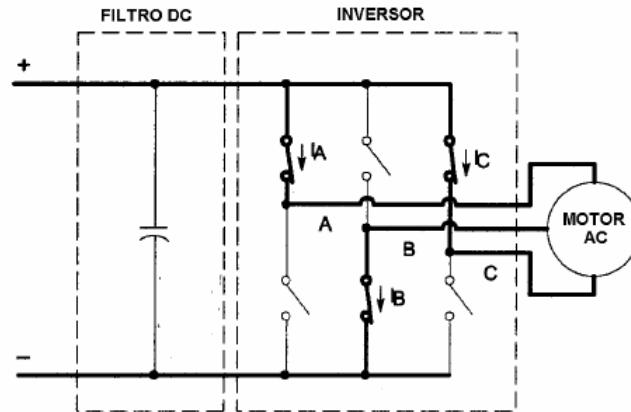


Figura N° 3.18: Configuración del inversor con conducción por módulos A, C y retorno por fase B.

Fuente: publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC.

En la figura N° 3.19 se observa la alimentación positiva desde el módulo “A”, hacia el motor de tracción y retorno por los módulos negativos “B” y “C”.

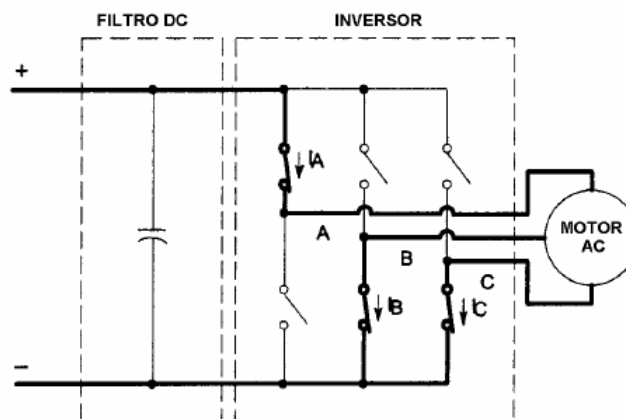


Figura 3.19: configuración del inversor con conducción por modulo fase A y retorno por fase B y C.

Fuente: publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC.

La figura N° 3.20 es una configuración “shoot trough”, en esta se observa una conducción simultanea entre el módulo positivo “A” y modulo positivo “B”. Esta condición del inversor obedece a una condición de falla del componente, en la cual el inversor está en condición de cortocircuito de la barra link positiva y negativa.

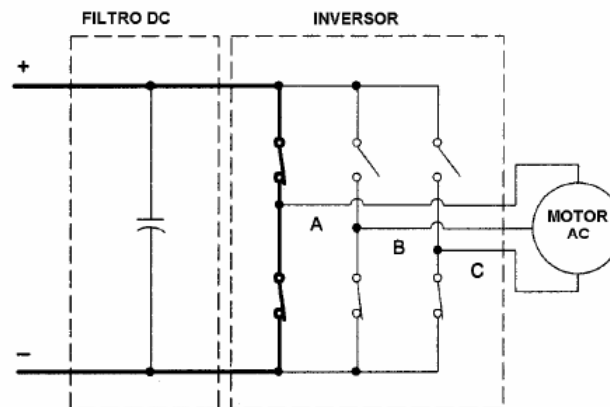


Figura 3.20: configuración “SHOOT THROUGH” y representa una condición de cortocircuito a través del filtro DC.

Fuente: publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC.

Hasta ahora se ha descrito todo lo relacionado de los componentes principales para el funcionamiento del camión, estos componentes están relacionados entre sí. Para que exista esta relación y un correcto funcionamiento el camión tiene un sistema de control compuesto por 8 tarjetas entre digitales, análogas y de fibra óptica.

3.8 Panel ICP

El panel ICP o grupo de control 17KG535 es un sistema llamado invertex creado por la empresa General Electric, este sistema está compuesto por 8 tarjetas electrónicas análogas y digitales encargadas del control del sistema eléctrico del camión, para así tener un funcionamiento eficiente controlando los componentes relacionados al sistema y generando información para seguimientos y diagnósticos del sistema.



Figura N° 3.21: Panel de control integrado ICP

Fuente: Imagen propia.

En la figura N° 3.22 se observan las tarjetas electrónicas que componen el panel de control integrado, estos componentes se relacionan entre sí por medio de una placa madre llamada back plane que estará encargada de comunicar de manera física estos componentes, el panel es uno de los componentes más importantes del equipo.

A continuación, se nombran las tarjetas según su ubicación en la figura:

- ✚ 3 tarjeta CPU (control del sistema de propulsión) 17FB174 PSC.
- ✚ 6 tarjeta análoga PSC 17FB173.
- ✚ 5 tarjeta digital PSC 17FB104.
- ✚ 7 tarjeta CPU (interfaz de control del camión) 17FB174 TCI.
- ✚ 8 tarjeta análoga TCI 17FB160.
- ✚ 9 tarjeta digital TCI 17FB104.
- ✚ 11 tarjeta TMC INV1 17FB179.
- ✚ 12 tarjeta TMC INV2 17FB179.

- ✚ 1 tarjeta de fibra óptica FODC1.
- ✚ 13 tarjeta de fibra óptica FODC2.

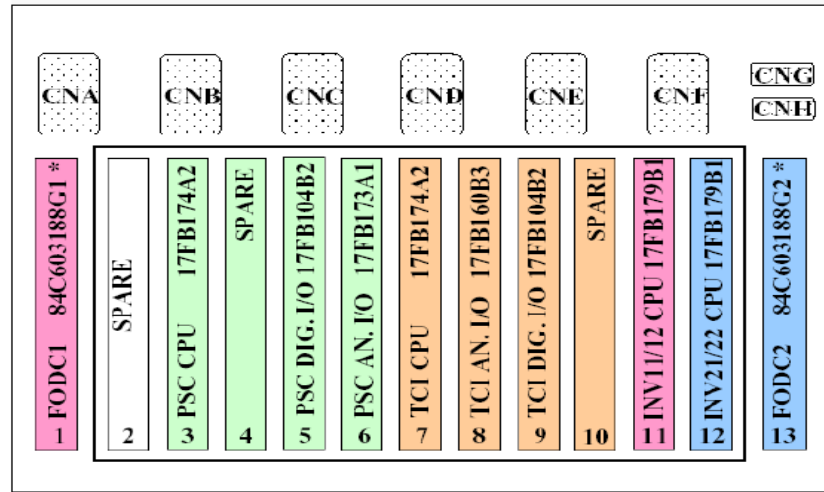


Figura N° 3.22: Gabinete de control integrado con las 8 tarjetas análogas y digitales mencionadas.

Fuente: curso producto AC 930E4.

El sistema de control controla los dos inversores, los circuitos de retardo, relés y contactores y otros circuitos externos para proporcionar:

- ✚ Control de propulsión y deslizamiento de ruedas.
- ✚ Control de retardo y deslizamiento de ruedas.
- ✚ Control de velocidad del motor diésel.
- ✚ Detección de eventos.

Este panel contiene 2 tarjetas de memoria para los 2 paneles internos PSC y TCI, estas tarjetas son las 17FB174A2. Estas tarjetas se comunican entre si en la PSC (sistema de control de propulsión), y la TCI (interfase de control del camión), para intercambiar datos de estado y control del sistema de propulsión, recibir los datos de estado de los sistemas del camión requerido. Intercambiar datos PTU de propulsión (tiempo real, históricos, etc.), accionamiento de luces de estado y de advertencia de la cabina.

El panel TCI es la interfase principal entre los sistemas y dispositivos del camión y el personal de servicio. El TCI permite:

- ✚ Comunicarse con el PSC para intercambiar y proporcionar datos de estado de los sistemas del camión.
- ✚ Comunicarse con la unidad de prueba portátil (PTU) para intercambiar datos del TCI.
- ✚ TCI monitorea lo siguiente:
 - Sistema de control del motor
 - Información de carga útil.
 - Temperatura ambiente y del sistema de propulsión.
 - Entradas de control del operador.

En la figura N° 3.23, se observa la tarjeta de memoria 17FB174 correspondiente a una de las dos tarjetas de memorias ubicadas en el panel ICP. Esta tarjeta ubicada en el slot 3 corresponde a la tarjeta de memoria del PSC (sistema de control de propulsión).

En la figura N° 3.23 esta señalado con una flecha amarilla las entradas y salidas de la tarjeta, donde se puede observar señales de comunicación con otras tarjetas como las digitales 17FB104, comunicación con ambas tarjetas inversoras 17FB179 correspondiente al control de los motores de tracción y la comunicación a la PTU que la unidad portátil utilizada por el personal técnico para los diagnósticos y descarga de información.

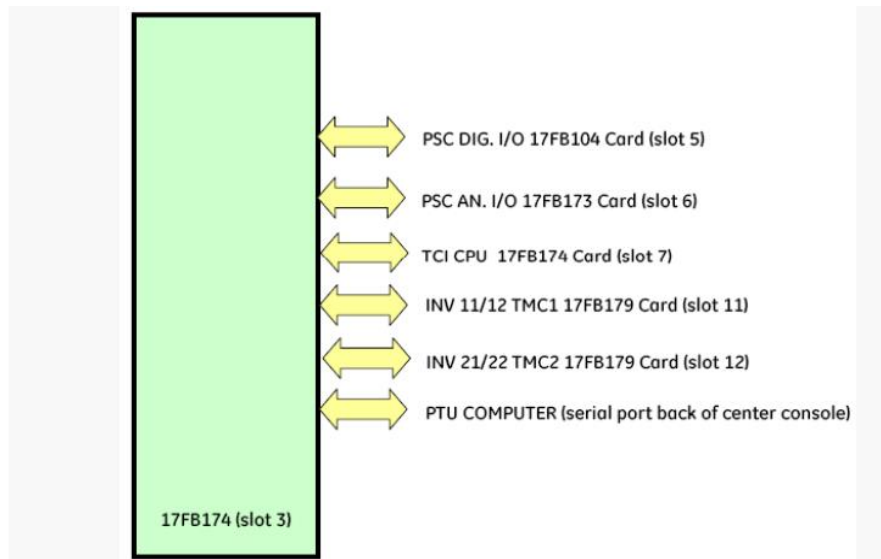


Figura N° 3.23: Entradas y salidas de tarjeta de memoria 17FB174 PSC.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.24 corresponde a las señales de la tarjeta digital del panel PSC ubicada en el slot 5 del panel ICP, demarcada con las flechas en la figura se encuentran las señales de entrada y salida de esta tarjeta. Se observan señales de tipo digital como los accionamientos de los contactores de retardo y sus correspondientes feedback, señales de requerimiento por parte del operador del equipo, señales de generación del alternador principal.

Todas estas señales de la tarjeta se comunican con la memoria del PSC la tarjeta 17FB174 mencionada en la figura N° 3.23.

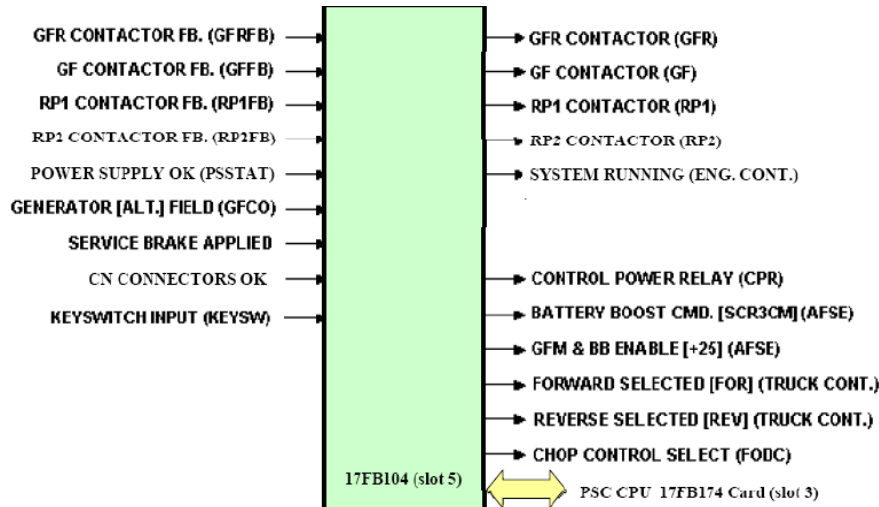


Figura N° 3.24: entradas y salidas de tarjeta digital 17FB104 panel PSC.

