

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de formato de evaluación con criterios  
mecánicos de módulos de fase de los gabinetes  
de control de camiones eléctricos**

César Arturo Bautista Anaya

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **DEDICATORIA**

El siguiente trabajo va dedicado a lo más importante de mi vida; mis padres Francisco y Narcisa, mi hermano, mi novia y futura esposa María Fernanda; y sobre todo para mi linda hija Fernanda Valeria; la inspiración y la razón por la que busco ser más en la vida.

Así mismo lo dedico a mi casa de estudios la Universidad Continental; quien me formo paso a paso como profesional y me nutrió de conocimientos solidos día a día.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir esto, a mis padres y mi futura esposa por ser los impulsores de este gran paso en mi vida. Gracias por su apoyo incondicional.

Agradezco a la Universidad Continental por darme los conocimientos y valores para ser un profesional integro, a mis docentes del área de Ingenierías especialmente al Mg. Jonathan Sánchez.

Gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema: .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema:.....	1
1.1.2. Formulación del problema: .....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivos generales:.....	3
1.2.2. Objetivos específicos: .....	3
1.3. Justificación e importancia .....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.2. Bases Teóricas: .....	6

2.2.1.	Conceptos mecánicos:.....	6
2.2.2.	Transferencia de calor en semiconductores de potencia:.....	9
2.2.3.	Conceptos de electrónica de potencia: .....	14
2.2.4.	Camión eléctrico: .....	16
2.2.5.	Criterios no funcionales en una reparación de un componente: .....	24
2.3.	Definición de términos:.....	25
2.3.1.	Inversores:.....	25
2.3.2.	Camión de acarreo: .....	26
2.3.3.	Heat Sinks: .....	26
2.3.4.	Overhaul: .....	27
2.3.5.	Componente crítico:.....	27
2.3.6.	Criterios de reemplazo: .....	27
2.3.7.	Datasheets: .....	27
2.3.8.	Reutilizado:.....	27
2.3.9.	Producto REMAN:.....	28
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		29
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	29
3.1.1.	Enfoque o método de la investigación:.....	29
3.1.2.	Elección de tipo de investigación: .....	29
3.1.3.	Nivel de investigación: .....	30
3.1.4.	Diseño de investigación: .....	30

3.2.	Población y muestra:.....	31
3.2.1.	Población: .....	31
3.2.2.	Muestra: .....	31
3.3.	Fuentes de recolección de datos e información: .....	31
CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION .....		33
4.1.	Identificación de requerimientos: .....	33
4.1.1.	Requerimientos funcionales:.....	33
4.1.2.	Requerimientos no funcionales:.....	42
4.1.3.	Listado de exigencias:.....	42
4.2.	Análisis de la solución: .....	44
4.2.1.	Propuesta de la solución: .....	44
4.2.2.	Viabilidad de la propuesta: .....	63
4.2.3.	Análisis técnico y económico: .....	63
4.3.	Diseño: .....	66
4.3.1.	Diseño documentario: .....	66
4.3.2.	Requerimiento de materiales: .....	71
CAPÍTULO V: ELABORACION .....		72
5.1.	Elaboración de formato:.....	72
5.2.	Pruebas y resultados:.....	75
5.2.1.	Estandarización: .....	75
5.2.2.	Confiabilidad y tasa de fallas:.....	75

5.2.3. Relación Tiempo/Costo de Evaluación:.....	77
5.2.4. Costo de reparación: .....	78
CONCLUSIONES .....	80
TRABAJOS FUTUROS .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
ANEXOS.....	85

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Grados de Ra.....	7
Tabla 2: Propiedades más comunes de los materiales .....	8
Tabla 3: Características funcionales básicas de un GTO.....	16
Tabla 4: Criterios o aspectos de evaluación y reusabilidad de semiconductores de potencia .....	34
Tabla 5: Criterios o aspectos de evaluación y reusabilidad de Módulos disipadores o Heat Sink's .....	36
Tabla 6: Eventos de falla camiones reconstruidos .....	37
Tabla 7: Tipos de falla de módulos de fase.....	41
Tabla 8: Listado de exigencias.....	42
Tabla 9: Cantidad de semiconductores de potencia por fabricante en inicio de la evaluación.....	45
Tabla 10: Tasa de fallas de semiconductores de acuerdo a fabricante .....	47
Tabla 11: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para tiristores ABB. ....	50
Tabla 12: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para semiconductores WESTCODE.....	51
Tabla 13: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para diodos de potencia ABB. ....	52
Tabla 14: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para diodos de potencia WESTCODE.....	53
Tabla 15: Evaluación de valor técnico (Xi) .....	63
Tabla 16: Evaluación de valor económico (Yi).....	64
Tabla 17: Valores Xi, Yi.....	65
Tabla 18: Registro de fallas de camiones 121 – 125. ....	75

Tabla 19: Tipos de falla de módulos de fase camiones 121 hasta 125. ....	77
Tabla 20: Costo H-H de personal operativo .....	77
Tabla 21: Tiempo de evaluación de módulos de fase. ....	78
Tabla 22: Beneficio Tiempo/Costo.....	78
Tabla 23: Tabla de costos de reparación de módulo de fase 1.....	79
Tabla 24: Tabla de costos de reparación de módulo de fase 2.....	79

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Modulo disipador que presiona semiconductor IGCT. Fuente: (SEMICONDUCTORES DE POTENCIA, 2006).....	10
Ilustración 2: Conducción de calor. Fuente: (CENGEL, 2007).....	11
Ilustración 3: Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección. Fuente: (CENGEL, 2007) .....	12
Ilustración 4: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que ....	13
Ilustración 5: Clasificador de los semiconductores de potencia. ....	15
Ilustración 6: Simbología y sentido de corriente y voltaje. ....	16
Ilustración 7: Partes principales de camión eléctrico de mando AC. ....	17
Ilustración 8: Motor Cummins QSK-60 P2700. ....	18
Ilustración 9: Alternador Principal GE. ....	19
Ilustración 10: Gabinete de control. ....	19
Ilustración 11: Modulo de fase. ....	21
Ilustración 12: Motor de tracción o Wheel motor.....	23
Ilustración 13: Modulo disipador y semiconductores de potencia.....	35
Ilustración 14: Universo de semiconductores de potencia.....	46
Ilustración 15: Dimensiones físicas de Tiristor GTO. ....	55
Ilustración 16: : Dimensiones físicas de Diodo regenerativo.. ....	56
Ilustración 17: : Dimensiones físicas de Diodo de polarización.....	57

Ilustración 18: Tipos de daños en semiconductores de potencia .....	58
Ilustración 19: Tipos de daños en Módulos disipadores. ....	61
Ilustración 20: Matriz morfológica con 3 conceptos de solución. ....	62
Ilustración 21: Evaluación técnico – económico. ....	66
Ilustración 22: Limpiador de contactos de uso profesional 3 en 1 .....	68
Ilustración 23: Alcohol isopropílico .....	69
Ilustración 24: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 1. ....	72
Ilustración 25: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 2. ....	73
Ilustración 26: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 3. ....	73
Ilustración 27: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 4. ....	74
Ilustración 28: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 5. ....	74

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se refiere al: “Diseño de un formato de evaluación con criterios mecánicos de módulos de fase de los gabinetes de control de camiones eléctricos”

El objetivo fue el de realizar un formato de evaluación con criterios mecánicos que permita la reparación de los Módulos de Fase a un bajo costo de reparación, un grado alto de confiabilidad y garantía hacia el cliente. Así mismo la reducción de tiempos en la evaluación y una estandarización del proceso.

La metodología utilizada para desarrollar este trabajo de investigación fue bajo la norma VDI 2221 para su diseño. Debido a la poca información que existía al respecto de los módulos de fase se aplicó la ingeniería inversa para determinar parámetros de funcionamiento. Así mismo se hizo la revisión de hojas de datos de componentes electrónicos como también se usó la experiencia y conocimiento del personal operativo.

Dentro de las conclusiones más resaltantes dentro de este trabajo de investigación fue la gran reducción en la tasa de fallas de los camiones por falla mecánica de los módulos de fase. Así mismo se logró la reducción del tiempo de evaluación empleado para los módulos de fase como la reducción de reemplazo de subcomponentes y; la implementación de nuevos estándares y trabajos de reacondicionamiento durante la evaluación de los módulos de fase.

**Palabras claves: Modulo de fase, gabinete de control, camión eléctrico, estándares de evaluación, trabajos de reacondicionamiento y tasa de fallas.**

## ABSTRACT

This research work refers to: "Design of an evaluation format with mechanical criteria of phase modules of electric truck control cabinets"

The objective was to carry out an evaluation format with mechanical criteria that allows the repair of the Phase Modules at a low repair cost, a high degree of reliability and guarantee to the client. Also the reduction of time in the evaluation and a standardization of the process.

The methodology used to develop this research work is the VDI 2221 standard for its design. Due to the little information that exists regarding phase modules, reverse engineering was applied to determine operating parameters. Likewise, the electronic components data sheets were reviewed, as well as the experience and knowledge of the operating personnel.

Among the most outstanding conclusions within this research work was the great reduction in the failure rate of trucks due to mechanical failure of the phase modules. Likewise, the reduction of the evaluation time used for the phase modules was achieved, such as the reduction of subcomponent replacement and; the implementation of new standards and reconditioning works during the evaluation of the phase modules.

**Key words: Phase module, control cabinet, electric truck, evaluation standards, reconditioning works and failure rate.**

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación refiere al diseño de formato de evaluación con criterios mecánicos de los módulos de fase. Estos módulos de fase son componentes de alta potencia que son utilizados en el sistema de transmisión eléctrico de los camiones eléctricos.

Se desea diseñar un formato de evaluación con criterios mecánicos de módulos de fase, el cual posea estándares de verificación, de reutilización y de trabajos específicos de recuperación para su reparación.

En el primer capítulo se describe el planteamiento del problema y a su vez se determina los objetivos generales y específicos de nuestro trabajo.

En el segundo capítulo refiere al marco teórico donde se dará a conocer ideas que ya fueron planteadas en su momento y a su vez se contempla las parte específicas y de reconocimiento de los componentes que posee los módulos de fase que intervienen en el funcionamiento.

En el tercer capítulo refiere al desarrollo de la metodología para lograr diseño del formato de evaluación con criterios mecánicos de módulos de fase. En este caso se considerará como investigación con desarrollo tecnológico.

En el cuarto capítulo podremos ver el análisis y diseño de la solución, en la cual analizaremos los semiconductores y los módulos disipadores de acuerdo a su marca, valores de funcionamiento y otros.

En el quinto capítulo se realizará la implementación y así mismo se analizarán los resultados obtenidos de esta investigación.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema:**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema:**

En la actualidad, el rubro de la minería es un sector muy importante de la economía del país por lo que estas industrias invierten mucho dinero en tecnología para mejorar su producción.

Uno de los procesos más críticos de las industrias mineras es la producción. En estos se considera el uso de unidades de gran tamaño como los camiones gigantes de acarreo de mineral, y palas eléctricas o hidráulicas. Estos equipos son vitales en cualquier unidad minera de gran producción así mismo son importantes la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos.

Los camiones mineros eléctricos, poseen sistemas de control y transmisión eléctrica, si bien su mantenimiento es económico, fácil, de gran eficiencia y confiabilidad; el mal mantenimiento con lleva a una reparación o un Overhaull, ya sea por horas de funcionamiento o por falla presentada lo cual puede llevar a un gasto de entre 100000 y 500000 dólares americanos.

Uno de los componentes más caros es el gabinete de control y dentro de sus subcomponentes electrónicos destaca los Módulos de Fase.

Actualmente los talleres de reparación de componentes de camiones mineros eléctricos, realizan labores de reparaciones de gabinetes de control, y uno de los problemas que se generan cuando se ha de realizar una reparación es el costo. Así se determina la viabilidad de la reparación o no.

Uno de los componentes con alto precio como componente nuevo entregado de fábrica es el Modulo de Fase el cual oscila entre 27000 a 30000 dólares americanos y habitualmente los gabinetes de control poseen 14 de estos componentes; que multiplicados por el precio unitario dan un asuma aproximada de 378000 dólares americanos, más de ¼ de millón de dólares.

Si bien se tiene el alto precio de estos componentes como nuevos para el caso de que no puedan ser reparados, este es un factor que los clientes consideran como duda al momento de realizar las reparaciones de estos componentes.

Por eso es que este informe de investigación radica principalmente en el diseño de un formato de evaluación con criterios mecánicos de estos componentes, permitiendo que reduzca el costo de reparación del componente, sea viable, confiable y de garantía al cliente.

## **1.1.2. Formulación del problema:**

### ***1.1.2.1. Problema general:***

¿Cómo diseñar un formato de evaluación con criterios mecánicos para los módulos de fase de los gabinetes de control de los camiones eléctricos?

### ***1.1.2.2. Problemas específicos:***

¿Se puede realizar una evaluación mecánica de los módulos disipadores del módulo de fase a partir de sus propiedades físicas de rugosidad, dimensiones, recubrimiento superficial?

¿Cómo se puede realizar la evaluación eléctrica y mecánica de los semiconductores de potencia a partir de medidas registradas de componentes nuevos, información de los DATASHEETS, e historial de falla?

¿Podría reducirse los altos costos que se invierten en el reemplazo de componentes por defecto en vez de aplicar estándares de evaluación y poder reutilizarlos?

## **1.2. Objetivos**

De acuerdo al planteamiento y formulación del problema se presenta los siguientes objetivos.

### **1.2.1. Objetivos generales:**

Diseñar un formato de evaluación con criterios mecánicos para los módulos de fase de los gabinetes de control de los camiones eléctricos.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

Realizar una evaluación mecánica de los módulos disipadores del módulo de fase a partir de sus propiedades físicas de rugosidad, dimensiones, recubrimiento superficial y sobretodo el Know-how del área operativa.

Realizar la evaluación eléctrica y mecánica de los semiconductores de potencia a partir de medidas registradas de componentes nuevos, información de los DATASHEETS, y Know-how del personal operativo.

Reducir los altos costos que se invierten en el reemplazo de componentes por defecto en vez de aplicar estándares de evaluación y poder reutilizarlos.

### **1.3. Justificación e importancia**

Todo los componentes mecánicos y eléctricos pueden ser reparados siempre y cuando sus componentes cumplan diversas propiedades físicas, eléctricas entre otras.

Este proyecto de investigación radica en realizar un diseño de formato de evaluación con criterios mecánicos de módulos de fase, el cual debe de ofrecer garantía y confiabilidad a un precio menor.

En el gabinete de control hay subcomponentes de una mayor criticidad y alto costo como tarjetas electrónicas la cuales por recomendación y Know - how del área operativa deben de ser enviados a proveedores certificados lo cual demanda un alto costo.

Para no exceder el costo de reparación final del componente se ha optado por tomar componentes de un costo similar, pero con un grado de criticidad menor en comparado con las tarjetas electrónicas.

Actualmente estos componentes son los módulos de fase, los cuales no son reparados sino reemplazados con componentes nuevos. El área operativa no cuenta con un formato para la evaluación con criterios mecánicos para realizar una reparación estándar, es por eso que se propone una idea de mejora y reducción de costos.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del problema**

El sector minero va creciendo a pasos agigantados por lo que para el proceso de producción se utiliza nuevas tecnologías en el acarreo, costos bajos de mantenimiento, alta productividad y cuidado del medio ambiente.

Los camiones mineros eléctricos utilizados en el acarreo de mineral cumplen con estos requerimientos.

Los camiones eléctricos poseen sistema de transmisión electrónica de alta potencia, parte de esto radica el control y la modulación de los motores eléctricos a través de sistemas de inversores de corriente para que el camión cumpla con sus funciones; esto podemos confirmarlo a través del trabajo de titulación de “SIMULACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL Y PROPULSIÓN

ELÉCTRICA DEL CAMIÓN AC” (COLLAO, 2018)

La tecnología que presentan estos camiones eléctricos ya fueron aplicados a gran escala en Chile, muy cerca de nuestro país; actualmente las industrias las mineras peruanas de gran escala están optando por el uso de estos equipos en sus unidades mineras.

Se puede contar con equipos de última tecnología, pero si no se tiene un soporte de mantenimiento adecuado no se podrá tener un equipo altamente productivo y esto lo plantea en la siguiente cita "Sera muy importante que no se detenga el funcionamiento de los equipos. Son muchos los factores que pueden contribuir a este hecho, aunque uno de los más importantes es la realización de un correcto mantenimiento" (CALVO, 2004).

Los criterios de evaluación durante cualquier proceso de reparación de componente juegan un papel muy importante ya que de acuerdo a esto se determinara el porcentaje de reutilización de los subcomponentes como el porcentaje de componentes inutilizados y el costo de los mismos, poseer estándares de evaluación en un taller de reparación con certificación internacional necesita de procedimiento claros y precisos es así como se cita a continuación "Se evalúan las piezas que conforman un componente empleando instrumentos de medición debidamente calibrados y equipos sofisticados para evaluaciones eléctricas según manuales, procedimientos, instructivos emitidos por fabrica con el objetivo de estandarizar los criterios de evaluación a nivel mundial." (OLIVARES, 2017).

## **2.2. Bases Teóricas:**

### **2.2.1. Conceptos mecánicos:**

#### ***2.2.1.1. Rugosidad:***

La rugosidad es una propiedad mecánica que poseen diversos materiales en nuestro entorno. Esta rugosidad es caracterizada por las irregularidades que presentan en su superficie lo cual puede ser beneficioso como también perjudicial de acuerdo al uso al que vaya ser considerado

para un trabajo, es decir si se menciona un ejemplo se dice que la rugosidad buena nos ayudaría a que un bloque o caja de madera no se deslice a través de una pendiente, mientras que al tener una rugosidad podría provocar algún posible desgaste adhesivo en dos componentes que se encuentren en movimiento y presenten variación en su temperatura.

La rugosidad está siendo considerado como unos aspectos cruciales en procesos topográficos y se trata de cuantificar es así como se menciona en la siguiente cita “El grado de rugosidad de las superficies es importante, en ocasiones es deseable tener rugosidad alta y en otras ocasiones esta condición es indeseable. En algunos casos se busca que la superficie del producto terminado presente un mínimo de rugosidad” (La rugosidad de las superficies: Topometría, 2001).

*Tabla 1: Grados de Ra.*

Tipos	Rugosidad, Ra (um)	Costo relativo de obtencion
Super finish	0,1	40
Polish	0,2	35
Ground	0,4	25
Smooth	0,8	18
Fine	1,6	13
Semifine	3,2	9
Medium	6,3	6
Semirough	12,5	4
Rough	25	2
Cleanup	20	1

*Fuente: ASM Metals Handbook*

En la tabla 1 se muestra valores distintos de Ra, como se muestra el valor de Ra y valor de costo relativo son inversamente proporcional, por lo que si queremos una superficie con menor

grado de rugosidad este podría valer hasta 40 veces más de lo que se puede conseguir en el mercado local.

El valor de rugosidad es fundamental en las superficies de contacto por lo que el costo debe de ser considerado como crítico para cualquier aplicación que se le desea dar.

### ***2.2.1.2. Tratamiento superficial:***

Los materiales metálicos que se encuentra normalmente en el planeta, por sus propiedades propias son muy pocos las que se pueden utilizar directamente en un proceso. Generalmente para ser utilizados en distintas aplicaciones estas deben de sufrir un tratamiento especial ya sea por temperatura, por electricidad o por impacto para poder propiedades que puedan ser útiles para la aplicación y funciones que va a realizar. Las propiedades más comunes que presentan los materiales metálicos en nuestro día a día son las que se muestra en la Tabla 2.

*Tabla 2: Propiedades más comunes de los materiales*

<b>Propiedades de los materiales</b>
Gran resistencia mecanica
Buena conductividad electrica y termica
Gran plasticidad
Maleabilidad
Posibilidad de ser reciclados

*Fuente: Mecanizado básico, Esteban Domínguez*

Las propiedades que puedan adoptar distintos materiales parten desde una aleación. Esteban Domínguez en su libro Mecanizado básico describe lo siguiente sobre aleación “Es la mezcla de dos o más metales o elementos no metálicos por fusión conjunta, aglutinación o sinterizacion para formar un material nuevo. Las aleaciones se realizan para complementar y mejorar las propiedades de los elementos puros” (DOMÍNGUEZ , y otros, 2011)

### **2.2.2. Transferencia de calor en semiconductores de potencia:**

Los semiconductores de potencia durante su funcionamiento generan calor, ya sea porque a través de estas pasen grandes valores de corriente, o que sean encendidas o apagadas constantemente durante el funcionamiento del equipo.

Todo el calor generado durante su funcionamiento debe de ser disipado para que el componente pueda trabajar en buenas condiciones y así mismo la vida útil para la cual está diseñado no se reduzca o en casos extremos evitar la destrucción del semiconductor y por consecuencia llegue a afectar el componente donde se encontrara el semiconductor.

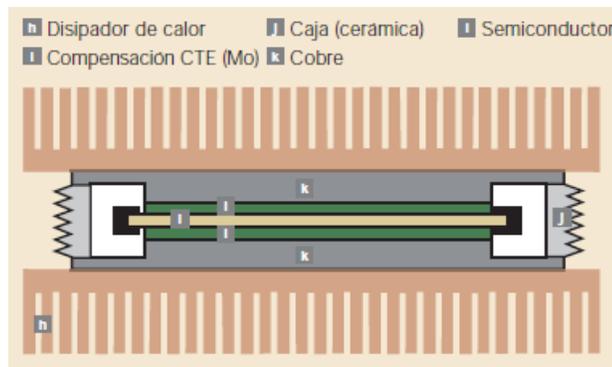
Según el Dr. Cengel, en su libro de Transferencia de calor y masa “El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.” (CENGEL, 2007).

#### ***2.2.2.1. Disipadores térmicos para dispositivos electrónicos:***

“Los dispositivos semiconductores como TRIAC, transistores, MOSFET, reguladores de tensión, etc., suelen manejar potencias de cierta magnitud y su tamaño suele ser pequeño. Por efecto Joule, cualquier cuerpo que conduce corriente eléctrica pierde parte de su energía en forma de calor. En los semiconductores, este calor se genera en la unión PN y, si la temperatura pasara de un límite, provocaría la fusión térmica de la unión. En dispositivos de potencia reducida, la superficie de los mismos es suficiente para evacuar el calor hacia el ambiente, manteniendo un flujo térmico que evita la destrucción de la unión. En dispositivos de mayor potencia, la superficie del componente no es suficiente para mantener el flujo térmico necesario

y debemos ampliar la zona de radiación mediante disipadores (radiadores o “heatsinks”) y, en ocasiones, apoyados por ventiladores.” (MENDEZ, 2016)

“En los módulos de contacto a presión, la corriente de carga entra por una superficie (k- cobre) y sale por la superficie opuesta. Las bajas resistencias eléctrica y térmica de los contactos están aseguradas por la alta presión mecánica aplicada sobre esas superficies. En caso de fallo, las piezas polares metálicas (j- caja cerámica) se funden y la corriente puede seguir circulando por el módulo.” (SEMICONDUCTORES DE POTENCIA, 2006).



*Ilustración 1: Modulo disipador que presiona semiconductor IGCT. Fuente: (SEMICONDUCTORES DE POTENCIA, 2006)*

#### **2.2.2.2. Transferencia de calor por conducción:**

“La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres. Por

ejemplo, llegará el momento en que una bebida enlatada fría en un cuarto cálido se caliente hasta la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción, del cuarto hacia la bebida, a través del aluminio” (CENGEL, 2007).

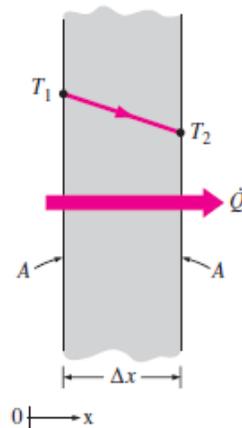


Ilustración 2: Conducción de calor. Fuente: (CENGEL, 2007)

$$Q_{cond} = k * A * \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}$$

En donde:

$k$  = es la conductividad térmica del material.

$A$  = es el área

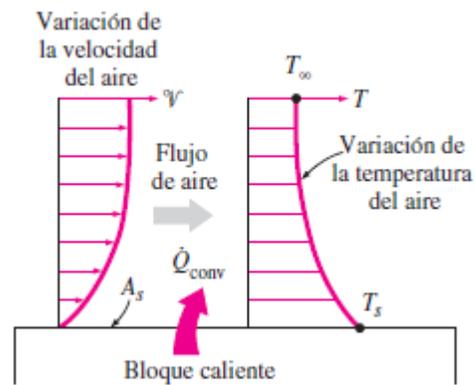
$T_1 - T_2$  = es la diferencia de temperaturas

$\Delta x$  = es el espesor de la placa

### 2.2.2.3. Transferencia de calor por convección:

“La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor

es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.” (CENGEL, 2007).



*Ilustración 3: Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.*

*Fuente: (CENGEL, 2007)*

$$Q_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty})$$

En donde:

$h$  = es el coeficiente de transferencia de calor por convección

$A_s$  = es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor

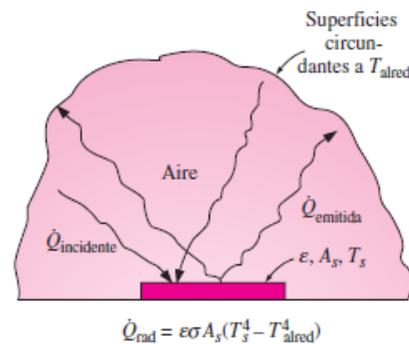
por convección

$T_s$  = es la temperatura de la superficie

$T_{\infty}$  = es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie

#### 2.2.2.4. Transferencia de calor por radiación:

“La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra.” (CENGEL, 2007).



*Ilustración 4: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan. Fuente: (CENGEL, 2007)*

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_s(T_s^4 - T_{alred}^4)$$

En donde:

$\varepsilon$  = emisividad de la superficie

$\sigma$  = constante de Stefan – Boltzman

$A_s$  = área superficial

$T_s^4$  = temperatura termodinámica de la superficie

$T_{alred}^4$  = temperatura termodinámica del medio.