Fuente: curso producto AC 930E4

La figura N° 3.25 corresponde a la tarjeta análoga 17FB173, se observa las señales de entrada y salida correspondientes a señales análogas como: el monitoreo de las corrientes y voltajes de campo del alternador, bobina terciaria, blowers. También el monitoreo de las RPM del motor Diesel y sensores de velocidad de las ruedas delanteras.

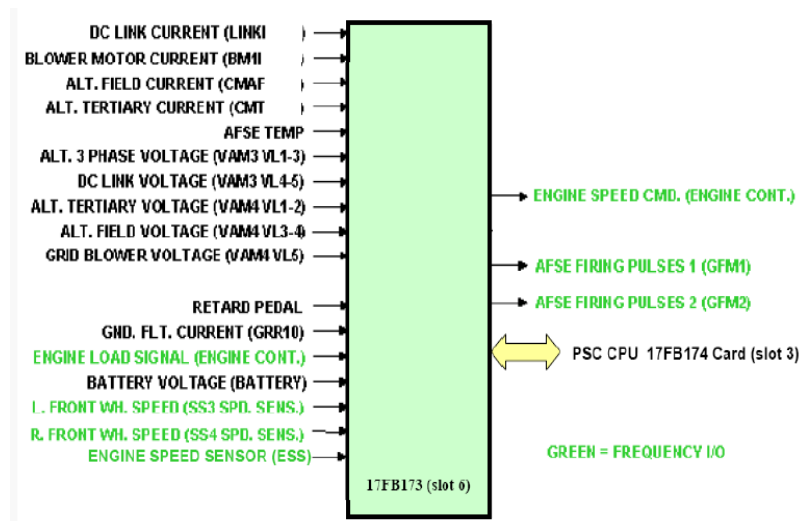


Figura N° 3.25: entradas y salidas de tarjeta análoga 17FB173 panel PCS.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.26 corresponde a la tarjeta de memoria 17FB174 del TCI (interfaz de control del camión), es físicamente la misma tarjeta que la memoria del panel PSC pero con distinto software. Esta tarjeta es configurable y como aparece en la figura las flechas amarillas indican las señales y salidas de la tarjeta, las cuales se observan señales de entrada y salida analógica del TCI y señales de entrada y salidas digitales del TCI, la comunicación con la PTU para diagnósticos y descarga de información.

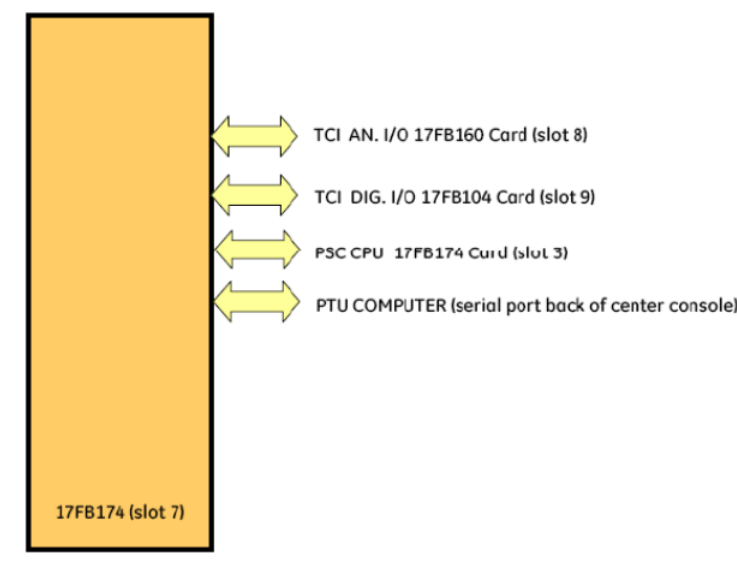


Figura N° 3.26: entradas y salidas de tarjeta de memoria 17FB174 panel TCI.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.27 muestra la tarjeta analógica 17FB160 del panel TCI, en ella se pueden observar señales analógicas correspondiente a señales del panel DID (display de información y diagnóstico), ubicado en la cabina del operador, señales de requerimiento del operador y se comunica constantemente con la memoria del TCI.

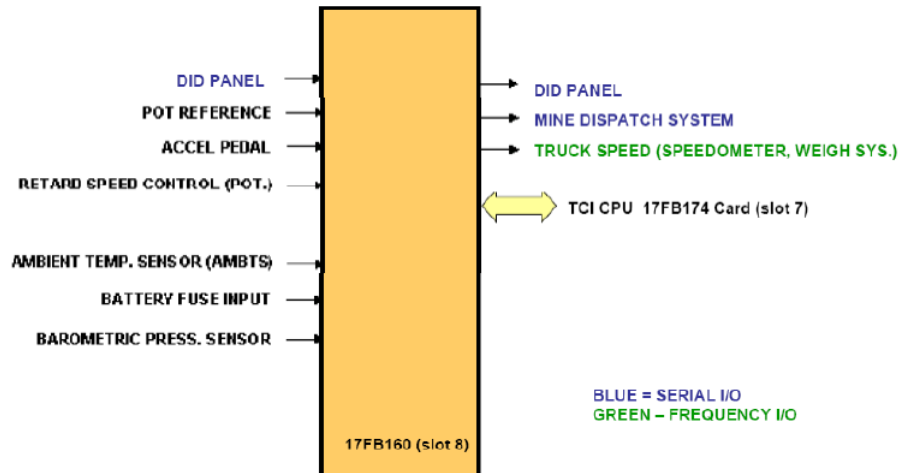


Figura N° 3.27: entradas y salidas de tarjeta análoga 17FB160 panel TCI.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.28 corresponde a la tarjeta digital 17FB104, esta tarjeta físicamente es la misma que la tarjeta digital del PSC pero no son configurable, en consecuencia, estas son tarjetas intercambiables. En esta tarjeta se observan señales de entrada y salida correspondiente a requerimientos del operador, modos de trabajo del equipo, alarmas de operación del equipo y al igual que la tarjeta análoga se mantiene comunicada intercambiando información con la tarjeta de memoria.

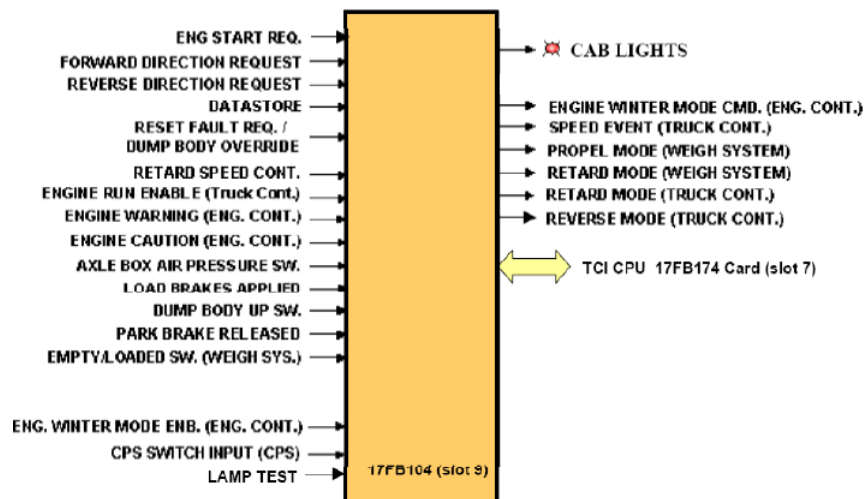


Figura N° 3.28: entradas y salidas tarjeta digital 17FB104 panel TCI.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.29 corresponde a la tarjeta 17FB179, esta tarjeta ubicada en el slot 11 del panel ICP, controla el modo de trabajo del motor de tracción 1. Esta tarjeta tiene señales de entrada correspondiente a las corrientes y voltajes de cada fase de alimentación hacia los motores de tracción, señales del sensor de velocidad del motor de tracción 1. Las señales de salida de esta tarjeta se comunican con la tarjeta 17FB179 del motor 2, comunicación con la PTU para diagnósticos y configuraciones. En consecuencia, esta tarjeta controla los módulos IGBTs correspondientes al inversor 1.

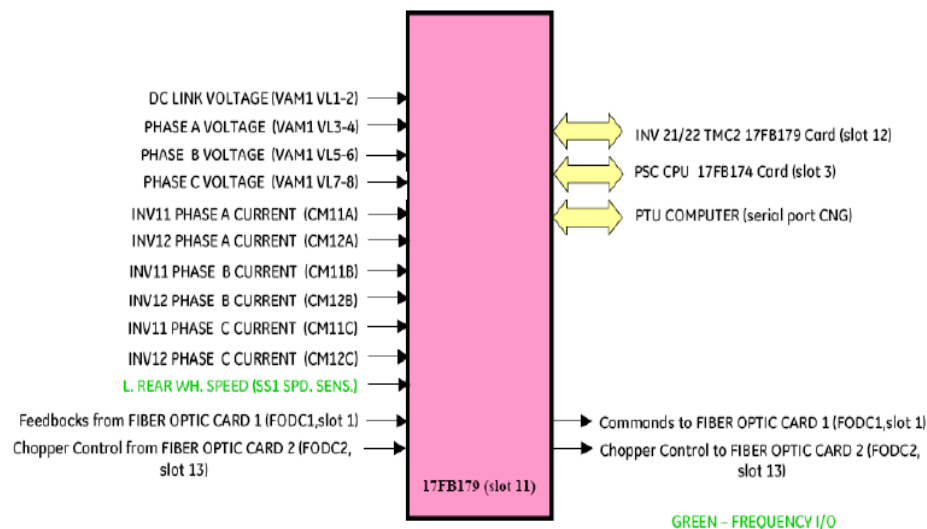


Figura N° 3.29: entradas y salidas tarjeta inversora 17FB179 inversor 1.

Fuente: curso producto AC 930E4.

La figura N° 3.30 corresponde a la tarjeta 17FB179, esta tarjeta ubicada en el slot 12 del panel ICP, controla el modo de trabajo del motor de tracción 2. Esta tarjeta tiene señales de entrada correspondiente a las corrientes y voltajes de cada fase de alimentación hacia los motores de tracción, señales del sensor de velocidad del motor de tracción 2. Las señales de salida de esta tarjeta se comunican con la tarjeta 17FB179 del motor 1, comunicación con la PTU para diagnósticos y configuraciones. En consecuencia, esta tarjeta controla los módulos IGBTs correspondientes al inversor 2.