### **2.2.3. Conceptos de electrónica de potencia:**

#### **2.2.3.1. Dispositivos semiconductores de potencia:**

“Desde que se desarrolló el primer tiristor de SCR a finales de 1957, ha habido progresos impresionantes en los dispositivos semiconductores de potencia. Hasta 1970, los tiristores convencionales se habían usado exclusivamente para el control de potencia en aplicaciones industriales. A partir de 1970 se desarrollaron varios tipos de dispositivos de semiconductores de potencia, que entraron al comercio. La clasificación de los semiconductores de potencia que se fabrican, ya sea como silicio o con carburo de silicio. Sin embargo, los dispositivos de carburo de silicio todavía están en desarrollo, y la mayor parte de los dispositivos se fabrican con silicio. Estos dispositivos se pueden dividir en forma general en tres clases: 1) diodos de potencia, 2) transistores y 3) tiristores. También se pueden dividir en general en cinco tipos: 1) diodos de potencia, 2) tiristores, 3) transistores de unión bipolar (BJT, de sus siglas en inglés *bipolar junction transistors*), 4) transistores de efecto de campo de óxido de metal semiconductor (MOSFET, de sus siglas en inglés *Metal oxide semiconductor field-effect transistors*), y 5) transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT, de sus siglas en inglés *insulated-gate bipolar transistors*) y transistores de inducción estática (SIT, de sus siglas en inglés *static induction transistors*).” (MUHAMMAD H., 2004)

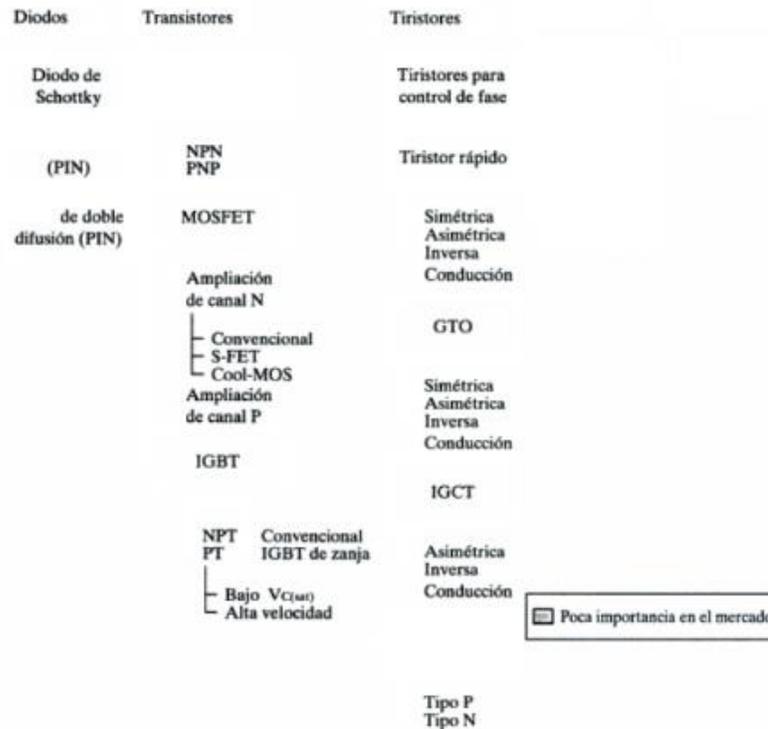


Ilustración 5: Clasificador de los semiconductores de potencia.

Fuente: (MUHAMMAD H., 2004)

### 2.2.3.1.1. Tiristor:

“Un tiristor tiene tres terminales: un ánodo, un cátodo y una compuerta. Cuando se hace pasar una corriente pequeña por la terminal de la compuerta, hacia el cátodo, el tiristor conduce siempre que la terminal del ánodo tenga mayor potencial que el cátodo.” (MUHAMMAD H., 2004).

#### 2.2.3.1.1.1. Tiristor de abertura de compuerta (GTO):

“Los GTO son tiristores de auto abertura. Se encienden (activan o desbloquean) aplicando un pulso positivo corto a las compuertas, y se apagan por la aplicación de pulso negativo corto a las

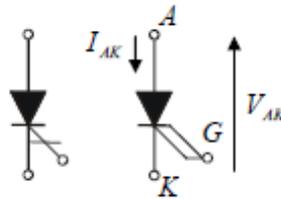
compuertas. No requieren circuito alguno de conmutación. Los GTO son muy atractivos para la conmutación forzada de convertidores, y se consiguen hasta para 6000 V y 6000 A.”

(MUHAMMAD H., 2004)

*Tabla 3: Características funcionales básicas de un GTO.*

Parámetro	Valor
Numero de terminales.	3
Control de la conmutación de bloqueo a conducción.	Externo mediante una intensidad aplicada al terminal de la puerta (G)
Control de la conmutación de conducción a bloqueo.	Externo mediante una intensidad aplicada al terminal de la puerta (G)

Fuente: (MAÑANA CANTELI)



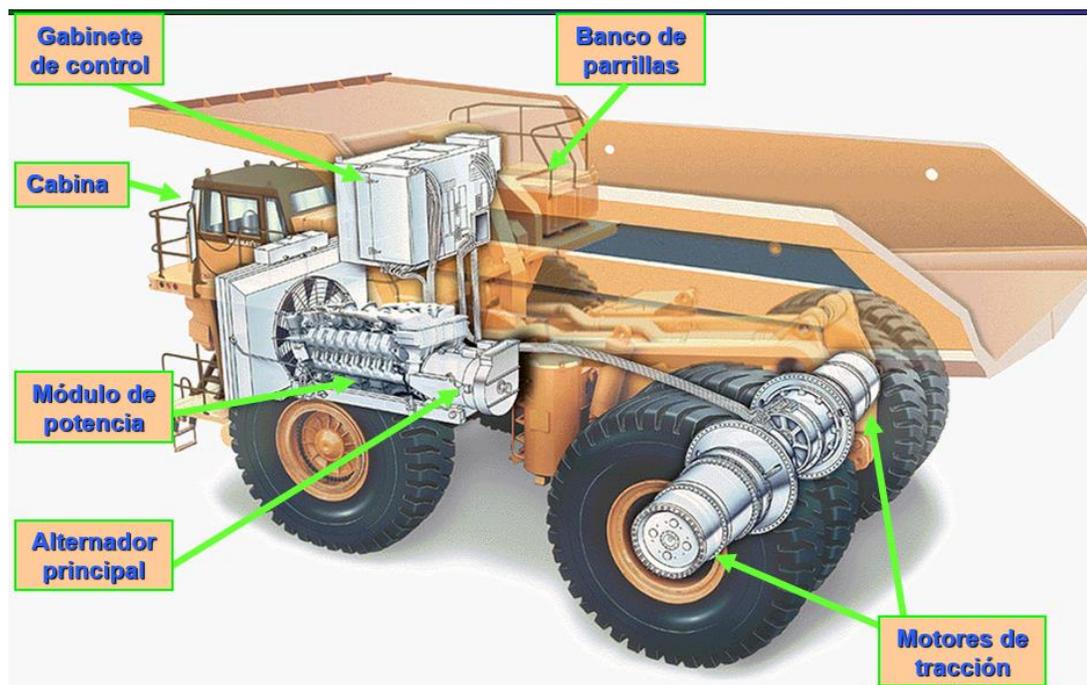
*Ilustración 6: Simbología y sentido de corriente y voltaje.*

Fuente: (MUHAMMAD H., 2004)

#### 2.2.4. Camión eléctrico:

El camión eléctrico de mando AC, es un camión de grandes dimensiones empleado para el acarreo de mineral en las unidades mineras de gran escala. Estos camiones son capaces de cargar entre 300 – 320 toneladas.

El mando AC se considera al uso tren de potencia que utiliza en este caso utiliza 02 motores eléctricos de corriente alterna instalados en sus ruedas posteriores. En estos tipos de camiones su funcionamiento del sistema de transmisión es a través del control de componentes electrónicos de alta potencia.



*Ilustración 7: Partes principales de camión eléctrico de mando AC.*

*Fuente: [www.geminingsolutions.com](http://www.geminingsolutions.com)*

#### **2.2.4.1. Módulo de potencia:**

El módulo de potencia está conformado por un motor diésel, y su sistema de enfriamiento. El motor diésel usado en la actualidad en las mineras es el motor Cummins QSK-60 P2700 de capacidad nominal de 2700HP @ 1900 RPM o el motor MTU/DDC 16V4000 @ 2700 HP (2014 kW).



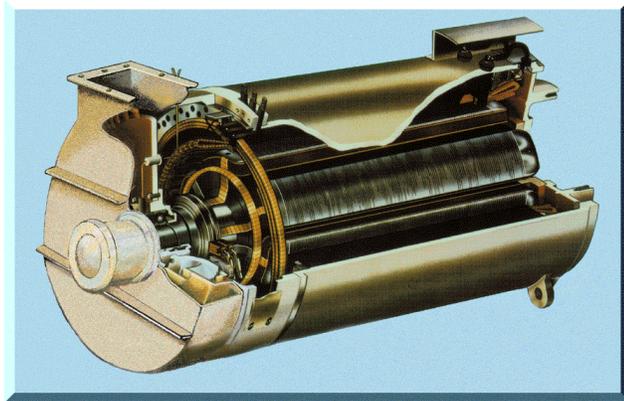
*Ilustración 8: Motor Cummins QSK-60 P2700.*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.2.4.2. Alternador Principal:**

El alternador principal es un generador de corriente AC que está alineado y conectado a la salida de la volante del motor diesel. Debido a la energía mecánica transmitida al eje de entrada del alternador principal, se comienza a generar un campo electromagnético que produce corriente AC. Esta luego es llevada hacia el gabinete de control para ser rectificadora y convertida a DC. Así mismo el alternador principal cuenta con dos ventiladores que están conectados con el eje de rotor los cuales se encargan de realizar la ventilación forzada del propio alternador principal y así mismo al gabinete de control. En este eje en paralelo se instala las bombas de caudal variable en un solo sentido del sistema hidráulico (Tandem gear 246 GPM (931 l/min.) @ 1900 RPM).

El alternador principal que posee puede llegar a generar un caudal de 12000 pies cúbicos por minuto ( $340 \frac{m^3}{min}$ ).



*Ilustración 9: Alternador Principal GE.*

*Fuente: [www.geminingsolutions.com](http://www.geminingsolutions.com)*

#### **2.2.4.3. Gabinete de control:**

El gabinete de control se encarga de controlar el funcionamiento del alternador principal, motores de tracción, banco de parrillas; cuando se da la propulsión y el retardo dinámico.

El gabinete de control está compuesto por tres controladores: el PSC (Propulsion System Controller), el TCI (Truck Control Interface) y el TMC (Traction Motor's Controller).



*Ilustración 10: Gabinete de control.*

*Fuente: <https://slideplayer.es/slide/8941087/> (ALVARADO IGLESIAS, 2016)*

#### 2.2.4.3.1. PSC:

La corriente AC proveniente del alternador principal es rectificadora por un panel rectificador y convertida a corriente DC nuevamente. Esta suministra a 2 conjuntos inversores que se encuentran dentro del gabinete (cada conjunto inversor se encarga de suministrar energía a su motor de tracción). Cada conjunto inversor posee 6 módulos de fase.

Cada módulo de fase posee un controlador llamado GATE DRIVER que junto al TMC permitirán la activación y desactivación del GTO a frecuencias variables creando una señal AC. Esta señal de frecuencia, voltaje y corriente AC se suministrará a los motores de tracción de acuerdo a las condiciones de operación requeridas.

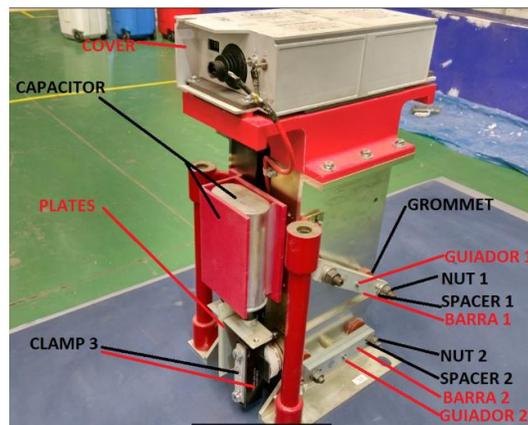
##### 2.2.4.3.1.1. Módulo de fase:

El módulo de fase funciona como inversor de corriente DC a distintas frecuencias generando corriente AC a diversos voltajes y frecuencias.

El módulo de fase está compuesto de las siguientes partes:

- Gate driver: Como su nombre lo indica está encargado del disparo (voltaje de disparo entre el Cátodo y Gate) del GTO con un voltaje y frecuencia de acuerdo a lo que se requiera en la operación; que se encuentre comandada por el TMC.
- Tiristor GTO: Permite el paso de la corriente hacia una de las fases del motor de tracción.
- Diodo de polarización: permite el paso de corriente en una sola dirección hacia el GTO; de acuerdo a la posición en la que se encuentra el diodo de polarización se determina la si el módulo de fase es negativo o positivo.

- Diodo regenerativo: permite el paso de corriente de los motores de tracción hacia el conjunto de parrillas cuando el camión se encuentra en retardo dinámico o freno eléctrico.
- Modulo disipador: son 02 placas disipadoras de calor (heat sinks) estas poseen 02 grapas que presionan a un determinado torque los semiconductores de potencia (diodos y tiristores), para que puedan conducir.
- Condensador: Esta antes del diodo de polarización permite el almacenamiento de carga y suministro de voltaje cuando se producen caídas de tensión durante el proceso de propulsión.