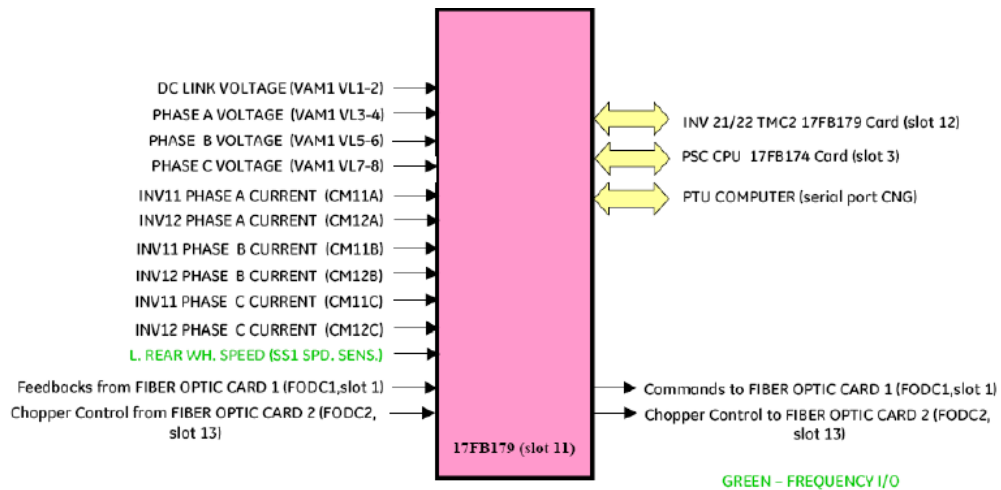


Figura N° 3.30: entradas y salidas tarjeta inversora 17FB179 inversor 2.

Fuente: curso producto AC 930E4.

En esta sección de este trabajo se puede conocer en detalle los componentes más importantes del equipo para su funcionamiento normal dentro de la operación, también se define y se detalla los distintos sistemas de control que van relacionados en el funcionamiento correcto de cada componente del equipo, para así tener un mejor entendimiento de cómo funciona este equipo minero. Todo esto esta inserto dentro del objetivo principal de este trabajo que es la actualización del sistema de retardo, ya que cada sistema y componente explicado se relaciona con el sistema expuesto en este trabajo.

CAPITULO IV

SISTEMA DE RETARDO DINAMICO

El retardo dinámico del camión eléctrico 830E-1AC o también llamado freno regenerativo es más que nada el funcionamiento de los motores de tracción del equipo en modo generador. El motor AC o motor de tracción cuando funciona como generador se pueden reconocer 2 características:

- a) El sentido de giro del campo magnético rotatorio y el rotor es el mismo.
- b) El torque es negativo lo que quiere decir que proviene del exterior.

En el funcionamiento como freno, no existe ninguna corriente externa de excitación para el motor AC que esta como generador.

Se invierte el campo magnético giratorio cambiando la secuencia del sistema trifásico en el caso del camión por medio del control de los inversores.

Así el rotor tendrá un sentido de giro opuesto al campo magnético giratorio e ira perdiendo velocidad hasta detenerse.

4.1 Componentes sistema de retardo dinámico.

El sistema de retardo dinámico tiene variados componentes para su funcionamiento los cuales son:

- ✚ Motores de tracción (MT1 y MT2).
- ✚ Resistencias de frenado.
- ✚ Contactores RP1 y RP2.
- ✚ Sopladores o blower 1 y 2.
- ✚ Troceadores o módulos choppers.

4.1.1 Motores de tracción (MT1 y MT2)

Los motores de tracción o motores AC en esta modalidad, funcionarán como generadores para la modalidad de retardo dinámico o freno regenerativo. El rotor girará independiente en la modalidad de retardo.

En la figura N° 4.1 se observa un esquema de generación del equipo que recibirá una excitación AC proveniente de la misma red eléctrica del camión, este campo magnético generara líneas de fuerza que serán cortadas por el desplazamiento independiente del rotor, en la modalidad de retardo es en este momento cuando los motores AC funcionan como generador.



Figura N° 4.1: Esquema de generación de energía de motores de tracción.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

En la figura N° 4.2 se observa un esquema simple del funcionamiento del motor de tracción en modo generador.

Las bobinas trifásicas del motor AC es donde se generará la corriente que se direcciona por los mismos módulos IGBT que funcionan en modo de propulsión, pero en esta modalidad la energía generada pasará a través de un “diodo de regeneración”, ubicado internamente en el módulo IGBT.

Esto producirá que la energía alterna generada se rectifique a través de los diodos de regeneración y pase como energía continua hacia los demás componentes del sistema de retardo.

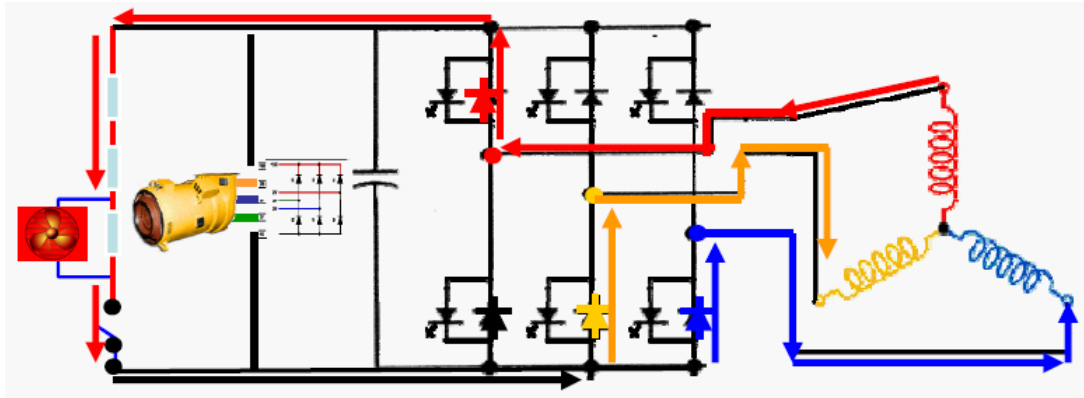


Figura N° 4.2: Funcionamiento de motores en modalidad de retardo dinámico.

Fuente: curso producto AC 930E4.

4.2 Contactores RP1 y RP2

En el camión se encontrarán 2 contactores que estarán encargados de integrar 2 mallas resistivas por medio de sus cierres de contacto, estos contactores son llamados RP1 Y RP2, donde RP1 al cerrarse conecta un grupo de resistores más los 2 blowers o sopladores, el RP2 al igual que el RP1 conectará solamente un grupo de resistencias sin blower, además el circuito RP1 por su bajo nivel resistivo será una descarga natural del camión.

El cierre del contactor RP1 siempre estará presente en cualquier modalidad de retardo, ya que es la malla resistiva donde estarán incorporados los blowers que cumplen la función de refrigerar el banco de resistores. En cambio, RP2 su cierre dependerá del nivel de retardo solicitado en el modo de operación del equipo.

En la figura N°4.3 se tiene una imagen de uno de los contactores de retardo del equipo, ya que físicamente son iguales la diferencia es que cada uno conecta distintos circuitos dentro del equipo.



Figura N° 4.3: Contactor de retardo RP1 Y RP2.

Fuente: curso simunea modulo 12.

4.3 Sopladores o blower

Los sopladores o blower son más que nada 2 motores DC tipo serie que se caracterizan por tener el bobinado de campo y el de armadura conectados en serie, la conexión en serie de estos motores DC permite tener un torque que lo hace ideal para los ventiladores de potencia, cuya carga se incrementa con la velocidad.

El modelo del blower del equipo es un 5GY, es un motor DC del tipo serie, tiene 4 polos y una potencia nominal de 65 HP (48.5 kW).

En la figura N° 4.4 se observa un blower de ventilación, el cual para algunos modelos del equipo es del tipo ventilación simple o dual, esto quiere decir que es de un aspa o doble aspa. También en la figura se observa las escobillas de accionamiento que son las que conmutan con el colector del motor para el funcionamiento del motor DC.



Figura N° 4.4: blower de ventilación.

Fuente: curso simunea modulo 11

El soplador o blower toma alimentación de una parte de las resistencias de frenado, esta conexión es en paralelo a la malla resistiva del contactor RP1. Esto quiere decir que en la condición de retardo la primera malla resistiva en ingresar al proceso será la malla del RP1, ya que están los blowers para la ventilación, entre más energía pasa por el proceso de retardo mayor será la ventilación que generará los blowers. Siempre contribuyendo al consumo de energía de la regeneración y a la ventilación forzada de las parrillas.

4.4 Troceadores o módulos chopper

Los troceadores o chopper son módulos IGBT que controlan 2 mallas resistivas del circuito de retardo, a diferencia de las otras mallas que funcionan con contactores rp que en la práctica su accionamiento es On-off. Los chopper funcionan en forma modulada controlados por una tarjeta en el panel ICP que, dependiendo del requerimiento de retardo en el equipo, el sistema generará las frecuencias de swiching o disparos en el chopper produciendo que este entre en porcentaje para el frenado dinámico.

En la figura N° 4.5 se observa la ubicación de los módulos chopper designados con las siglas CM1 y CM2, en la cual se puede ver que controlan 2 mallas resistivas con 3 resistores cada uno.

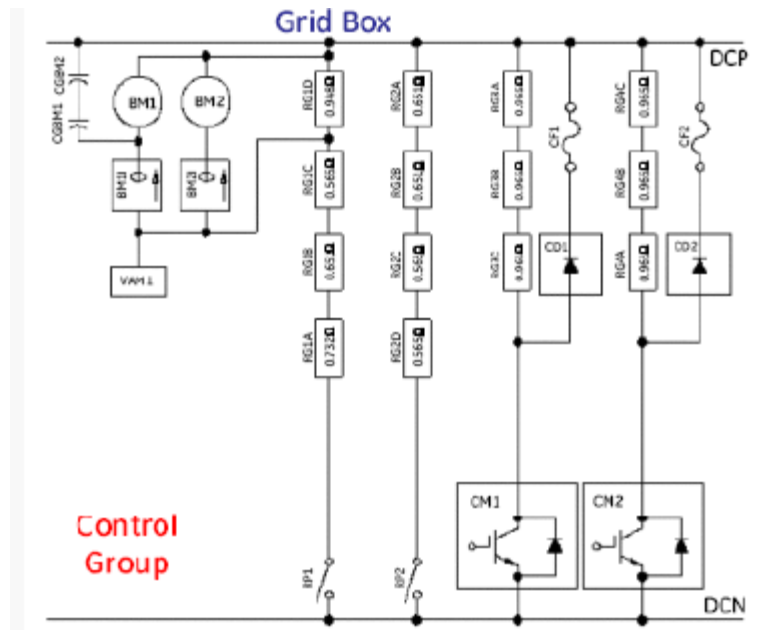


Figura N° 4.5: Circuito de retardo dinámico y chopper.

Fuente: electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.

4.5 Resistencias de frenado

Los resistores de frenado son unos de los componentes más importantes y a la vez más críticos del sistema de retardo dinámico, estos resistores son los encargados de generar la carga del sistema eléctrico en la modalidad de retardo, ya que al ingresar estos resistores por medios de las mallas resistivas controladas por las aperturas de los contactores RP1, RP2 y la entrada modulada de los choppers producen los distintos grados de freno regenerativo solicitados en la operación del equipo. Estos resistores van a producir energía calórica generando temperatura la cual es enfriada por medio de los ventiladores o blower.

En el camión eléctrico se encuentran 2 modelos de banco de resistores de retardo, uno es con 14 resistores y 2 blower duales y otro de 12 resistores y 2 blowers simples. Se tomará como ejemplo el banco de 14 resistores.

En la figura N° 4.6 se observa el banco con 14 resistores con los 2 blower duales y las succiones de aire y salida de los blowers, también se observan los 4 bancos individuales de resistores que son: RG1, RG2, RG3, RG4.