*Ilustración 11: Modulo de fase.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 2.2.4.3.2. TCI.

Se encarga de realizar la interface de comunicación entre la PSC y los requerimientos del operador en la propulsión y retardo del camión.

Posee puntos de verificación de voltajes de diversas señales de entrada como de salida llamadas regletas. Además, posee circuitos impresos de relays llamados RBs que se encargan del control de luces y alarmas del camión.

Presenta un panel de tarjetas electrónicas al igual que la PSC, que se encarga intercambiar información sobre el estado y control del sistema de control de propulsión, y proporciona a la PSC información sobre los estados de los sistemas del camión.

#### **2.2.4.4. Motores de tracción:**

Llamados también Wheel Motors, están ubicados en las ruedas posteriores del camión una en cada lado. El Wheel Motor 1 es el motor de tracción izquierdo de acuerdo a la orientación del asiento del operador y el Wheel Motor 2 es el motor de tracción derecho.

Cada motor de tracción funciona con su conjunto inversor respectivamente.

El motor de tracción posee un motor de inducción trifásico de corriente AC de onda completa, este convierte la energía eléctrica en energía mecánica y la transmite a un conjunto de engranajes planetarios (reductores de velocidad) en los cuales van montados finalmente los neumáticos. Las velocidades, torques y sentidos de giro dependerán del trabajo que esté desarrollando en los trabajos de acarreo.



*Ilustración 12: Motor de tracción o Wheel motor.*

*Fuente: <https://vdocuments.mx/curso-familiarizacion-camion-minero-930e3-komatsu.html>*

(Pesadas, 2016)

**2.2.4.5. Banco de parrillas:**

Llamado también caja de grillas, consta de 04 conjuntos de resistencias de alta potencia que se encargan de convertir la corriente proveniente de los motores de inducción trifásico de corriente AC de onda completa en la etapa del retardo dinámico, en calor para su disipación por ventilación forzada a través de 02 sopladores de corriente DC.

En algunos modelos estos proveen de ventilación forzado a los motores de tracción y gabinete de control. El flujo de aire frío es regulado y modulado de acuerdo a las exigencias térmicas que requiere el camión durante la operación. El banco de parrillas es controlado por los contactores de potencia y los módulos Chopper que son muy semejantes a los módulos de fase.

**2.2.4.6. Cabina de operador:**

La cabina del operador ha sido diseñada para la comodidad del operador y para permitir una operación segura y eficiente del camión. La cabina permite amplia visibilidad; posee una estructura integral ROPS / FOPS de 4 columnas y un avanzado ambiente análogo para el operador. Incluye parabrisas polarizado con vidrio de seguridad y alza vidrios eléctricos, interior de lujo con asiento ajustable de apoyo lumbar; volante de dirección totalmente ajustable e inclinable, controles montados al alcance del operador y tablero de instrumentos análogo, el que proporciona al operador todos los instrumentos e indicadores necesarios para el control y / u observación de los sistemas operativos del camión.

## **2.2.5. Criterios no funcionales en una reparación de un componente:**

### **2.2.5.1. Estandarización:**

Se considerará a la estandarización como la formalización de criterios o aspectos de evaluación en un formato de evaluación; el cual contenga criterios específicos de evaluación mecánica de los semiconductores de potencia como de las placas disipadores y así mismo que posea las recomendaciones necesarias para un trabajo de reacondicionamiento, reemplazo o reutilización.

Este formato deberá ser implementado como un nuevo estándar de evaluación cuando ingrese el componente para ser reparado.

### **2.2.5.2. Confiabilidad:**

Toda reparación de componente tiene un grado de confiabilidad y de seguridad operativa el cual debe de dar confianza al cliente de que el componente no presente falla durante su funcionamiento. Una vez implementado el formato con estándares de evaluación de módulos de fase este deberá de poseer una tasa de confiabilidad del 90% a 95%. Este grado de confiabilidad debe de ser lo más alto posible debido a que los tiempos empleados para su reemplazo es corto y crítico durante el ciclo de acarreo de mineral que realiza el camión; y así mismo la disponibilidad que se posee en tener un stock de módulos de fase para atender una emergencia en operaciones. Cabe resaltar que la parada de uno de estos camiones con carga en partes críticas de la ruta de acarreo o cuando está ubicado cerca de la pala eléctrica o mecánica a punto de ser cargado o cerca del punto de descarga de material en las concentradoras son considerados como puntos CRITICOS debido a la seguridad del personal y a los retrasos de producción que pueden generar.

### **2.2.5.3. Seguridad:**

Las implementaciones de estos estándares de evaluación deben permitir que todo este especificado concerniente a las herramientas y equipos que se utilizaran, EPP's básicos que el personal debe usar para realizar la evaluación de este componente.

### **2.2.5.4. Tiempo de reparación:**

La implementación de estándares de evaluación de los módulos de fase permitirá tener un registro del tiempo estándar usado para la evaluación y esto a su vez usado para medir la productividad y eficiencia de un taller o un técnico.

### **2.2.5.5. Costo de reparación:**

La implementación de estándares de evaluación de los módulos de fase, deba de permitir que el costo de la evaluación sea viable. Normalmente la viabilidad de una reparación de un componente es determinada por el tiempo usado para su reparación y a su el costo que involucra la reparación, que no debería de ser del mas 70% del valor del componente nuevo.

Para este caso se plantea que el costo como máximo por la reparación mecánica del módulo de fase no exceda del 30% del valor del componente. El módulo de fase también posee componentes eléctricos y electrónicos; y sus criterios serán desarrollados en otra publicación.

## **2.3. Definición de términos:**

### **2.3.1. Inversores:**

“Los inversores son circuitos que producen una tensión alterna con magnitud y frecuencia deseada monofásica o trifásica, dependiendo del número de brazos o ramas que tenga a partir de

una fuente de alimentación continua. Los inversores están constituidos por elementos de conmutación como BJT, GTOS, IGBT o MOSFET. Estos dispositivos deben ser encendidos por medio de pulsos de disparo generados a partir de otros circuitos. Generalmente estos pulsos son generados usando la técnica de Modulación de Ancho de Pulsos o PWM.” (LONDOÑO NOREÑA, 2008).

### **2.3.2. Camión de acarreo:**

Máquina de grandes dimensiones, capacidades de carga; utilizado para el acarreo de mineral ya sea oro plata cobre u otros, en la industria de gran minería. Con capacidades de carga de entre 200 a 400 toneladas.

Considerado como uno de los equipos de alta criticidad en productividad de una minera.

Estos camiones de acarreo pueden se mandó mecánico o mando eléctrico e incluso pueden ser vehículos no tripulados.

### **2.3.3. Heat Sinks:**

Llamados también disipadores de calor, se encargan de sujetar o mantener contacto con componentes electrónicos que generan calos debido al voltaje y corriente que pasan por estos. Los Heatsinks presentan diversas formas para su ventilación forzada y están hechas generalmente de materiales que disipen altamente las altas temperaturas como el aluminio y otros.

#### **2.3.4. Overhauil:**

Se llama a una reparación total de un componente revisando el estado en el cual se encuentran, cumpliendo valores eléctricos, medidas o tolerancias de desgaste (parámetros mecánicos). Para esto el componente debe de ser desmontado del equipo donde estaba instalado.

#### **2.3.5. Componente crítico:**

Se considera critico a cualquier componente que tenga un valor operacional de detener la operación de uno o más equipos en la línea de producción. En algunos casos la criticidad puede depender del valor económico como de la disponibilidad en un almacén.

#### **2.3.6. Criterios de reemplazo:**

Son estándares o pautas que se manejan en la evaluación de un componente como medidas o superficies de desgaste, horas de trabajo, tipo de trabajo al que está expuesto; para poder determinar el reemplazo.

#### **2.3.7. Datasheets:**

Es un documento de fabricante que todo componente electrónico posee en el cual figura parámetros y rangos de funcionamiento, operatividad e información técnica que permite determinar en qué tipos de trabajos puede ser utilizado.

#### **2.3.8. Reutilizado:**

Se considera el termino reutilizado a los repuestos que no poseen ningún daño severo o daños mínimos que pueden ser reacondicionados para una posterior utilización en el armado de ese componente.

### **2.3.9. Producto REMAN:**

Se considera producto REMAN, a aquel componente que paso por una labor de reparación total o Overhaul y puede trabajar aproximadamente 25000 hrs con baja probabilidad de falla. Estos componentes son vendidos por fábrica o un representante de la misma a un precio mucho menor a un componente nuevo.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.**

Para el desarrollo de la solución se explicará a continuación la metodología utilizada.

#### **3.1.1. Enfoque o método de la investigación:**

El enfoque que se ha tomado para el desarrollo de la solución es el método mixto, debido a que la intención es de crear criterios de evaluación del tipo mecánico de los módulos de fase para lo cual en un inicio se usara el enfoque cualitativo al momento de determinar las posibles causas para fijar los criterios. Seguidamente se usará el enfoque cuantitativo para complementar la metodología y se puedan obtener resultados estadísticos y de acuerdo a estos establecer un adecuado estándar para una evaluación.

#### **3.1.2. Elección de tipo de investigación:**

El tipo de investigación que se desarrolla para este trabajo es de tipo **tecnológico**. Como se indica líneas arriba el para desarrollar este trabajo de investigación se tendrá que partir de conceptos teóricos de la mecánica y de la electricidad; para luego ser aplicado en los procesos de evaluación de los módulos de fase permitiendo crear, determinar e identificar criterios para una

buena evaluación (reusabilidad, dar fuera de servicio a un componente, reemplazarlo o realizar trabajos de reconstrucción).

Se define para la investigación tecnológica a la “búsqueda de una aplicación práctica de los conocimientos que sean útiles a la realidad, para lograr una solución factible de las problemáticas abordadas; por lo que usualmente está ligada a un campo de aplicación en particular, normalmente con un lenguaje propio, especializado y utilitario.” (GAMBOA VILLAFRANCA, 1986).

### **3.1.3. Nivel de investigación:**

Los niveles de investigación que se usarán para la realización de este trabajo de investigación serán dos: descriptiva y explicativo.

Se considera descriptivo porque se determinará las propiedades y características de los componentes evaluados estos mismos serán tomados en cuenta para una posterior toma de decisión.

Así mismo se considera explicativo porque al momento de visualizar problemas, particularidades, u observaciones en los componentes se tratará de determinar posibles causas de estos fenómenos y así mismo realizar toma de decisiones para las condiciones en las que se podrían manifestarse en el equipo.

### **3.1.4. Diseño de investigación:**

El diseño de investigación será realizado con la metodología VDI2221, debido a que se tendrán varias variables que están relacionadas con la evaluación mecánica de los módulos de

fase. Estas variables podrán ser manipuladas para poder lograr que el producto tenga una alta confiabilidad y a su vez pueda incurrir en menor costo para el cliente.

### **3.2. Población y muestra:**

#### **3.2.1. Población:**

La población que se maneja aproximadamente a nivel mundial son de aproximadamente de 300 camiones eléctricos que poseen módulos de fase. Para este trabajo de investigación de se tomará una población de 20 camiones eléctricos que poseen módulos de fase los cuales se ubican en el sur del Perú.

#### **3.2.2. Muestra:**

Se considerará una muestra no probabilística debido a que se analiza los datos de 11 camiones (132 módulos de fase) a los cuales se les realizará un monitoreo constante hasta llegar a las 1000 horas de funcionamiento. El monitoreo será considerado desde el primer ciclo de prueba del camión sin carga. Así mismo se considerará también se realice el reemplazo del componente por falla u otro percance relacionado con los módulos de fase.

### **3.3. Fuentes de recolección de datos e información:**

- Informes de garantías y reclamos de cliente.
- Informes de pruebas de funcionamiento y entrega técnica de producto.
- Know-how de área de mantenimiento y talleres.
- Artículos científicos.
- Tiempos de reparación.

- Costos HH.
- Informes de reparaciones e históricos de componentes.

## **CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION**

### **4.1. Identificación de requerimientos:**

La identificación de los requerimientos del presente trabajo de investigación será planteada como requerimientos funcionales y no funcionales.

#### **4.1.1. Requerimientos funcionales:**

##### ***4.1.1.1. Semiconductores de potencia:***

Como se menciona líneas arriba el módulo de fase posee dos tipos de conductores que son: el tiristor GTO y el diodo de potencia.

La buena operatividad de estos semiconductores será importante para que el módulo de fase posea baja probabilidad de falla durante las labores de acarreo que realizar el camión.

Los aspectos o criterios que se considerarán para una adecuada evaluación y reusabilidad serán los siguientes:

*Tabla 4: Criterios o aspectos de evaluación y reusabilidad de semiconductores de potencia*

	Semiconductores de potencia (Diodo de potencia y tiristor GTO)
Criterio o aspecto eléctrico	Tensión o voltaje de conducción en caso de diodo de potencia y en caso de GTO se considera la Tensión o voltaje de disparo para su activación.
Criterio o aspectos mecánicos	Grado de rugosidad de superficies de contacto de los lados Ánodo y Cátodo de los semiconductores.
	Dimensiones física de los semiconductores (diámetro y espesor).
	Daños visuales o anomalías en su superficie.

*Fuente: Elaboración propia.*

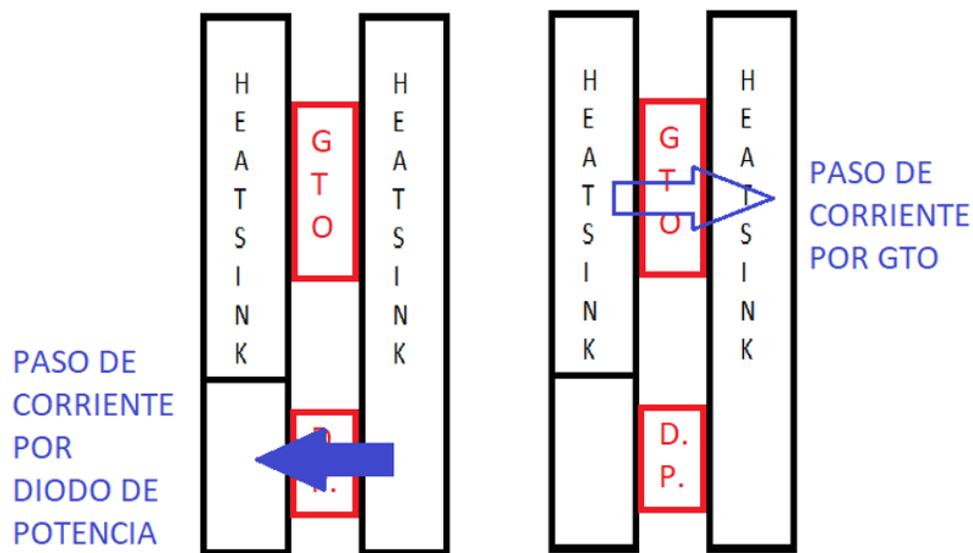
Para la elección del criterio o aspecto eléctrico se revisará los Datasheets proporcionados por cada fabricante de acuerdo al modelo usado para los módulos de fase. Estos aspectos criterios o aspectos eléctricos estarán determinados por la temperatura.

Para la elección del criterio o aspecto mecánico de la tabla superior, en lo que concierne al aspecto de grado de rugosidad y dimensiones físicas será determinado por la información proporcionado por el manual de fabricante, los grados de rugosidad de la ASM y el KnowHow del personal especializado del taller. Se considera al KnowHow como la experiencia que se posee a causa de posibles eventos de fallas suscitados y a su vez aportes de mejora durante este

proceso. Este KnowHow será también usado para el reconocimiento de los daños visuales o anomalías que podría presentar los semiconductores de potencia.

#### **4.1.1.2. Modulo disipador:**

El modulo disipador consta de 02 Heatsink que presionan los semiconductores de potencia para que permitan el paso de la corriente durante el proceso de propulsión y retardo del camión. Este paso de corriente se da de acuerdo a las dos imágenes mostradas en la parte inferior.



*Ilustración 13: Modulo disipador y semiconductores de potencia*

*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede apreciar en la Ilustración 13 los semiconductores de potencia están en contacto directo con sus módulos disipadores o Heat Sink's. Por lo que el buen criterio o aspecto de evaluación será muy importante. Los criterios o aspectos a considerar serán los siguientes:

*Tabla 5: Criterios o aspectos de evaluación y reusabilidad de Módulos disipadores o Heat Sink's*

	Modulo disipador o Heat Sink's
Criterio o aspectos mecánicos	Grado de rugosidad de superficies de contacto con los semiconductores de potencia.
	Tipo de recubrimiento superficial
	Daños visuales o anomalías en su superficie.

*Fuente: Elaboración propia*

Para la elección del criterio o aspecto mecánico de la tabla superior, en lo que concierne al aspecto de grado de rugosidad será determinado por la información proporcionado por los grados de rugosidad de la ASM y los datos históricos que posee el taller. En lo que concierne al aspecto del recubrimiento superficial se aplicara un nuevo tratamiento superficial que cubra los requerimientos de alta conductividad eléctrica y a su vez haga la de protección a diferentes factores ambientales y de trabajo como el calor generado por la corriente, la corrosión, la oxidación. Se considerará al KnowHow como la experiencia que se posee a causa de posibles eventos de fallas suscitados y a su vez aportes de mejora durante este proceso. Este KnowHow será también usado para el reconocimiento de los daños visuales o anomalías que podría presentar los módulos disipadores o Heatsink's.

#### 4.1.1.3. Tasa de fallas de módulos de fase:

La tasa de falla que han presentado estos módulos de fase en los camiones por no tener buenos criterios de evaluación de estos dos componentes ha sido reiterativa y compromete la disponibilidad de la flota.

*Tabla 6: Eventos de falla camiones reconstruidos*

<b>CAMION</b>	<b>FALLA</b>	<b>CORRECTIVO</b>	<b>SISTEMAS</b>	<b>COMPONENTES</b>
110	Evento 48.1 Barra link sin energía por corto circuito	Reemplazo de módulos de fase 1A+, 1A-, 1B+, 1B-.	Propulsión y retardo	Modulo de fase (4)
	Vástago de cilindro de levante RH dañado	Reemplazo de cilindro de levante	Sistema hidráulico	Cilindro de levante
	Eventos 104.1 y 204.1 relacionadas a tarjeta FOC	KRCP reemplazó la tarjeta de Fibra óptica	Propulsión y retardo	Tarjeta FOC
	Tironeo de MT RH. Sensores invertidos.	Reemplazo de tarjeta inversora 172	Propulsión y retardo	Tarjeta inversora
	Eventos 21.1; 696.10 y 105.2 por tarjeta 17FB147	KRCP reemplazó hasta 3 veces la tarjeta 147	Propulsión y retardo	Tarjeta 147
	Pérdida de comunicación tarjetas CPU	KRCP reemplazó la tarjeta TCI	Propulsión y retardo	tarjeta 144
111	Barra link sin energía. Evento 48.1	Reemplazo de módulos de fase 1A+, 1A-, 2A+, 2A-, 2C-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (5)

	Blower 1 abierto. Evento 36.3	Reemplazo de cableado del conector CNA al LEM1	Propulsión y retardo	LEM
	RSC de consola central no funciona adecuadamente	Reemplazo de dial RSC	Cabina	Dial RSC
	En el contactor GF no pegan los contactos. Evento 30.1	Calibración de contactor GF	Propulsión y retardo	Contactor GF
	Desconfiguración de hora.	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
	Sensores de corriente con desviación.	Reemplazo de sensores de corriente LEM	Propulsión y retardo	LEM
	Desconfiguración de hora.	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
112	Equipo registraba falsa señal de corriente.	Reemplazo de tarjeta 160	Propulsión y retardo	Tarjeta 160
	Evento 48.1 Barra link sin energía por corto circuito	Se reemplazaron los módulos de fase 1A+ y 1A- del inv1	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)
	Malfuncionamiento del GDPC	Reemplazo del GDPC	Propulsión y retardo	Fuente GDPC
	No comunicación con TCI	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
113	El nose cone no engrasaba adecuadamente	Se reemplazó el nose cone	Chasis	Nose cone
	Alarma activa de freno de servicio	Reemplazo de tarjeta AID	Eléctrico 24 volts	Tarjeta 5 AID
	Problemas de funcionamiento de GDPC	Se reemplazó el GDPC	Propulsión y retardo	Fuente GDPC
	Al momento de girar la dirección, ésta se ponía dura	Reemplazo de válvula amplificadora	Sistema hidráulico	Válvula amplificadora

114	Evento 48.1 Barra link sin energía o battery boost	Se reemplazó el battery boost del AFSE	Propulsión y retardo	Tarjeta Battery Boost
	No propulsión. Evento 228.1 Inv2 fase B-	Se reemplazó Gate driver Inv2 fase B-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (1)
	No propulsión. Evento 235.6 Inv2 fase C+	Se reemplazó Gate driver Inv2 fase C+	Propulsión y retardo	Modulo de fase (1)
115	Evento 48.1 Barra link sin energía o battery boost	Se reemplazó el battery boost del AFSE	Propulsión y retardo	Tarjeta Battery Boost
	Evento 48.1 Barra link sin energía por corto circuito	Se reemplazaron los módulos de fase 2B+ y 2B- del inv2	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)
	Evento 20. Aparición de alto torque a baja velocidad	Se reemplazó el sensor de corriente del MT2	Propulsión y retardo	LEM
	Evento 20. Aparición de alto torque a baja velocidad	Se reemplazó tarjeta PSC	Propulsión y retardo	Tarjeta 147
116	Durante monitoreo, el sensor de corriente del blower 2 tenía variaciones de corriente	Reemplazo del sensor de corriente del blower 2	Propulsión y retardo	LEM
	Dirección se pone dura al girar a la izquierda	Se reemplazó válvula amplificadora	Sistema hidráulico	Válvula amplificadora
	No propulsión. Evento 128.1 Inv1 fase B-	Se realizó el reemplazo del gate drive del inv1 fase B-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (1)
117	Palanca de levante se queda accionada en pos. De levante	Se realizó el cambio del cable de levante de tolva	Cabina	palanca de levante
	No propulsión. Evento 3.1	Se reemplazaron módulos de fase Inv2 2A+ y 2A-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)

118	Estaba activo el evento 633 (BDRAM corrupted)	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
	Estaba activo el evento 33.1 relativo al contactor	Se realizó el cambio de la tarjeta digital 104	Propulsión y retardo	Tarjeta 104
119	RSC de consola central no funciona adecuadamente	Reemplazo de dial RSC	Cabina	Dial RSC
	No propulsión. Evento 3.1	Se reemplazaron módulos de fase Inv1 1C+ y 1C-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)
	No propulsión. Evento 3.1	Se reemplazaron módulos de fase Inv2 2A+ y 2A-	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)
120	No comunicación con el PSC	Se reemplazó la tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
	Speedometer no muestra velocidad ni peso	Reemplazo del speedometer	Cabina	Velocímetro
	Evento 48.1 Barra link sin energía por corto circuito	Se reemplazaron módulos de fase Inv 2A+, 2A- y 2b+	Sistema hidráulico	Modulo de fase (3)
	Malfuncionamiento de los 2 sensores de corriente de MT2	Reemplazo de sensores de corriente LEM del MT2	Propulsión y retardo	LEM

*Fuente: Elaboración propia*

Como se muestra en la tabla superior en un total de 11 camiones monitoreados durante su entrega técnica se han reportado diversas fallas de las cuales se observa las fallas resaltadas de color amarilla las que están involucradas con la operatividad de los módulos de fase. Las fallas de estos módulos de fase involucran falla mecánica como también falla eléctrica como se muestra en la tabla 7.

*Tabla 7: Tipos de falla de módulos de fase*

<b>Camión</b>	<b>Tipo de falla de módulo de fase</b>	<b>Tipo de falla de módulo de fase</b>
110	1A+, 1A-, 1B+	Falla mecánica
	1B-	Falla eléctrica
111	1A+, 1A-, 2C-	Falla mecánica
	2A+, 2A-	Falla eléctrica
112	1A-	Falla mecánica
	1A+	Falla eléctrica
114	2B-, 2C+	Falla eléctrica
115	2B+, 2B-	Falla mecánica
116	1B-	Falla eléctrica
117	2A-	Falla mecánica
	2A+	Falla eléctrica mecánica
119	1C+, 1C-, 2A-	Falla mecánica
	2A+	Falla eléctrica

120	2A+, 2A-, 2B+	Falla mecánica
-----	---------------	----------------

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.1.2. Requerimientos no funcionales:

Los requerimientos no funcionales serán aquellos que no comprometan directamente la buena operatividad del componente durante su jornada de trabajo. Para lo cual se considerará la estandarización, confiabilidad, seguridad tiempo de reparación y el costo de la reparación.

#### 4.1.3. Listado de exigencias:

De acuerdo a lo planteado en los puntos 4.1.1. y 4.1.2. se realiza el siguiente listado de exigencias.

*Tabla 8: Listado de exigencias*

LISTADO DE EXIGENCIAS			EDICION	Pag..... de ....
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE FORMATO DE EVALUACION CON CRITERIOS MECANICOS DE MODULOS DE FASE DE LOS GABINETES DE CONTROL DE CAMIONES ELECTRICOS			# DE IDENTIFICACION:	
			REDACTADO POR: C. Bautista	
			FECHA: 13/06/2020	
CAMBIOS (FECHA)	DESEO O EXIGENCIA	CARACTERISTICA	DESCRIPCION	RESPONSABLE
	D	USO	Debe permitir una fácil comprensión al personal de taller. Debe de indicar parámetros altos y bajos que determinen si el componente requiere un trabajo de reconstrucción, reutilización y reemplazo	C. BAUTISTA

	E	SEGURIDAD	Debe permitir que se tenga claro y especificado los EPP's a usarse y herramientas y equipos a usar para la evaluación	C. BAUTISTA
	D	FUNCION	Permita la implementación de aspectos o criterios mecánicos para una buena evaluación mecánica de los módulos de fase	C. BAUTISTA
	E	ESTANDARIZACION	Deberá de poseer criterios o aspectos específicos que permitan realizar una adecuada evaluación mecánica del módulo de fase.	C. BAUTISTA
	E	CONFIABILIDAD	Los estándares de evaluación planteados deberán permitir que la evaluación mecánica tenga un grado de confiabilidad del 90 a 95%, debido a la criticidad del componente en camión.	C. BAUTISTA
	D	TIEMPO	Los estándares de evaluación planteados deberán de permitir la medición de tiempos de una evaluación mecánica, para así medir la productividad.	C. BAUTISTA
	E	COSTOS	Los nuevos estándares de evaluación mecánica, permitirán que el costo de la evaluación no sea mayor del 30% del	C. BAUTISTA

			valor del componente nuevo.	
	D	ERGONOMIA	No deberá de presentar riesgo ergonómico alguno al personal que labore con estos nuevos estándares de evaluación.	C. BAUTISTA
	E	TASA DE FALLAS	La tasa de falla no debe de superar el 10% de las fallas reportados en una muestra de 10 camiones durante se realice las pruebas y trabajo del equipo hasta 1000 hrs.	C. BAUTISTA

*Fuente: Elaboración propia.*

## **4.2. Análisis de la solución:**

### **4.2.1. Propuesta de la solución:**

#### ***4.2.1.1. Semiconductores de potencia***

##### ***4.2.1.1.1. Semiconductores de potencia análisis por fabricante:***

Como se indicó líneas arriba los semiconductores de potencia están constituidos por dos tipos: diodo de potencia y tiristor GTO.