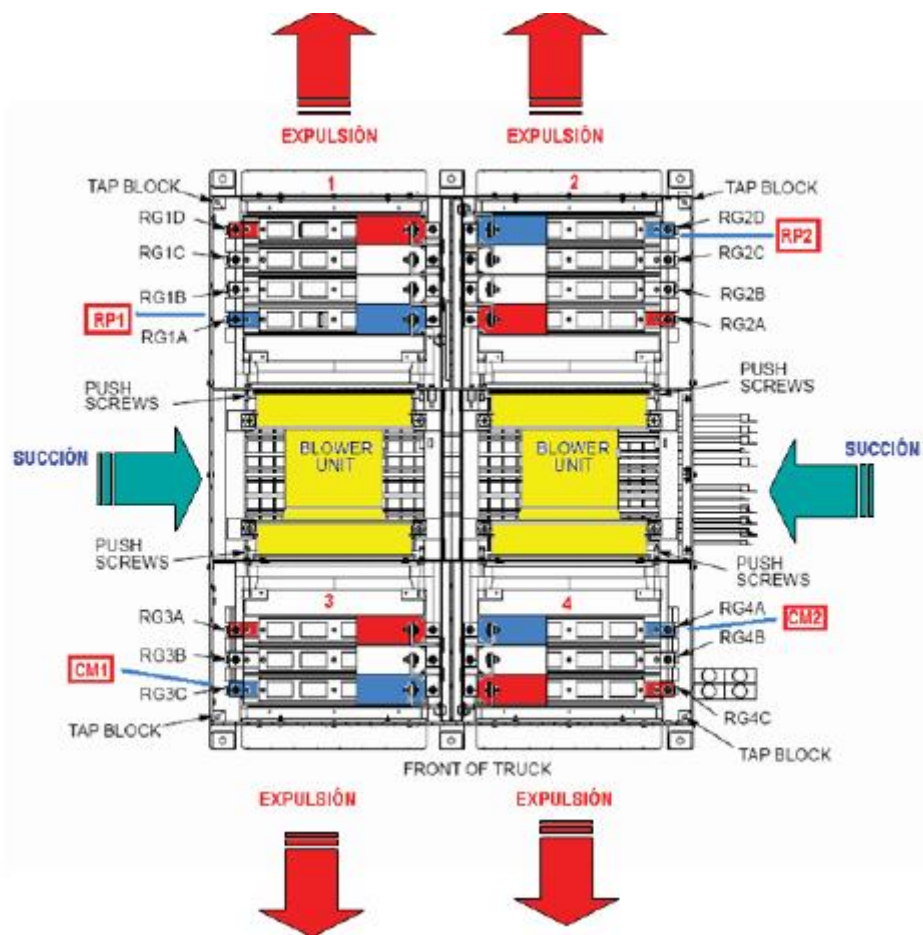


Figura N° 4.6: Diagrama de 14 resistores de retardo con 2 blower duales.

Fuente: curso simunea modulo 11

Dentro de cada banco de resistores se tiene 2 tipos de resistores, los resistores tipo D y tipo J, el tipo J es la mejora del tipo D, donde son principalmente en la parte estructural del resistor. Si cada banco es de un solo tipo, ósea son todas D o son todas J no se pueden combinar por un tema de flujo de aire.

En la figura N° 4.7 se observa la distribución de los resistores en sus distintos bancos, donde las resistencias RG1 dependen del contactor RP1 y a la vez están en paralelo a los blower de ventilación, el banco RG2 está asociada al contactor RP2, los resistores RG3 estarán asociados al chopper 1 y los resistores RG4 estarán con el chopper 2.

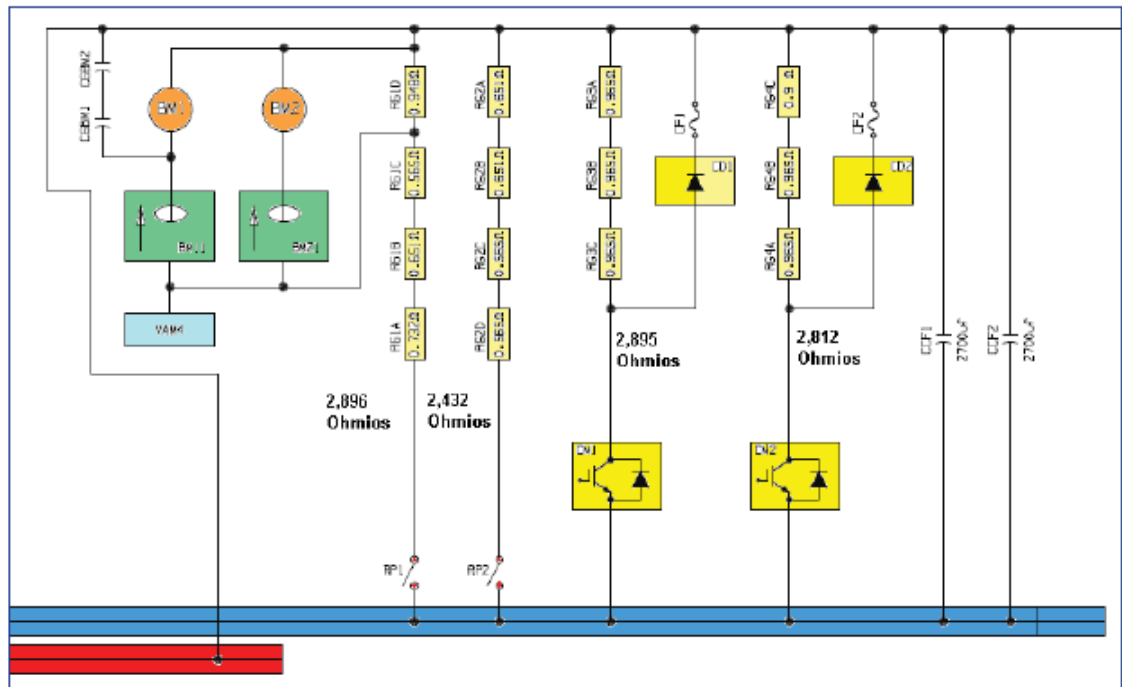


Figura N° 4.7: Diagrama completo de banco de 14 resistores.

Fuente: curso simunea modulo 11

El funcionamiento del frenado regenerativo dependerá de los cierres de las mallas de resistores, siempre en cualquier grado de retardo RP1 cerrará para la entrada de la malla de resistores más los blower para la ventilación, al cerrar RP2 ingresará la malla RG2 por consecuencia al estar en paralelo la resistencia total será menor, entonces la corriente de frenado será mayor. así sucesivamente será mientras ingresan los chopper 1 y 2 dependiendo del requerimiento de frenado en el equipo.

CAPITULO V

PARAMETROS Y MEDICIONES

Se realizará un análisis de parámetros y mediciones a una flota conformada por 14 camiones 830E-1AC. Los análisis estarán centrados en mediciones de aislación de los componentes del sistema de retardo, análisis de parámetros en software WPTU de los componentes de retardo y seguimiento de corriente de falla a tierra.

5.1 Parámetros WPTU

Los parámetros que se van a seguir para hacer el seguimiento del sistema de retardo del equipo son datos en tiempo real, los cuales corresponden a las señales de las corrientes de los sopladores o blower y la corriente de falla a tierra que se encuentra en el sistema de potencia del camión, estas señales se encuentran en el software de análisis del sistema de potencia del camión llamado web PTU o WPTU. Al ingresar en esta plataforma nos encontraremos múltiples señales en tiempo real del equipo, para el monitoreo del camión y análisis de falla.

Para poder analizar las señales se necesita que el equipo esté en funcionamiento y con el sistema de potencia energizado, teniendo estas condiciones se ingresa el menú del software y se realizará una prueba de carga o prueba de potencia, que consiste en generar una carga al motor diésel del equipo, por medio del ingreso de una carga eléctrica que en este caso sería el alternador principal y el sistema de retardo.

Una vez realizado el procedimiento anterior el equipo se acelera a 1900 rpm y se pone atención en los valores de consumo de los blower 1 y 2, además de la corriente de falla a tierra del sistema.

En la figura N° 5.1 se observa una pantalla en tiempo real donde el camión se encuentra en “modo potencia”.

Las variables demarcadas en la pantalla que son las señales “grid blowers” y “GFAULT”, en las variables grid blowers se observan los consumos de ambos blowers o sopladores del sistema de retardo, esta es una variable importante para realizar algún diagnostico relacionado a la condición del blower o la malla de retardo involucrada ya que al dispararse una de las corrientes o ambas se puede diagnosticar con mayor rapidez un problema del sistema.

La señal “GFAULT” está relacionada con la corriente de falla a tierra del sistema de potencia del camión, los valores de corriente normales que se manejan dentro del equipo fluctúan entre los 30 y 100 miliamperes corriente de falla a tierra. En este caso las señales de falla a tierra y corriente de los blower se tienen que relacionar para hacer un seguimiento en el camión para el sistema de retardo, si se tiene un problema de aislación en algún componente de retardo, la corriente de falla a tierra se elevara llegando a umbrales de 200 a 400 miliamperes.



Figura N° 5.1: pantalla tiempo real software WPTU.

Fuente: datalogger software WPTU prueba de potencia camión 830.

5.2 Medición de aislación

Dentro de las mediciones que se realizan para realizar un seguimiento a los componentes del sistema de retardo esta la medición de aislación de los blower o sopladores y el banco de resistores, mediante un instrumento llamado megohmetro de la marca FLUKE de 10kV, en los blower el procedimiento consiste en medir el aislamiento de los embobinados del estator y campo del blower con respecto a la carcasa del blower a la estructura del equipo, esta medición se realiza aislando las conexiones eléctricas del blower en el banco de resistores y conectando las pinzas del instrumento.

La pinza positiva se conecta en la conexión aislada correspondiente a la alimentación del motor y la pinza negativa se conecta a la estructura del equipo o la carcasa del mismo blower.

En la figura N° 5.2 se observa el conexionado del instrumento megohmetro en el blower, se puede ver en detalle la conexión de la pinza roja (positiva) al cable que conecta las bobinas del blower y también el cable verde en la carcasa del componente, el componente se encuentra aislado listo para la medición.



Figura N° 5.2: conexionado megohmetro a blower.

Fuente: imagen propia.

Este procedimiento se realiza para ambos blower y según los resultados obtenidos en las mediciones de aislación, se comparan con valores de aislación según fabrica para estos componentes, en este caso serian valores de aislación según procedimientos de Komatsu, comparados estos resultados se determina un seguimiento o algún cambio de componente en el sistema.

En la figura N° 5.3 se tiene una cartilla de especificaciones del blower del equipo, en este caso un modelo 5GEB26A. se observa con una demarcación de color rojo el valor “Meggar” donde se especifica el valor mínimo de aislación del componente con un voltaje de prueba de 1000VAC, con estas especificaciones se realizan las mediciones para ir realizando los diagnósticos correspondientes.

Model	5GEB26A
Classification	3 Phase AC Electric Motor
Rotor dynamic balance, max. per end, gram/inch	50
Rotor diameter, in. (mm)	28.34 (719.836)
Stator bore, in. (mm)	28.5 (723.9)
Rotor-to-Stator air gap, in. (mm)	0.080 (2.032)
Rotor bearing lubrication	Mobilith SHC 100
Stator field minimum ohms to ground @ megger 500 volts	Equal to or greater than 2 megohms
Stator resistance values	11.58 - 10.99 milliohms
HiPot (Reconditioned)	2500 VAC 60 Hz - 60 sec
HiPot (In-Service)	2250 VAC 60 Hz - 60 sec
Meggar	2 megohm (min.) @ 1000 VAC
Stator assembly (frame and windings), lbs. (kg)	7893.5 (3587.95)
DE bearing assembly including DE frame head, lbs. (kg)	483 (219.5)
CE bearing assembly including CE frame head, lbs. (kg)	586 (267.9)
Miscellaneous components (cables, covers, etc.), lbs. (kg)	80 (36)
Rotor assembly (rotor core and copper bars), lbs. (kg)	4860 (2209)
Complete motor assembly, lbs. (kg)	12,754 (5797)

Figura N° 5.3: Cartilla especificaciones blower modelo 5GEB26A.

Fuente: curso testeo y ajuste camión 830E-1AC

En la figura N° 5.4 se encuentran señaladas las conexiones de ambos blower y de los 4 bancos de resistores, se puede especificar la aislación de estos componentes para su medición:

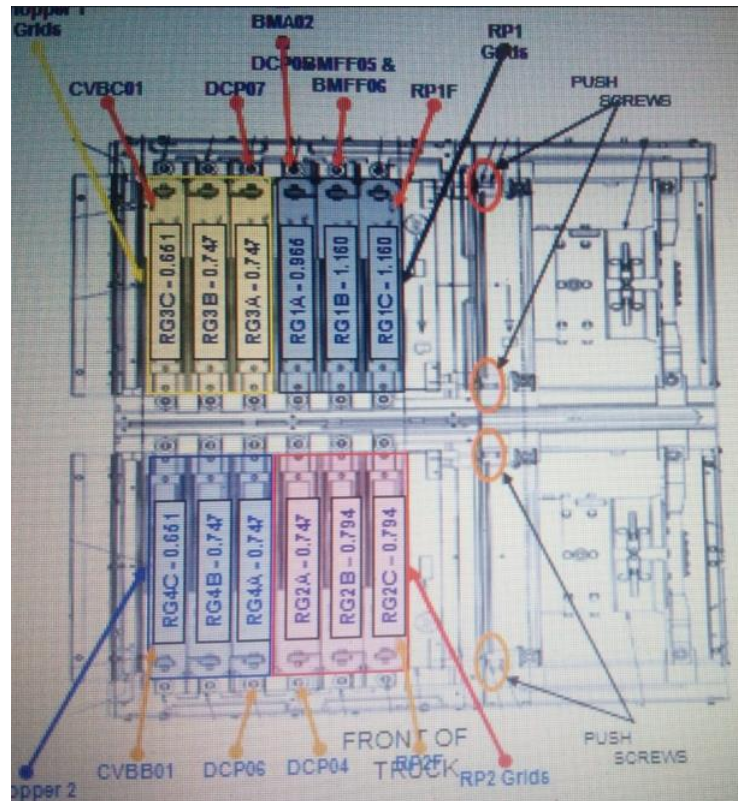


Figura N° 5.4: vista superior sistema de retardo con 12 resistores.

Fuente: imagen propia

- 1) Medición blower 1: se desconecta BMA01 y conexión a tierra.
- 2) Medición blower 2: se desconecta BMA02 y conexión a tierra.
- 3) Medición banco RG1: se desconecta cable DCP05 y RP1F.
- 4) Medición banco RG2: se desconecta cable DCP04 y RP2F.
- 5) Medición banco RG3: se desconecta cable DCP07 y CVBC01 (chopper 1)
- 6) Medición banco RG4: se desconecta cable DCP06 y CVBB01 (chopper 2)

La medición de los bancos de resistores RG1, RG2, RG3, RG4 se realizará mediante un medidor de aislación en este caso un megohmetro con un voltaje entre 500 y 1000 volts. Los valores de aislación tienen que ser como mínimo de 2 MEGAOHM, en caso de que algún banco tenga valores de aislación bajos, se procederá a levantar el banco de resistores donde se va a retirar cada resistor para su inspección.

En la figura N° 5.5 se observa un resistor dañado o cortocircuitado, este es uno de los daños más catastróficos de un resistor en el sistema de retardo del equipo, ya que va provocar que se aisle la malla resistiva correspondiente al resistor, originando que el equipo por su configuración active una protección, relacionado a un código de falla impidiendo su movimiento, con las mediciones de aislación de los bancos y el respectivo levantamiento de los resistores, se puede adelantar a estos posibles daños en el sistema realizando el reemplazo del componente comprometido.



Figura N° 5.5: resistor dañado o en cortocircuito.

Fuente: imagen propia

En lo que corresponde a la medición de aislación de los sopladores o blowers, esta se realizará desconectando el motor desde la conexión BMA01 y la conexión de tierra, correspondiente al blower 1, para el blower 2 se desconecta BMA02 y conexión de tierra.

En estos casos se medirá el estator y el rotor por separado en el motor.

En la figura N° 5.6 se observa la medición de aislación por el megohmetro de un blower o soplador, en el lado izquierdo esta la medición del rotor del blower y el lado derecho esta la medición del estator.

La medición se realizó con un voltaje de prueba de 500 volts para el estator y el rotor, según las mediciones el valor de aislación del rotor está muy bajo en comparación con el valor del estator, este componente esta fuera del estándar mínimo de aislación por consecuencia está presentando fallas de aislación a tierra, por lo que se debe cambiar el componente.

Los valores obtenidos anteriormente se relacionan a fallas prematuras del blower o en los TBO del componente, que generalmente cuando ya está en su TBO el componente tiende a tener estas fallas.



Figura N° 5.6: Medición de aislación de blower camión 830E – 1AC.

Fuente: imagen propia

CAPITULO VI

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RETARDO

6.1 Problemática y aspectos principales

1. Controlar incidentes relacionados al sistema de retardo dinámico para mantener un cuidado del activo, asegurando una continuidad operacional.
2. No existe una estrategia de mantenimiento mayor para estos componentes lo que ocasiona fallos imprevistos.
3. Altos TBO en blowers y banco de resistores.

El plan de mantenimiento del sistema de retardo en un principio consiste en realizar una inspección de los bancos de resistores de 14 camiones de la flota 830E-1AC, paralelamente dependiendo de las condiciones de los equipos se podrían realizar intercambios completos del banco de resistores. La finalidad de esta actualización que por medio de las inspecciones se estandaricen los bancos de resistores, tener un control de las horas de los componentes que participan en este sistema y reducir las detenciones que tienen los equipos producto de las fallas de este sistema, para así poder tener mejores resultados de disponibilidad y el equipo sea más confiable.

Según la estrategia de mantenimiento el paso a paso que se va a seguir va a depender de los valores obtenidos en los parámetros y mediciones realizados anteriormente, por estos resultados se determinarán las siguientes actividades a los equipos involucrados.

- ✚ Mantenimiento preventivo 500 horas (inspección normal al sistema de retardo según pauta de mantenimiento).
- ✚ Mantenimiento preventivo 10000 horas (desmontaje y levantamiento de resistores).
- ✚ Mantenciones cada 20000 horas (desmontaje resistores, cambio resistores, cambio de blowers).

Según la información entregada por el gráfico de Pareto de horas no programada de la figura N° 6.1, correspondiente a las horas mensuales no programadas se puede extraer que en el sistema de “MNP-Elec. Potencia” se tienen 95 horas no programadas, estas corresponden al sistema de retardo. La actualización o mejora va enfocado en reducir esas horas no programadas y adelantarse a posibles fallas catastróficas en el equipo que generalmente van relacionadas a largos periodos de detención del equipo y no utilización del activo, también en la figura N° 6.1 se encuentran las horas mensuales correspondiente a ”MNP-Eléctrico” que son 150 horas no programadas, estas corresponden detenciones de sistemas eléctricos secundarios o de 24 Volts las cuales tienen tiempos de reparación más rápidos y que no están relacionados a este estudio.

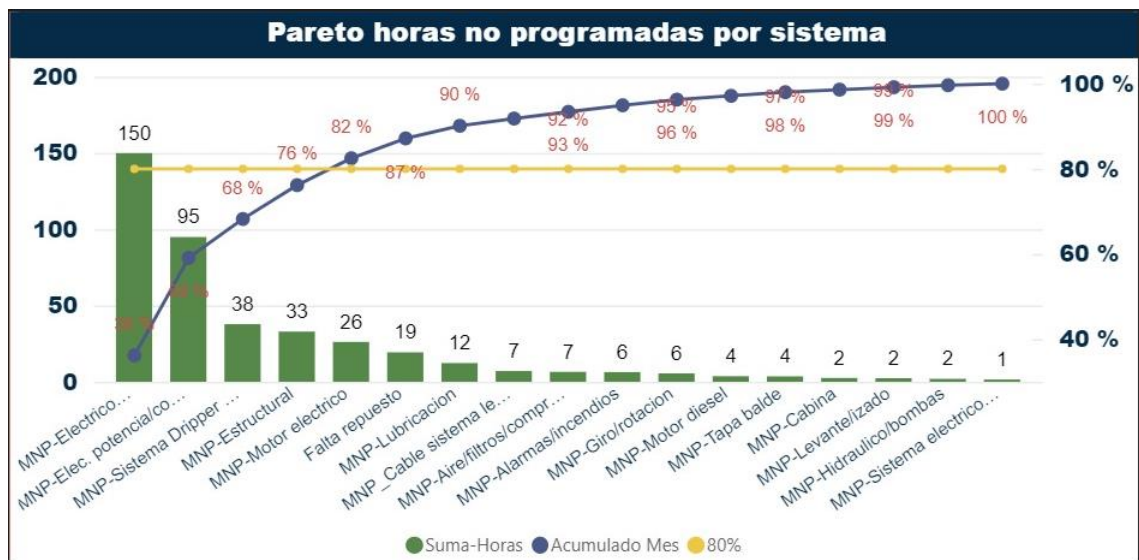


Figura N° 6.1: Pareto de horas mensuales no programadas por sistema en camión 830E - 1AC.

Fuente: creación propia

En la figura N° 6.2 se tiene una descarga de eventos de electrónica de potencia relacionados a los equipos de la flota donde se observa la condición de “sin propulsión” relacionado la condición de problemas en el sistema de retardo, esta es una herramienta para determinar los pasos a seguir en el plan de mantenimiento.

Equipo	Código	Razon	Comentario	Duracion (hrs)	Hora Inicio	Hora Término	Categoría
CE89	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,3	12-06-2023	12-06-2023	Mant. No Programada
CE87	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,4	13-06-2023	13-06-2023	Mant. No Programada
CE90	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,5	03-07-2023	03-07-2023	Mant. No Programada
CE84	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	1,8	04-07-2023	04-07-2023	Mant. No Programada
CE86	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,9	03-08-2023	03-08-2023	Mant. No Programada
CE80	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	1,4	11-08-2023	11-08-2023	Mant. No Programada
CE84	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,7	09-09-2023	09-09-2023	Mant. No Programada
CE86	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	3,0	10-09-2023	10-09-2023	Mant. No Programada
CE89	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	0,5	13-06-2023	13-06-2023	Mant. No Programada
CE89	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	2,5	13-06-2023	13-06-2023	Mant. No Programada
CE84	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	1,7	09-07-2023	09-07-2023	Mant. No Programada
CE87	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion	2,1	02-06-2023	02-06-2023	Mant. No Programada
CE81	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion / sin retardo	3,2	11-06-2023	11-06-2023	Mant. No Programada
CE87	711	MNP-Elec. potencia/control	Sin propulsion codigo 78/1	1,0	02-06-2023	02-06-2023	Mant. No Programada
CE87	711	MNP-Elec. potencia/control	sin propulsion, activo 127- 7 se limpia conexiones de fibra optica + comando feedback	2,5	01-07-2023	01-07-2023	Mant. No Programada
CE91	711	MNP-Elec. potencia/control	sin propulsion, al momento de chequear equipo presenta codigo registrado 48-1 problema en battery boost , se realizan pruebas operacionales quedando ok	2,8	11-08-2023	11-08-2023	Mant. No Programada
Total	45504			174,0			

Figura N° 6.2: listado de eventos relacionados a fallas de electrónica de potencia y control.

Fuente: creación propia

En Tabla N° 6.1 se encuentran los números de parte de resistores de retardo correspondiente a 5 camiones de la flota que tienen un banco de 12 resistores, se especifican las cantidades de cada componente según su número de parte, para poder realizar una estandarización de los equipos correspondiente a su número de serie que también aparece en la tabla.