Estos semiconductores de potencia son elaborados por diversos fabricantes reconocidos a nivel mundial como son: ABB, Westcott y Proton-Electrotex. A partir del camión 110 se comenzó a establecer la reparación de los módulos de fase debido a la cantidad de fallas que se presentaban por este componente durante las entregas técnicas del camión, para lo cual se

comenzó a tomar registro de los semiconductores que poseían los 12 módulos de fase que pertenecían al gabinete de control. A continuación, en la tabla 7 se muestra el detalle de estos por procedencia de fabricante.

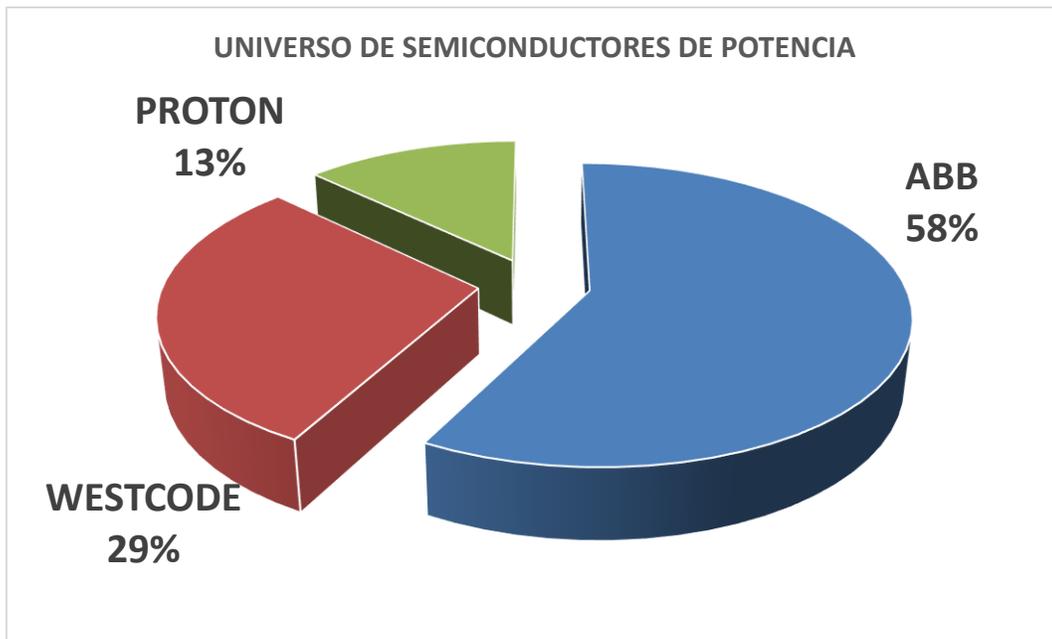
*Tabla 9: Cantidad de semiconductores de potencia por fabricante en inicio de la evaluación.*

<b>CAMION</b>	<b>SEMICONDUCTORES DE POTENCIA</b>	<b>ABB</b>	<b>WESTCODE</b>	<b>PROTON</b>
110	Tiristor GTO	7	5	0
	Diodo Regenerativo	8	4	0
	Diodo de Polarizacion	6	5	1
111	Tiristor GTO	8	4	0
	Diodo Regenerativo	8	3	1
	Diodo de polarizacion	6	3	3
112	Tiristor GTO	2	5	5
	Diodo Regenerativo	6	5	1
	Diodo de polarizacion	11	1	0
113	Tiristor GTO	8	4	0
	Diodo Regenerativo	8	3	1
	Diodo de polarizacion	6	3	3
114	Tiristor GTO	2	5	5
	Diodo Regenerativo	12	0	0
	Diodo de polarizacion	7	5	0
115	Tiristor GTO	8	2	2
	Diodo Regenerativo	6	5	1
	Diodo de polarizacion	8	3	1
116	Tiristor GTO	6	3	3
	Diodo Regenerativo	2	5	5
	Diodo de polarizacion	6	5	1
117	Tiristor GTO	5	6	1
	Diodo Regenerativo	5	1	6
	Diodo de polarizacion	9	3	0
118	Tiristor GTO	5	7	0
	Diodo Regenerativo	8	2	2
	Diodo de polarizacion	8	2	2
119	Tiristor GTO	6	5	1
	Diodo Regenerativo	8	3	1

120	Diodo de polarizacion	6	3	3
	Tiristor GTO	7	5	0
	Diodo Regenerativo	12	0	0
	Diodo de polarizacion	9	1	2
<b>TOTAL</b>		<b>229</b>	<b>116</b>	<b>51</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la ilustración 14; los semiconductores de la marca ABB superan el 50% del total de los semiconductores de 11 camiones.



*Ilustración 14: Universo de semiconductores de potencia.*

*Fuente: Elaboración propia*

Las fabricaciones de estos camiones datan entre los años 1990 y 1994, por lo que hasta el presente de hoy es muy probable que algunos fabricantes de estos semiconductores de potencia hayan podido dejar de proveer estos dispositivos al mercado. Debido a la disponibilidad y el

desarrollo de la marca ABB en el mercado hasta el presente se podría intuir que es uno de los principales proveedores a considerar.

A continuación, en la tabla inferior se podrá visualizar la tasa de falla de los semiconductores desde el camión 110 hasta el camión 120, por el tipo de procedencia o fabricante.

*Tabla 10: Tasa de fallas de semiconductores de acuerdo a fabricante*

<b>CAMION</b>	<b>MODULOS DE FASE</b>	<b>SEMICONDUCTOR</b>	<b>ABB</b>	<b>WESTCODE</b>	<b>PROTON</b>
110	1A+	Tiristor GTO	0	0	1
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	1A-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	1B+	Tiristor GTO	0	0	1
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	1B-	Tiristor GTO	1	0	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	0	1
111	1A+	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	0	1
	1A-	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
	2A+	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	1	0	0

		Diodo de polarizacion	0	0	1
	2A-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	2C-	Tiristor GTO	0	0	1
		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
112	1A+	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	1	0	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	1A-	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	0	0
114	2B-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	1	0	0
		Diodo de polarizacion	0	0	0
	2C+	Tiristor GTO	0	0	1
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	0
115	2B+	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	0	1
	2B-	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
116	1B-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
117	2A+	Tiristor GTO	0	1	0

		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	2A-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
119	1C+	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	1	0	0
	1C-	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
	2A+	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	0	1
		Diodo de polarizacion	0	0	1
	2A-	Tiristor GTO	0	0	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	1
120	2A+	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	0	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
	2A-	Tiristor GTO	0	1	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	0	0
	2B+	Tiristor GTO	1	0	0
		Diodo Regenerativo	0	1	0
		Diodo de polarizacion	0	1	0
		<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>29</b>	<b>22</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la tabla 10 se puede apreciar que los semiconductores de la marca WESTCODE y PROTON, presentan una gran tasa de falla en comparación de los semiconductores de la marca ABB. Por lo que puede ser considerado como alternativa de solución el uso de los semiconductores de la marca ABB.

*4.2.1.1.2. Semiconductores de potencia - análisis eléctrico:*

El análisis eléctrico de los semiconductores de potencia se realizará tanto para los tiristores GTO, como de los diodos de potencia (diodo de polarización y diodo regenerativo).

Para el análisis eléctrico del tiristor GTO, se tendrá el valor de la tensión de conducción cuando el tiristor es disparado y cuando no es disparado. Para estas mediciones se tendrá en cuenta la temperatura a la cual se encuentra el tiristor GTO. A continuación, en la tabla inferior se tomará registro de estos valores a 10 tiristores nuevos de la marca ABB y Westcode cada uno. Los tiristores de la marca PROTON, no serán registrados debido a que no se encuentran disponibles en los almacenes ni en el mercado.

*Tabla 11: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para tiristores ABB.*

<b>ABB</b>				
ITEM	NUMERO DE SERIE	TENSION DE CONDUCCION CUANDO EL DISPARO ES ON (VDC)	TENSION DE CONDUCCION CUANDO EL DISPARO ES OFF (VDC)	TEMPERATURA (°C)
1	55-198458	0,5886	0	24,5
2	55-897488	0,5968	0	24,5
3	55-298554	0,5998	0	24,5
4	55-692468	0,5989	0	24,5
5	55-329845S	0,6100	0	24,5
6	55-842169S	0,6105	0	24,5
7	55-872314	0,5856	0	24,5
8	55-489755	0,5948	0	24,5

9	55-897564	0,5878	0	24,5
10	55-219875	0,5999	0	24,5

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla 11, los valores de tensión de conducción que poseen los tiristores GTO de la marca ABB, son entre 0.5856 y 0.6105 VDC a los 24.5°C.

A continuación, se muestra la tabla de valores registrados de GTO de la marca WESTCODE.

*Tabla 12: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para semiconductores WESTCODE*

<b>WESTCODE</b>				
ITEM	NUMERO DE SERIE	TENSION DE CONDUCCION CUANDO EL DISPARO ES ON (VDC)	TENSION DE CONDUCCION CUANDO EL DISPARO ES OFF (VDC)	TEMPERATURA (°C)
1	IXYS59872-56	0,2000	0	24,5
2	IXYS59872-01	0,2145	0	24,5
3	IXYS59872-48	0,2100	0	24,5
4	IXYS59872-12	0,2050	0	24,5
5	IXYS59872-59	0,2059	0	24,5
6	IXYS59872-44	0,2584	0	24,5
7	IXYS59872-45	0,2458	0	24,5
8	IXYS59872-46	0,2569	0	24,5
9	IXYS59872-98	0,2015	0	24,5
10	IXYS59872-89	0,2003	0	24,5

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla 12 los valores de tensión de conducción de los GTO registrados de la marca WESTCODE son entre 0.2000 y 0.2584 VDC.

Por referencia de los datos históricos registrados en taller en trabajos de reparación de componentes de control, la tensión de conducción cuando se realiza el disparo del GTO es importante debido a que puede determinar el estado y el tiempo de vida que puede soportar en el

trabajo. A través de esta tensión de conducción se puede determinar la confiabilidad que este puede poseer con respecto a otras marcas que se encuentran en el mercado.

El análisis resultante después de observar las tablas 11 y 12, es que la tensión de conducción de los tiristores GTO de la marca ABB es superior a la tensión de conducción de los tiristores WESTCODE. Por lo que una propuesta de solución es el uso de tiristores GTO de la marca ABB en las labores de evaluación de módulos de fase.

Para el análisis eléctrico de los diodos de potencia, se tendrá el valor de la tensión de conducción del diodo. Para el registro de estas mediciones se tendrá en cuenta una temperatura de 24.5°C y se tomará el registro de estos parámetros eléctricos a 10 diodos de la marca ABB y 10 diodos de la marca WESTCODE cada uno.

Los diodos de potencia de la marca PROTON, no serán registrados debido a que no se encuentran disponibles en los almacenes ni en el mercado.

*Tabla 13: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para diodos de potencia ABB.*

<b>ABB</b>				
ITEM	NUMERO DE SERIE	TENSION DE CONDUCCION A-K	TENSION DE CONDUCCION K-A	TEMPERATURA (°C)
1	45-895674	0,301	0	24,5
2	45-359815	0,298	0	24,5
3	45-298764	0,2999	0	24,5
4	45-225983	0,3114	0	24,5
5	45-159436	0,2889	0	24,5
6	45-873259	0,2897	0	24,5
7	45-182935	0,2985	0	24,5
8	45-748998	0,2841	0	24,5
9	45-025486	0,2963	0	24,5
10	45-711156	0,2954	0	24,5

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla 13, los valores de tensión de conducción que poseen los diodos de potencia de la marca ABB, son entre 0.2841 y 0.3114 VDC a los 24.5°C.

Cabe mencionar que en esta tabla están considerados los diodos de polarización como los diodos regenerativos.

A continuación, se muestra la tabla de valores registrados de diodos de potencia de la marca WESTCODE.

*Tabla 14: Valores de VDC de acuerdo a temperatura para diodos de potencia WESTCODE.*

<b>WESTCODE</b>				
ITEM	NUMERO DE SERIE	TENSION DE CONDUCCION A-K	TENSION DE CONDUCCION K-A	TEMPERATURA (°C)
1	IXYS59889-87	0,1565	0	24,5
2	IXYS59889-88	0,1987	0	24,5
3	IXYS59889-89	0,1448	0	24,5
4	IXYS59889-90	0,1685	0	24,5
5	IXYS59889-01	0,1236	0	24,5
6	IXYS59889-54	0,1258	0	24,5
7	IXYS59889-65	0,1685	0	24,5
8	IXYS59889-48	0,1678	0	24,5
9	IXYS59889-05	0,1982	0	24,5
10	IXYS59889-96	0,2122	0	24,5

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla 14, se observa que el valor de tensión de conducción de los diodos de potencia de la marca WESTCODE, se encuentra entre los 0.1236 y 0.2122 VDC a los 24.5°C. Por referencia de los datos históricos registrados en taller, la tensión de conducción de los diodos de potencia es importante debido a que puede determinar el estado y el tiempo de vida

que puede soportar en el trabajo. A través de esta tensión de conducción se puede determinar la confiabilidad que este puede poseer con respecto a otras marcas que se encuentran en el mercado.

El análisis resultante después de observar las tablas 13 y 14, es que la tensión de conducción de los diodos de potencia de la marca ABB es superior a la tensión de conducción de los diodos de potencia de la marca WESTCODE. Por lo que una propuesta de solución es el uso de los diodos de potencia de la marca ABB en las labores de evaluación de módulos de fase.

#### *4.2.1.1.3. Semiconductores de potencia - análisis mecánico:*

El análisis mecánico de los semiconductores de potencia será el mismo que para los diodos de potencia (diodo de polarización y diodo regenerativo) y para los tiristores GTO. Estos criterios mecánicos aplicaran tanto en semiconductores nuevos como en semiconductores que podrían ser reutilizados.

Como se indicó en la tabla 4, los criterios mecánicos analizados son los siguientes:

##### *4.2.1.1.3.1. Grado de rugosidad:*

El grado de rugosidad de dos superficies, es importante debido a que suprime al máximo el vacío que podría haber entre estas dos caras, permite una buena conductividad eléctrica ya que estos son usados para el paso de estas. Así mismo evita que se genere desgaste eléctrico, una alta temperatura y fatiga del componente.

Por lo que se propone que los valores de aceptación de rugosidad pertenezcan a un estándar el cual si es superado por el componente este sea dado fuera de servicio.

De acuerdo a lo observado en la tabla 1 (Grados de Ra); el factor Ra, es uno de los valores más importantes tomados para tener registro de la rugosidad en un componente, por lo que se considerara el valor Ra=0.4um como valor máximo de rugosidad en la evaluación de los componentes.

4.2.1.1.3.2. Dimensiones físicas de los semiconductores de potencia:

Para la validación de las dimensiones físicas de los semiconductores de potencia lo realizaremos de acuerdo a los DATASHEETS del tiristor GTO y de los diodos de polarización y regenerativo.

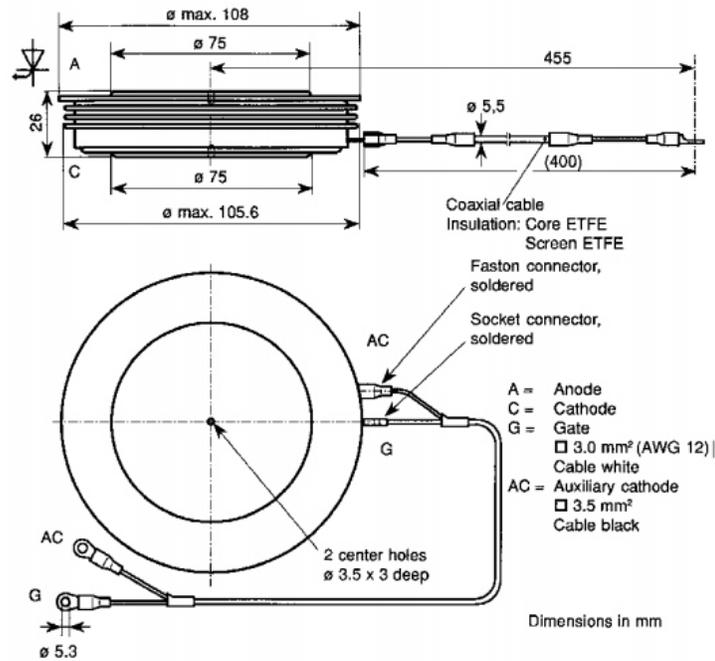
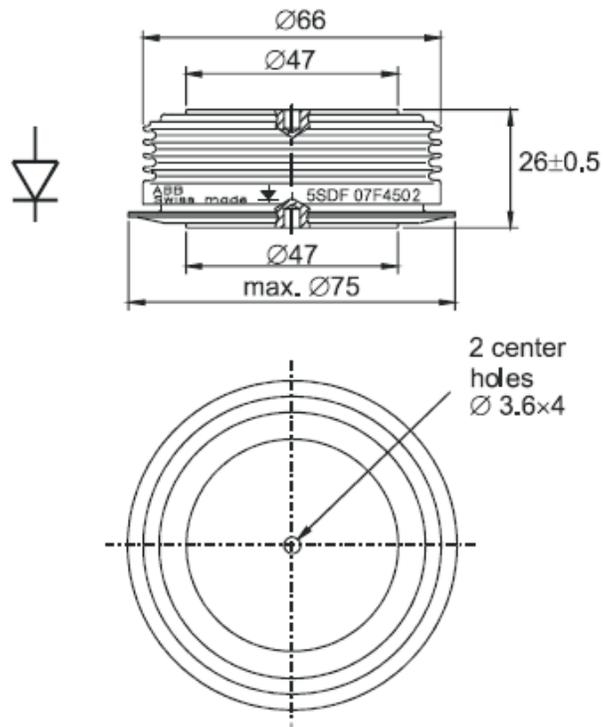


Ilustración 15: Dimensiones físicas de Tiristor GTO.

Fuente: ABB Switzerland Ltd. Doc. No. 5SYA1213-02 Jan. 05.

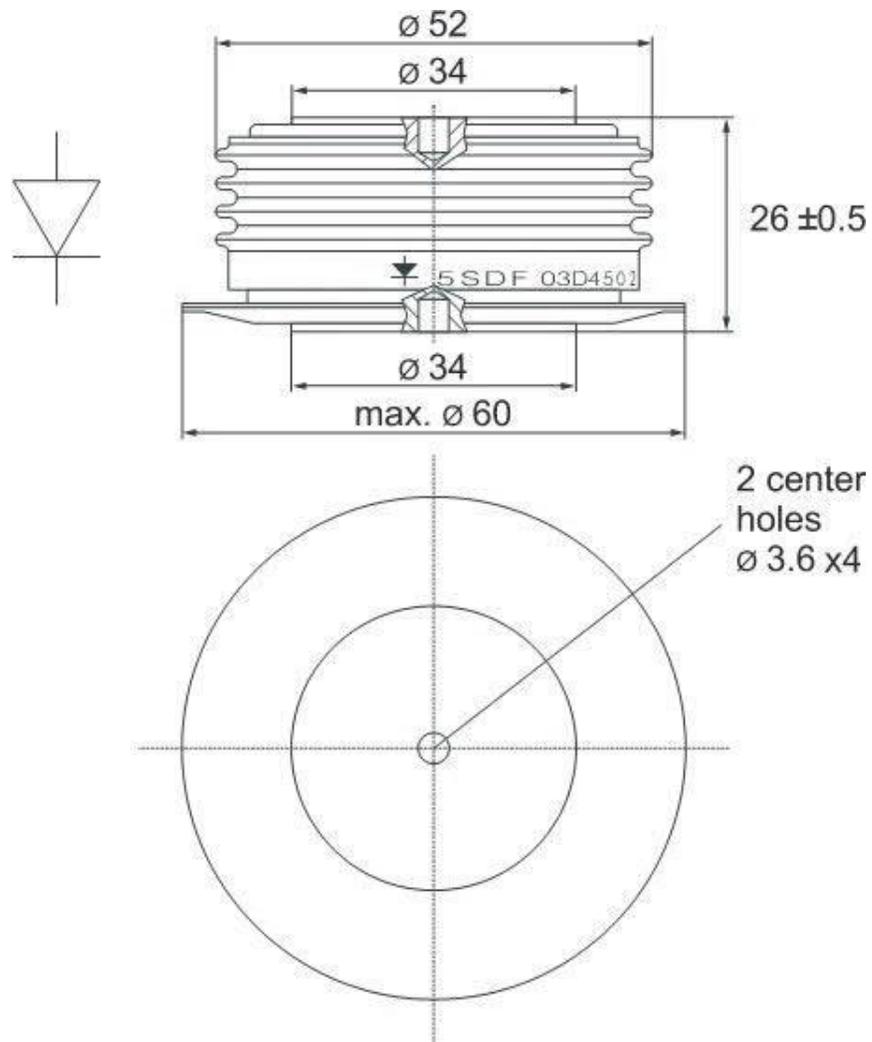
Como se muestra en la ilustración 15, las dimensiones físicas más importantes a considerar del Tiristor GTO en su DATASHEET son los siguientes el diámetro de 108, el diámetro de 105.6 y el espesor de 26. Todas estas medidas están dadas en milímetros.



*Ilustración 16: : Dimensiones físicas de Diodo regenerativo..*

*Fuente: ABB Switzerland Ltd. Doc. No. 5SYA1151-01 Sep. 01*

Como se muestra en la ilustración 16, las dimensiones más importantes a considerar para el diodo regenerativo del DATASHEET son los siguientes el diámetro de 75, el diámetro de 66 y el espesor de  $26 \pm 0.5$ . Todas estas medidas están dadas en milímetros.



*Ilustración 17: : Dimensiones físicas de Diodo de polarización.*

*Fuente: ABB Switzerland Ltd. Doc. No. 5SYA1117-03 Nov. 19*

Como se muestra en la ilustración 17, las dimensiones más importantes a considerar para el diodo de polarización de acuerdo a su DATASHEET son los siguientes el diámetro de 60, el diámetro de 52 y el espesor de  $26 \pm 0.5$ . Todas estas medidas están dadas en milímetros.

#### 4.2.1.1.3.3. Daños visuales o anomalías en superficies de los semiconductores de potencia:

Como se indicó en el punto 4.2.1.3.1., el grado de rugosidad es importante debido a que al tener ausencia de vacío entre dos componentes o superficies mejorara la conducción de energía eléctrica entre dos componentes.

Para esto se plantea realizar una evaluación visual en la cual se deberá observar el estado de las superficies de contacto. Estas no deberían de poseer porosidad, desprendimiento de material, oxidación, corrosión, desgaste adhesivo, desgaste eléctrico y abolladuras.



*Ilustración 18: Tipos de daños en semiconductores de potencia*

*Fuente: Elaboración propia.*

En caso se encuentre daños como las que se muestran en la ilustración #18; se deberá de dar fuera de servicio el componente.

Adicionalmente se recomendará verificar el estado de la cerámica de los semiconductores.

#### ***4.2.1.2. Modulo disipador o Heat Sink's:***

Como se puede visualizar en la imagen 10, el conjunto modulo disipador está conformado por tres Heat Sink's, que se encuentran en contacto directo con los semiconductores de potencia. Para asegurar su fijación estas están aseguradas con dos Clamp's los cuales se encuentran torquados y permiten que se aseguren debidamente.

Para la evaluación de los módulos disipadores de cada módulo de fase se tomará los siguientes criterios o aspectos mecánicos para su evaluación.

##### *4.2.1.2.1. Modulo disipador – análisis mecánico:*

###### *4.2.1.2.1.1. Grado de rugosidad:*

Como se indicó en el punto 4.2.1.1.3.1. el grado de rugosidad cumple muchas propiedades específicas las cuales mejoran la conductividad, evitan el sobrecalentamiento y el desgaste eléctrico.

De acuerdo a lo observado en la tabla 1 (Grados de Ra); el factor Ra, es uno de los valores más importantes tomados para tener registro de la rugosidad en un componente, por lo que se considerara el valor  $Ra=0.4\mu m$  como valor máximo de rugosidad en la evaluación de los módulos disipadores o Heat Sink's.

Debido a que estos módulos disipadores no se encuentran en el mercado comercial, estos en caso de tener una rugosidad mayor de lo establecido líneas arriba, se deberán aplicar trabajos de reconstrucción y luego ser verificado para su posterior visto bueno.

#### *4.2.1.2.1.2. Tipo de recubrimiento superficial:*

Los módulos disipadores no son componentes o elementos simples, sino que llevan una alta tecnología en su recubrimiento superficial, en sus dimensiones y en su forma; ya que estos se encargaran de eliminar o reducir las altas temperatura que puedan generar componentes electrónicos de potencia que estén en contacto con las mismas.

La intención de aplicar un recubrimiento superficial es la de fortalecer las propiedades de conductividad, evitar el desgaste erosivo eléctrico y evitar la corrosión u oxidación.

Como se indicó líneas arriba estos módulos de fase datan desde el año 1990 aprox. y hasta la fecha estos han sufrido desgaste e inclusive hayan perdido propiedades mecánicas u eléctricas que permitían el aumento de confiabilidad del componente por lo que la propuesta de solución es en realizar un trabajo de plateado - pasivado a las superficies que se encuentren en contacto con los semiconductores.

El plateado será usado para mejorar las propiedades eléctricas de los módulos disipadores y el pasivado será usado para que se forme una capa de protección ante la corrosión, oxidación y otros agentes externos.