Tabla N° 6.1: tabla de banco de equipos con 12 resistores.

Equipo	N/S	N/ Serie banco retardo	NÚMEROS DE PARTE					Cantidad
			58E-06-01211	58E-06-00971	58E-06-00991	58E-06-00941	58E-06-01221	
2CAM3082	A30649	EM155	2	1	5	2	2	12
2CAM3083	A30665	EM155	2	1	5	2	2	12
2CAM3086	A30690	EM155	2	1	5	2	2	12
2CAM3088	A41058	EM155	2	1	5	2	2	12
2CAM3091	A30638	EM155	2	1	5	2	2	12
		TOTAL	10	5	25	10	10	60

Fuente: creación propia

En Tabla N° 6.2 al igual que en la tabla anterior se especifican los números de partes de los resistores según su número de serie para 9 camiones con banco de 14 resistores, para realizar una estandarización completa de la flota de camiones.

Tabla N° 6.2: tabla de banco de equipos con 14 resistores.

Equipo	N/5	N/ Serie banco retardo	NÚMEROS DE PARTE					Cantidad
			58E-06-00971	58E-06-03850	58E-06-00941	58E-06-00951	58E-06-00961	
2CAM3080	A30842	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3081	A30846	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3084	A30289	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3085	A30286	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3087	A40906	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3089	A30284	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3090	A30319	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3092	A30283	EM145	6	3	3	1	1	14
2CAM3093	A30287	EM145	6	3	3	1	1	14
TOTALES			54	27	27	9	9	126

Fuente: creación propia

Se realiza un levantamiento de los resistores correspondientes a cada banco que tienen los equipos de la flota, el levantamiento se hace por separado con los equipos que en este caso serían 5 equipos con bancos de 12 resistores y 7 equipos con bancos de 14 resistores, en las tablas de las figuras N° 6.1 y N° 6.2, se observan la cantidad total para cada equipo y la totalidad de resistores para toda la flota.

Estos componentes están considerados dentro del plan de mantenimiento, donde se especifica el número de parte de cada componente y más adelante se especificará el costo relacionado a cada uno.

6.2 Inspección de elementos de retardo

- ✚ Se realizará una inspección de 186 resistores correspondientes a toda la flota de camiones.
- ✚ Reparación 20 % de los resistores con valores que no superen en 50 % de una nueva.

- ✚ Compra 40 % de resistores nuevos.
- ✚ Reutilización de 40 % de resistores en buenas condiciones.

Para este plan se necesitará un tiempo requerido de:

- ✚ HM (horas maquina): 16
- ✚ HH (horas hombre) : 32

6.2.1 Mejoras en los resistores de retardo

Dentro del plan se seguirá una mejora de producto indicada por fábrica de Komatsu llamada SERVICE NEWS KOMATSU, consiste en el amarre de la estructura de las resistencias, las actuales resistencias son del tipo D.

Estas resistencias tienen un amarre central de las celdas resistivas del mismo componente, este amarre con el tiempo de trabajo se produce un desgaste provocando que las celdas o elementos resistivos dentro del componente se liberen haciendo contacto y provocando flashover o cortocircuitos.

En la figura N° 6.3 se observa un resistor tipo D, el cual se encuentra en unos de los equipos inspeccionados, los puntos demarcados según la figura son los amarres antes mencionados los cuales al tener desgaste producen que las celdas o laminas del resistor hagan contacto y se produzcan cortocircuitos y códigos de falla.



Figura N° 6.3: resistor de retardo tipo D.

Fuente: creación propia

6.2.2 Resistores tipo J vs Resistores tipo D

6.2.2.1 Resistor tipo D

Si bien los dos modelos de resistores son similares en dimensiones, la diferencia más evidente está en la estructuras y orden de sus fibras, ya que en el modelo tipo D la fibra lateral encaja en la fibra intermedia y es posicionada entre la fibra superior e inferior, aumentando el desgaste.

En la figura N° 6.4 se observa el resistor tipo D donde se especifican sus montajes y encajes de fibra las cuales serán los puntos críticos que tendrán como mejora en el modelo tipo J.

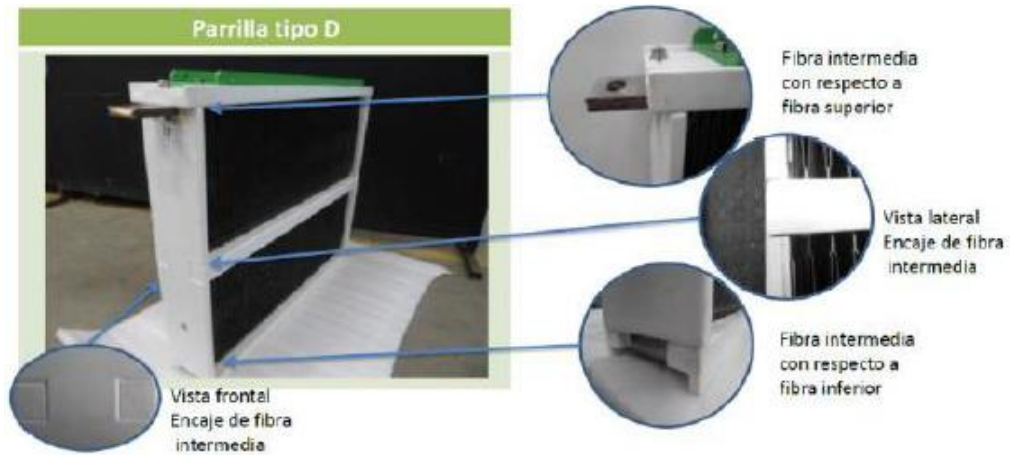


Figura N° 6.4: encajes de fibras de resistor tipo D

Fuente: imagen propia

6.2.2.2 Resistor tipo J

A diferencia de los resistores tipo D, en el modelo tipo J la fibra superior, intermedia e inferior son fijadas entre las dos fibras laterales, las cuales pasan a ser claves para la estabilidad de la estructura, además las fibras laterales pasan a ser una sola pieza ganando hermeticidad al momento del montaje de los stack del banco.

En la figura N° 6.5 se observa el resistor tipo J y sus especificaciones relacionadas a las mejoras con respecto al resistor del modelo tipo D. Esto formará parte del plan de mantenimiento donde tendrá directa relación con la estandarización de los bancos de resistores.



Figura N° 6.5: encajes de fibras de resistor tipo J

Fuente: imagen propia

Según lo encontrado en las inspecciones se va a decidir la reparación de los resistores o los cambios de estos, los cuales serán los resistores tipo J.

6.3 Análisis de costos de la actualización del plan de mantenimiento sistema retardo

se realiza una comparación detallada de los valores de las resistencias de retardo según las marcas y proveedores que se encuentran en faena, para así poder elegir el componente según su costo, confiabilidad y estandarización de los equipos.

En la tabla N° 6.3 se especifican las cantidades y números de parte de los resistores según la flota de camiones, en la tabla N° 6.4 se tienen los detalles de los valores de los resistores por cada proveedor que se trabaja en faena en la cual se analiza cual es el más conveniente relacionando costos y confiabilidad de los componentes.

Tabla N° 6.3: números de parte resistores camión 830.

RESISTORES FLOTA 830E	
N° PARTE	CANTIDAD
58E-06-00941	37
58E-06-00951	9
58E-06-00961	9
58E-06-00971	59
58E-06-00991	25
58E-06-01211	10
58E-06-01221	10
58E-06-03850	27
TOTAL	186

Fuente: creación propia

Tabla N° 6.4: valores de resistores según proveedor.

ELECTRANS		REPMIN SPA		KOMATSU		AMERICAN PARTS		DEPORT PARTS	
unitario	total	unitario	total	unitario	total	unitario	total	unitario	total
\$ 1.632,43	\$ 60.400	\$ 2.255	\$ 83.434	\$ 2.942	\$ 108.854	\$ 3.345	\$ 123.761	\$ 4.051	\$ 149.883
\$ 1.632,43	\$ 14.692	\$ 2.255	\$ 20.294	\$ 2.942	\$ 26.478	\$ 3.514	\$ 31.629	\$ 4.051	\$ 36.458
\$ 1.632,43	\$ 14.692	\$ 2.255	\$ 20.294	\$ 2.942	\$ 26.478	\$ 3.514	\$ 31.629	\$ 4.051	\$ 36.458
\$ 1.632,43	\$ 96.314	\$ 2.255	\$ 133.048	\$ 2.942	\$ 173.578	\$ 3.514	\$ 207.345	\$ 4.051	\$ 239.002
\$ 1.632,43	\$ 40.811	\$ 2.255	\$ 56.376	\$ 2.942	\$ 73.550	\$ 3.272	\$ 81.793	\$ 3.993	\$ 99.822
\$ 1.632,43	\$ 16.324	\$ 2.255	\$ 22.554	\$ 2.942	\$ 29.420	\$ 3.253	\$ 32.527	\$ 3.993	\$ 39.929
\$ 1.632,43	\$ 16.324	\$ 2.255	\$ 22.554	\$ 2.942	\$ 29.420	\$ 3.275	\$ 32.747	\$ 4.051	\$ 40.509
\$ 1.632,43	\$ 44.076	\$ 2.255	\$ 60.886	\$ 2.942	\$ 79.434	\$ 3.514	\$ 94.887	\$ 4.051	\$ 109.374

Fuente: creación propia. **Nota: valores \$ = USD.**

Se decide utilizar resistores de la marca Komatsu, por confiabilidad y estandarización de la flota.

6.3.1 Actualización de plan propuesto y costo estimado

Aproximadamente los costos totales estimados para la realización de este plan contemplan una revisión en faena de los resistores de los equipos (186), toda la flota.

- ✚ Costo unitario resistor nuevo Komatsu: USD\$ 3.000
- ✚ Reparación 20 % de resistores con valor que no superen en 60% de una nueva.
- ✚ Compra 40 % de resistores nuevos.
- ✚ Reutilización 40 % de resistores en buenas condiciones.
- ✚ Costo de repuestos adicionales.

Estos valores estimados dependerán de las inspecciones que se realizarán en cada banco de resistores de los equipos de la flota.

- ✚ Tiempo de retiro e instalación de resistencias (horas maquina) = 16 horas.
- ✚ Personal requerido 2 técnicos (horas hombre) = 32 horas.

6.3.2 Costo de resistores y recuperación de inversión

En la tabla N° 6.5 se tiene en detalle la cantidad de equipos que están insertos en el plan de mantenimiento y la cantidad de resistores, se tienen nueve camiones con 14 resistores y 5 camiones con 12 resistores con un total incluyendo ambos modelos de 186 resistores correspondientes a la flota 830E-1AC.

Tabla N° 6.5: resistores flota camiones 830E-1AC.

Detalle	Cantidad Camiones	Cantidad Resistores / Camión	Resistores totales
Camiones con 12 Resistores	5	12	60
Camiones con 14 Resistores	9	14	126
Total	14	26	186

Fuente: creación propia.

Según los valores de los resistores correspondientes al proveedor del equipo de la empresa Komatsu, se realiza el análisis en la tabla N° 6.6 del valor de resistor nuevo vs reparación de resistores, se encuentran los valores de cada resistor y se tiene un ahorro por reparación expresado en la ecuación N° 6.1.

$$\text{Total ahorro por rep.} = \text{valor resist. nuevos} - \text{reparacion resist.} \quad (\text{Ec. N}^\circ\mathbf{6.1})$$

Ahora reemplazando valores en ecuación N°6.1, tenemos:

$$\text{Total ahorro por rep.} = 3000 - 1800$$

$$\text{Total ahorro por rep.} = \text{USD } 1200$$

Tabla N° 6.6: Calculo total del ahorro de reparación resistores.

Valor Resistores nuevos (Precio Komatsu)	USD 3.000
Reparación Resistores (60% valor nuevo)	USD 1.800
Total ahorro por reparación	USD 1.200

Fuente: creación propia.

En la tabla N° 6.7 se observan las horas operacionales mensual de un camión según el Budget anual estipulado por la compañía, en este caso las horas operacionales mensuales son de 520 horas mensuales operativas. Las horas anuales operativas se considera las horas mensuales por los 12 meses del año, esto queda expresado en la ecuación N° 6.2.

$$\text{Horas op. por año por camion} = \text{horas Op. mensual por camion(budget)} * 12$$

(Ec. N°6.2)

Reemplazando valores de la tabla N°6.7 en ecuación N°6.2, se tiene:

$$\text{Horas op. por año por camion} = 520 * 12 = 6240 \text{ horas en el año.}$$

También se observa la fila el TBO o intervalo de cambio de resistores el cual según la actualización del plan ha sido estipulado en 5000 horas, con este dato se tiene un cálculo relacionado a la frecuencia de reparación de resistores en el año, este valor se obtiene con el cálculo de las horas operativas del equipo durante el año correspondiente a las horas de operaciones mensuales del equipo por los 12 meses del año y el intervalo de cambio de resistores, asignada a la ecuación N°6.3.

$$\text{Frecuencia reparacion resistores en el año: } \frac{\text{horas operativas por año}}{\text{intervalo cambio resistores}} \quad (\text{Ec. N}^\circ\mathbf{6.3})$$

Reemplazando los valores de la tabla N° 6.7 en la ecuación N° 6.3, tenemos:

$$\text{Frecuencia reparacion resistores en el año: } \frac{6240}{5000} = 1.2$$

El valor frecuencia reparación resistores al año es de 1.2.

La frecuencia de reparación se utiliza para el cálculo total de reparación de resistores en el año, esta se realiza con el valor obtenido en la tabla N° 6.5 de los resistores totales involucrados en el plan de mantenimiento por el valor de la frecuencia de reparación, esto queda reflejado en la ecuación N° 6.4.

$$\text{Total rep. resistores por año} = \text{frecuencia rep.} * \text{resistores totales} \quad (\text{Ec. N}^\circ\mathbf{6.4})$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación N°6.4, se tiene:

$$\text{Total reparaciones resistores por año} = 1.2 * 186$$

$$\text{Total reparaciones resistores por año} = 223$$

Tabla N° 6.7: horas de operación y frecuencia de cambio de resistores.

Intervalo de cambio resistores (H de operación)	5.000
Horas Op mensual por camión (Budget)	520
Horas Operativas por año por camión	6240
frecuencia de reparación resistores al año	1,2
Total reparaciones resistores por año	232

Fuente: creación propia.

En la tabla N° 6.8 se tienen los valores de los gastos totales de la inversión en la compra de resistores nuevos y las reparaciones de los resistores todo en un periodo anual, igualmente al existir un porcentaje de reparación de los resistores se produce un ahorro durante el año con relación a la compra de resistores nuevos. También en la tabla N° 6.8 se observa el año de recuperación de la inversión y el año que se recupera la compra de resistores nuevos.

Para el cálculo del total de gasto por compra de resistores nuevos al año, se vuelve a las tablas N° 6.7 y N° 6.6 donde se utiliza los datos de valor de resistores nuevos y total de reparaciones de resistores por año, esto queda expuesto en la ecuación N° 6.5.

Total gasto compra resistores al año = valor resis. nuevos * total rep. resisto.

(Ec. N° 6.5)

Reemplazamos los valores de las tablas N° 6.7 y N° 6.6 indicados en la ecuación N°6.5, tenemos:

Total gasto compra resistores al año = 3000 * 232

Total gasto compra resistores al año = USD 696.384

Para el cálculo del gasto total por reparaciones de resistores al año también se vuelve a las tablas N° 6.7 y N° 6.6 para obtener los valores del total reparaciones de resistores por año y el valor de reparación de resistores, esto queda expresado en la ecuación N° 6.6.

$$\text{Total gasto por rep. resistores al año} = \text{reparacion resist.} * \text{total rep. resisto.}$$

(Ec. N° 6.6)

Se reemplazan los valores de las tablas N° 6.7 y N° 6.6 indicados en la ecuación N°6.6, tenemos:

$$\text{Total gasto por rep. resistores al año} = 1800 * 232$$

$$\text{Total gasto por rep. resistores al año} = \text{USD } 417.830$$

Para el cálculo del ahorro o recuperación por año, es nada más que la diferencia entre el total gasto por compra de resistores nuevos al año y el total gasto por reparaciones resistores al año, esto queda expresado en la ecuación N° 6.7.

$$\text{ahorro o rec. por año} = \text{Total gastos resist. nuevos al año} - \text{Total gastos rep. año}$$

(Ec. N° 6.7)

$$\text{Ahorro o recuperacion por año} = 696.384 - 417.830$$

$$\text{Ahorro o recuperacion por año} = \text{USD } 278.554$$

Para el cálculo de la recuperación de la inversión y la inversión en resistores nuevos, se tomarán en cuenta los datos obtenidos anteriormente que son el total gasto por compra resistores nuevos al año, total gasto por reparaciones de resistores al año y el ahorro o recuperación por año.

En el año que se recupera la inversión se tomarán los valores de ahorro/recuperación año y el total de gasto por reparaciones de resistores al año, este cálculo será reflejado en la ecuación N° 6.8.

$$\text{Recuperacion inversion} = \frac{\text{Ahorro o recuperacion}}{\text{total gastos por rep.resistores}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 6.8})$$

Se reemplaza los datos de la ecuación N° 6.8 por los valores de la tabla N°6.8, se tiene:

$$\text{Recuperacion inversion} = \frac{278.554}{417.830}$$

$$\text{Recuperacion inversion} = 0.66$$

El valor obtenido de recuperación de inversión es de 0.66 correspondiente a un valor de 66 % de recuperación de la inversión en 1 año, el tiempo de recuperación de la inversión tiene que ser el tiempo correspondiente al 100% de la inversión, por consecuencia el valor obtenido de 0.66 tiene que ser multiplicado por 2 para igualar o superar el 100% de recuperación de la inversión, esto queda reflejado en la ecuación N° 6.9.

$$\text{Recuperacion inversion} = \frac{\text{Ahorro o recuperacion}}{\text{total gastos por rep. resistores}} * 2 \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 6. 9})$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$\text{Recuperacion inversion} = 1.32$$

El valor obtenido al aplicarle el factor de multiplicación por 2 años sería 1.32 que sobrepasa el 100 % de recuperación de la inversión, en conclusión, el tiempo de recuperación de la inversión será en el segundo año.

Para el cálculo del año en que se recupera la compra de resistores nuevos se utilizan los valores del total de los gastos por compra de resistores nuevos y el ahorro o recuperación por año, esto queda reflejado en la ecuación N° 6.10.

$$\text{Recuperacion inversion resist. nuevos} = \frac{\text{total gastos por compra resist. nuevo}}{\text{Ahorro o recuperacion por año}}$$

(Ec. N° 6.10)

Para estos cálculos se utiliza los datos obtenidos de la tabla N° 6.8 de costos totales y recuperación de la inversión.

Tabla N° 6.8: costos totales y recuperación de inversión.

Total gasto por compra resistores nuevos al año	USD 696.384
Total gasto por reparaciones resistores al año	USD 417.830
Ahorro / recuperación por año	USD 278.554
Año en que se recupera la inversión	1,33
Año en que se recupera la compra de resistores nuevos	2,50

Fuente: creación propia

Reemplazando valores de la tabla N° 6.8 en ecuación N° 6.10, se tiene:

$$\text{Recuperacion inversion resist. nuevos} = \frac{696.384}{278.554}$$

$$\text{Recuperacion inversion resist. nuevos} = 2.50 \text{ años}$$

Con los valores obtenidos en los cálculos de las inversiones en reparación de los resistores y la compra de resistores nuevos, se puede concluir que la inversión una vez implementada la actualización del plan se recupera a partir del segundo año.

CAPITULO VII

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Esta actualización del plan de mantenimiento que viene a reforzar el mantenimiento del sistema de retardo dinámico del equipo fue implementado el año 2022, donde los resultados según las estadísticas recopiladas en los informes de disponibilidades se observan en el año 2023.

7.1 Resultados

Los informes de disponibilidad son reflejados durante el año por medio de trimestres subdivididos en Q1, Q2, Q3, Q4, donde se analiza el acumulativo de las horas no programadas en ese periodo de 3 meses correspondiente a fallas de electrónica de potencia.

- ✚ Q1: Corresponde a los meses enero, febrero, marzo.
- ✚ Q2: Corresponde a los meses abril, mayo, junio.
- ✚ Q3: Corresponde a los meses julio, agosto, septiembre.
- ✚ Q4: Corresponde a los meses octubre, noviembre, diciembre.

En estas disponibilidades se analizan los Paretos y graficas de dispersión relacionadas a la flota de equipos 830E-1AC, en la cual se realizan por medio de los datos obtenidos de detenciones no programadas dentro del plan de mantenimiento, donde se enfocan en las detenciones relacionadas a la gráfica de “electrónica de potencia” con su respectiva grafica de dispersión relacionada al tiempo medio entre falla “MTBF”.

El análisis de los resultados se enfocará en interpretar la mejora de las disponibilidades durante el año 2023 en la flota de camiones relacionado al punto de “electrónica de potencia” donde esta inserto la implementación de esta mejora.

La figura N° 7.1 corresponde al periodo del primer trimestre del año 2023. Se puede observar todas las detenciones no programadas de la flota, específicamente en la columna de electrónica de potencia se tiene 335 detenciones relacionadas a problemas de propulsión y retardo en los equipos, estos parámetros se observan por medio del jackknife donde se obtiene una gráfica de dispersión correspondiente a las detenciones de electrónica de potencia.



Figura N° 7.1: Pareto horas no programadas periodo Q1.

Fuente: creación propia.

En la figura N° 7.2 se observa la gráfica de dispersión de confiabilidad relacionada a las detenciones del sistema de retardo. La grafica es una relación de MTBF VS MTTR, correspondiente al primer trimestre del año 2023, se puede ver aproximadamente un grupo de camiones con MTBF entre 30 y 40 horas con unos MTTR de no más de 4 horas, estos resultados corresponden al primer trimestre del año 2023 también llamado Q1.



Figura N° 7.2: Gráfica de dispersión periodo Q1.

Fuente: creación propia.

A continuación, están las gráficas correspondientes al segundo trimestre del año 2023 donde ya se observan los cambios a favor en la disponibilidad de la flota.

En la figura N° 7.3 de Pareto, se tiene una disminución de las horas no programadas relacionadas a electrónica de potencia, en donde el número es 277 en comparación a las 335 correspondiente el primer trimestre, estos números también serán reflejados en el siguiente gráfico de dispersión correspondiente al segundo trimestre.

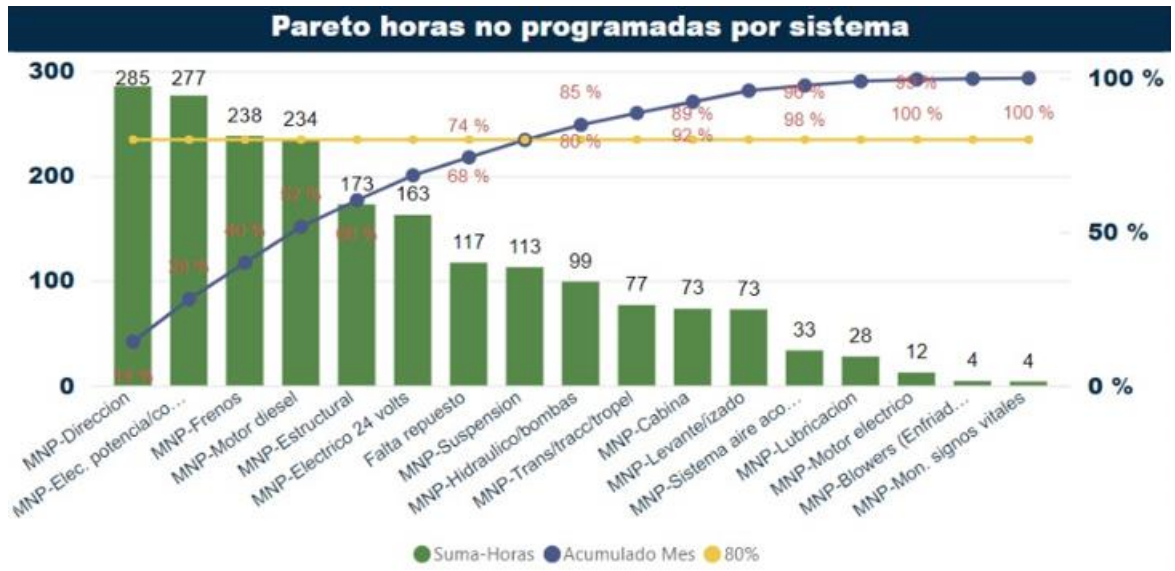


Figura N° 7.3: Pareto horas no programadas periodo Q2.

Fuente: creación propia.

En la figura N° 7.4 la gráfica de dispersión correspondiente al segundo trimestre se observa un leve aumento de los MTBF aproximadamente sobre las 45 horas medias entre falla de los camiones con aproximadamente 4 horas media de reparación.



Figura N° 7.4: Gráfica de dispersión periodo Q2.

Fuente: creación propia.

En las siguientes estadísticas correspondientes al tercer trimestre del año 2023, se observan mayores cambios en las disponibilidades con respecto a los paretos y graficas anteriores.

En la figura N° 7.5 del Pareto correspondiente al periodo Q3 se observa una disminución considerable de las detenciones no programadas en comparación a los periodos anteriores donde las horas no programadas del sistema de electrónica de potencia eran considerablemente superiores.

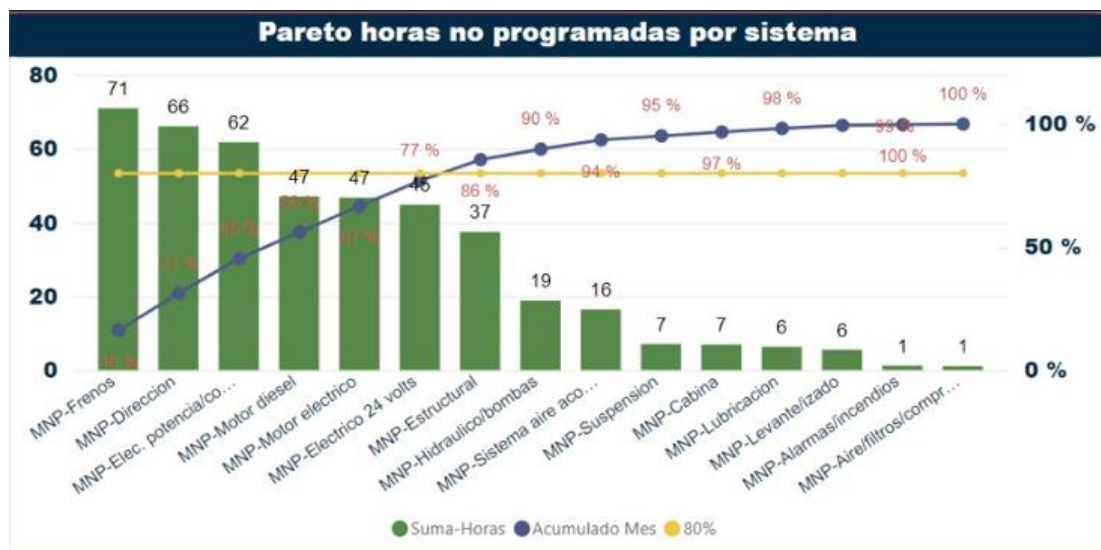


Figura N° 7.5: Pareto horas no programadas periodo Q3.

Fuente: creación propia.

En la figura N° 7.6 la gráfica de dispersión relacionada a las detenciones no programadas del periodo Q3, se observa unos MTBF mayores en relación con los periodos anteriores, todo esto refleja que la actualización del plan de mantenimiento que fue implementado ha resultado hasta el momento para el mejoramiento de los KPI de la flota de camiones. Esto se puede observar en la siguiente tabla de las disponibilidades y KPI de los equipos y flotas que tiene la faena.



Figura N° 7.6: grafica de dispersión periodo Q3.

Fuente: creación propia.

En la tabla N° 7.7 de disponibilidades y cumplimiento de la semana 44 del año 2023, se observan los resultados demarcados con un recuadro rojo correspondiente a la flota de camiones 830E - 1AC, estos resultados o números integran todo el comportamiento del año hasta la semana 44 de los sistemas del camión. Se puede determinar que se ha cumplido con creces los KPI de la flota, donde el objetivo de este año era de 40 y hasta este momento se tiene un valor de 83, al igual que las disponibilidades físicas y mecánicas vs las proyectadas en la semana, que igual cumplen según los informes de confiabilidad.

Tabla N° 7.1: Disponibilidad y cumplimiento semana 44 año 2023.

Flota	Disp% Fis proy sem 44	Disp% Fis real sem 44	Disp% Mec real sem 44	% Dif real / proyectada sem 44	% Indisp Operacional	TMEF Real	TMEF Obj 2023	TMPR Real	TMPR Obj 2023	% Uso
DM50	69	83	83	13,6	0,3	55	24	7	5	39
MD6240	80	84	85	4,5	0,2	27	24	3	5	38
MD6380	85	86	93	1,1	7,3	94	34	4	10	32
994F	68	68	69	(0,1)	0,7	28	24	6	4	79
994K	80	84	85	3,7	1,7	62	48	7	5	89
4100 XPC	93	93	93	(0,1)	0,5	61	40	1	3	52
992G	86	91	92	5,1	0,9	75	24	1	3	67
785C	81	92	93	11,5	0,2	132	32	3	3	77
830E(1)	84	85	85	1,2	0,3	83	40	4	3	65
830E(5)	89	91	93	2,1	2,0	141	78	2	4	84
FLOTA 830E	88	90	91	1,9	1,5	127	63	2	4	85
773	84	97	97	12,9	-	267	40	0	5	82
D10T	83	84	88	0,8	4,3	59	35	5	10	75
834G-854K	81	92	94	11,2	1,7	132	24	7	10	83
16M	80	69	69	(11,0)	0,1	26	32	15	10	77

Fuente: departamento de confiabilidad manto verde.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

Se logra describir y especificar en detalle la estructura y funcionamiento del camión eléctrico 830E-1AC, se describe y se da a conocer el sistema de retardo dinámico o freno regenerativo, explicando cada componente involucrado en el freno regenerativo y como se relaciona con los demás sistemas que involucran el funcionamiento del equipo.

Se demuestra que por medio de las herramientas y softwares de diagnóstico se puede recopilar datos para evitar fallos catastróficos en componentes claves del equipo, se analizan los puntos o variables críticas para poder realizar un plan de mantenimiento preciso al sistema de retardo del equipo, se describen y dan a conocer las mediciones prácticas de aislación que se realizan a los componentes del sistema de retardo y la utilización del software del equipo especificando las lecturas de las variables que influyen en el funcionamiento del sistema explicando que por medio del análisis de estas variables se determinaron los pasos a seguir para la intervención de cada equipo.

Se logra diseñar un plan de mantenimiento al sistema de retardo dinámico del equipo, que por medio de análisis de parámetros anteriores, pruebas prácticas y diagnósticos. Además de realizar el seguimiento a los comportamientos de las disponibilidades a través de las gráficas de Pareto de las horas no programada, levantamiento de los componentes de retardo de la flota y el detalle de cada uno de estos. Se analizan los costos involucrados especificando cada costo con respecto a las variables involucradas en los insumos y repuestos en el sistema de retardo, además se determinan los costos totales de la actualización del plan de mantenimiento y la recuperación de la inversión realizada según las variables de operación determinadas por la empresa donde se encuentran los equipos.

Se demuestra que por medio del aumento del costo para la actualización del plan de mantenimiento del sistema de retardo se mejora los KPI y las estadísticas de confiabilidad las cuales están reflejadas en los diagramas trimestrales de Pareto y de dispersión donde

se refleja las disminuciones de las detenciones y los tiempos de reparación. Por consecuencia se obtiene un aumento en la confiabilidad de la flota.

Se logran especificar los resultados del plan de mantenimiento en relación con las estadísticas de confiabilidad de la flota a través de los análisis de las gráficas de Pareto de manera trimestral durante el año post plan de mantenimiento, donde se confirma una reducción gradual durante el año de las detenciones no programadas, observando en cada gráfica trimestral una mejora en los MTBF y MTTR. Por consecuencia aumenta la confiabilidad del equipo de alguna forma confirmando los resultados positivos de la implementación de la actualización del plan.

GLOSARIO

- ✚ **ICP:** Panel de control integrado.
- ✚ **CAEX:** Camión de extracción.
- ✚ **CC:** Corriente continua.
- ✚ **CA:** Corriente alterna.
- ✚ **RL:** Carga eléctrica con una resistencia y bobina en serie.
- ✚ **AFSE:** Excitador estático del campo del alternador.
- ✚ **SCR:** Rectificador controlado de silicio.
- ✚ **IGBT:** Transistor bipolar de compuerta aislada.
- ✚ **PSC:** Sistema de control del camión.
- ✚ **PTU:** Unidad técnica portátil.
- ✚ **BLOWER:** Soplador.
- ✚ **RP:** Contactor de retardo.
- ✚ **CM1:** Modulo chopper 1.
- ✚ **CM2:** Modulo chopper 2.
- ✚ **WPTU:** Software de análisis sistema de potencia.
- ✚ **MEGHOMETRO:** Instrumento de medición de aislación eléctrica.
- ✚ **USD:** dólares.

- ✚ **TBO:** Tiempo entre intervenciones.

- ✚ **BUDGET:** Estimación económica de los gastos e ingresos de una empresa.

- ✚ **MTBF:** Tiempo medio entre fallas.

- ✚ **MTTR:** Tiempo medio por reparación.

- ✚ **KPI:** Indicadores clave de rendimiento.

- ✚ **FLASHOVER:** Descarga eléctrica que se produce cuando la corriente viaja por el aire de un conductor a otro.

BIBLIOGRAFIA

1. [830E-1AC | Komatsu Chile \(komatsulatioamerica.com\)](http://komatsulatioamerica.com)
2. [Manual sistema-electrico-potencia-camiones-830e-930e-komatsu \(slideshare.net\)](https://slideshare.net)
3. Publicación grupo de control 17KG535 para sistemas de mando AC GE240AC, GE320AC, GE360AC (GENERAL ELECTRIC).
4. Curso simunea camiones eléctricos.
5. Electrónica avanzada camiones Komatsu 830/930.
6. Predictiva21.com
7. www.electricity-magnetism.org
8. www.fundacionendesa.org
9. <https://www.fractal.com/es/blog/diagrama-de-pareto-en-mantenimiento>
10. <https://predictiva21.com/diagramas-de-pareto-y-de-dispersion-herramientas-del-mantenimiento/>
11. <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/Indicadores-de-Confiabilidad-en-Mantenimiento-94>