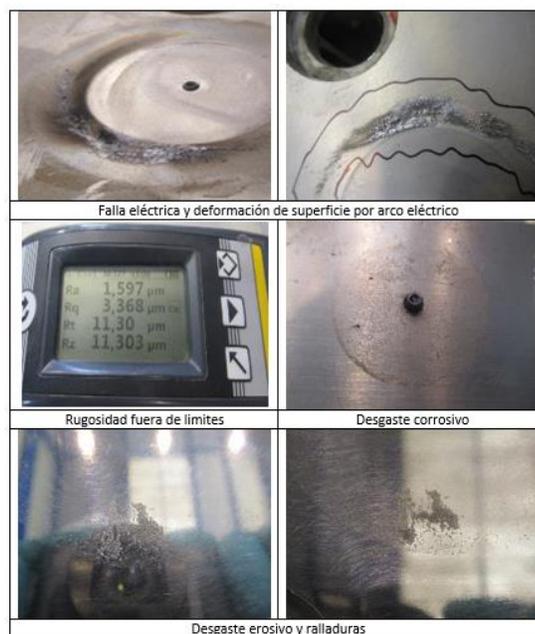
Este trabajo de recubrimiento superficial electroquímico deberá de cumplir con el grado de rugosidad establecido en el punto **4.2.1.2.1.1.**

Así mismo se plantea el trabajo de recubrimiento superficial electroquímico oro – pasivado para el análisis de soluciones.

#### 4.2.1.2.1.3. Daños visuales o anomalías en su superficie:

En la evaluación de las placas disipadoras, se considerará una inspección visual de las placas las cuales permitan ubicar anomalías como posibles ondulamiento, desprendimiento de material, corrosión, oxidación, rayaduras, deformación de superficie por temperatura, decoloración entre otros.

En caso se encuentren estos daños se recomienda realizar el trabajo de reacondicionamiento, el cual deberá de ser la reconstrucción de la zona afectada y luego pasar por un recubrimiento superficial. Una vez culminado el reacondicionamiento se recomienda realizar una verificación de planitud y de rugosidad a la nueva superficie, principalmente en las áreas de contacto con los semiconductores de potencia.



*Ilustración 19: Tipos de daños en Módulos disipadores.*

*Fuente: Elaboración propia*

### 4.2.1.3. Matriz morfológica:

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIONES		
1.- REALIZAR CHECKLIST DE HERRAMIENTAS			
2.- RECEPCION DE MODULO DE FASE			
3.- DESARMADO DE MODULO DE FASE			
4.- REGISTRO FOTOGRAFICO			
5.- LIMPIEZA DE COMPONENTES DE MODULO DE FASE			
6.- EVALUACION Y PRUEBAS DE COMPONENTES DE MODULOS DE FASE			
7.- TOMA DE DECISIONES			
8.- ALMACENAMIENTO Y PRESERVACION			
9.- REDACCION DE INFORME DE EVALUACION Y TRABAJOS DE REACONDICIONAMIENTO			
	CONCEPTO DE SOLUCION 1	CONCEPTO DE SOLUCION 2	CONCEPTO DE SOLUCION 3

Ilustración 20: Matriz morfológica con 3 conceptos de solución.

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración #19, se muestra la matriz morfológica, de donde se deduce 03 conceptos de solución.

El primer concepto de solución radica en realizar el reemplazo de todos los componentes dañados o no dañados.

El segundo concepto de solución implica plantear criterios de evaluación para el reemplazo de los componentes.

El tercer concepto de solución implica plantear criterios de evaluación para el reemplazo de los componentes en caso lo amerite como también indicar los trabajos de reacondicionamiento específico que necesiten estos componentes.

**4.2.2. Viabilidad de la propuesta:**

El desarrollo o la implementación de los tres conceptos de solución es totalmente viable, debido a que se cuenta con los equipos, herramientas o en caso no tenga pueden ser solicitados.

Uno de los objetivos es la de asegurar la confiabilidad de estos componentes reparados cuando sean utilizados en los trabajos que realizan los camiones de acarreo. Así mismo el costo de la reparación no debería de exceder el 40% del valor del componente.

**4.2.3. Análisis técnico y económico:**

Para la determinación de cual concepto de solución se elegirá, se realizará un análisis técnico y un análisis económico que serán evaluados de acuerdo a las necesidades y requerimientos que se hayan establecido en el punto 4.1.

*Tabla 15: Evaluación de valor técnico (Xi)*

<b>Evaluación de valor técnico (Xi)</b>
<b>Proyecto: IMPLEMENTACION DE ESTANDARES DE EVALUACION DE MODULOS DE FASE DE LOS GABINETES DE CONTROL DEL CAMION ELECTRICO</b>
<p><b>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI2225)</b>  <b>0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 =Muy bien (ideal)</b>  <b>g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación</b></p>
<b>Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos</b>

Variantes de concepto - proyectos			Solucion 1 S1		Solucion 2 S2		Solucion 3 S3	
Nro	Criterios de Evaluacion	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Seguridad	4	2	8	3	12	4	16
2	Rapidez	4	2	8	3	12	4	16
3	Manipulacion	4	1	4	3	12	4	16
4	Confiabilidad	4	1	4	3	12	4	16
5	Automatizacion	4	1	4	3	12	3	12
6	Fabricacion	4	1	4	2	8	3	12
7	Ergonomia	4	3	12	3	12	4	16
8	Influencia del medio ambiente	4	4	16	4	16	4	16
9	Uso	4	2	8	3	12	4	16
10	Funcionabilidad	4	2	8	2	8	4	16
11	Estandarizacion	4	2	8	3	12	4	16
<b>Puntaje maximo</b>		44	21	84	32	128	42	168
<b>Valor tecnico</b>			0,48	0,48	0,73	0,73	0,95	0,95

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla superior se puede observar que el concepto de solución #3 posee un valor de 0.95.

*Tabla 16: Evaluación de valor económico (Yi)*

Evaluación de valor económico (Yi)								
Proyecto: IMPLEMENTACION DE ESTANDARES DE EVALUACION DE MODULOS DE FASE DE LOS GABINETES DE CONTROL DEL CAMION ELECTRICO								
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 =Muy bien (ideal) g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de concepto - proyectos			Solucion 1 S1		Solucion 2 S2		Solucion 3 S3	
Nro	Criterios de Evaluacion	g	p	gp	p	gp	p	gp

1	Numero de piezas	4	1	4	2	8	3	12
2	Facil de adquisicion de los materiales de fabricacion	4	2	8	2	8	4	16
3	Productividad	4	1	4	2	8	4	16
4	Costos diversos	4	1	4	1	4	3	12
5	Costo de tecnologia	4	2	8	2	8	4	16
6	Costos de operaci3n	4	1	4	1	4	3	12
7	Transporte	4	1	4	2	8	4	16
8	Tiempo	4	1	4	2	8	4	16
9	Tasa de fallas	4	1	4	2	8	4	16
<b>Puntaje maximo</b>		36	11	44	16	64	33	132
<b>Valor economico</b>			0,31	0,31	0,44	0,44	0,92	0,92

*Fuente: Elaboraci3n propia*

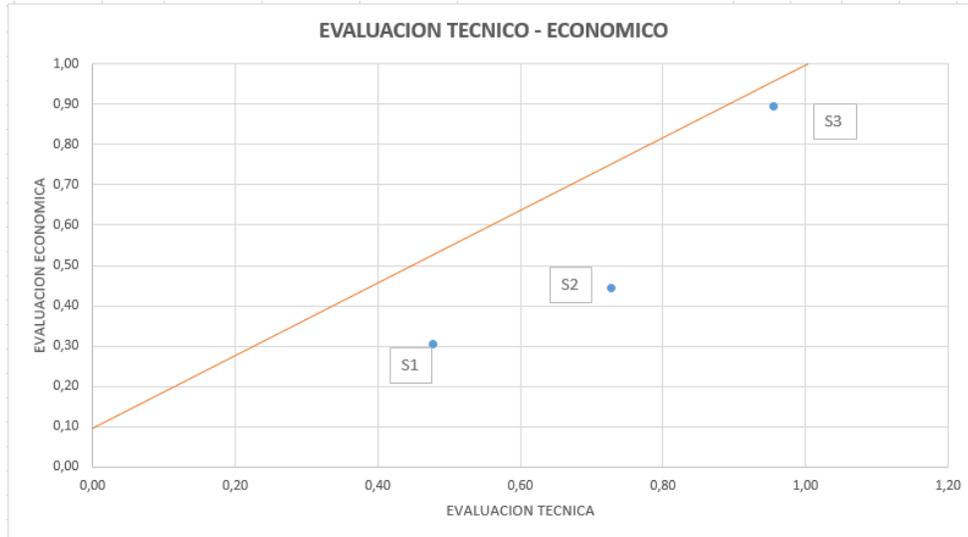
En la tabla superior se puede observar que el concepto de soluci3n #3 posee un valor de 0.92.

*Tabla 17: Valores Xi, Yi*

	Valores Xi	Valores Yi
S1	0,48	0,31
S2	0,73	0,44
S3	0,95	0,92

*Fuente: Elaboraci3n propia*

En la tabla #17 se puede observar los resultados de los tres conceptos de soluci3n planteados en este trabajo de investigaci3n. Seguidamente ser3 graficados para su an3lisis.



*Ilustración 21: Evaluación técnico – económico.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la ilustración #16, las soluciones más cercanas a línea naranja serán los conceptos de solución que se elegirá. En este caso el concepto de solución #3 será nuestra solución elegida.

### **4.3. Diseño:**

De acuerdo a lo analizado y obtenido en el punto 4.2. se realizará el diseño de estándares de evaluación de módulos de fase. Esto será plasmado en un documento checklist de evaluación que permita la estandarización de este proceso en la etapa de evaluación.

#### **4.3.1. Diseño documentario:**

El presente documento permitirá realizar las tareas de evaluación de los módulos de fase de una forma rápida y dinámica; y a la vez permitirán reducir los costos de reparación.

#### ***4.3.1.1. Recepción y registro de módulo de fase:***

El módulo de fase será entregado asignado a un técnico o personal operativo el cual en una primera instancia deberá de realizar:

- Registro fotográfico: Deberá de tomarse 09 fotografías como mínimo (04 fotos correspondiente a las 4 caras de los módulos de fase, 01 foto correspondiente a una vista isométrica del módulo de fase, 01 foto correspondiente al modelo y número de serie del módulo inversor, 01 foto correspondiente al modelo y número de serie del gate driver, 01 foto correspondiente a la deflexión que posee el tiristor GTO y 01 foto correspondiente a la deflexión del diodo regenerativo). Adicionalmente en caso de que el módulo de fase posea alguna observación deberá de ser registrada de forma fotográfica.
- Registro documentario: Deberá de anotarse el modelo y número de serie del módulo inversor, el modelo y número de serie del gate driver; las deflexiones del tiristor GTO como del diodo regenerativo. Adicionalmente deberá de indicar si posee componentes faltantes u alguna observación que se pueda ver a simple vista.

#### ***4.3.1.2. Desarmado de módulo de fase:***

Realizar el desarmado del módulo de fase con las herramientas adecuadas, EPP's adecuados y alcances proporcionados por el personal calificado.

Una vez que se tenga los semiconductores de potencia y los módulos disipadores o Heat Sink's. libres de otros componentes se recomienda realizar un registro fotográfico debido a que en la etapa de la limpieza se podría borrar mucha evidencia.

#### ***4.3.1.3. Limpieza de componentes:***

Una vez terminado el desarmado se deberá de realizar el lavado de las componentes para su posterior evaluación.

Para la limpieza se recomienda el uso de limpia contactos eléctrico como de alcohol isopropílico.



*Ilustración 22: Limpador de contactos de uso profesional 3 en 1*

*Fuente: <https://www.bricolemar.com/lubricantes/82-limpiador-de-contactos-3-en-1-aceite-250ml.html>*



*Ilustración 23: Alcohol isopropilico*

*Fuente: <https://www.pichincha.com.ar/productos/alcohol-isopropilico-eltronica-delta-500cc-botella/>*

#### **4.3.1.4. Evaluación de componentes:**

##### **4.3.1.4.1. Semiconductores de potencia:**

Una vez terminado la etapa de lavado se deberá de tomar el registro de la marca y número de serie; adicionalmente se deberá de verificar las medidas físicas de acuerdo a las ilustraciones #13 y 14; en caso no cumplan con estas mediciones deberán de ser dadas fuera de servicio. Así mismo se deberá de verificar el estado de las caras de contacto, como el estado de la cerámica. En caso de tener alguna fractura la cerámica, desprendimiento de material, alto grado de desgaste erosivo, ralladuras de gran profundidad y porosidad; deberá de ser dado fuera de servicio y se deberá de tomar registro fotográfico y luego registro documentario.

Seguidamente se procederá a realizar la medición de rugosidad en las caras de contacto ANODO y KATODO; con un rugosímetro el cual deberá de estar calibrado.

El rango de medición (Ra) será de 0 hasta 0.4um como máximo, en caso se encuentre fuera de estos rangos deberá de ser dado fuera de servicio. Así mismo se deberá de tomar registro fotográfico.

Por último, se deberá de verificar la tensión de conducción a 25°C. Para el caso de la tensión de conducción de los tiristores GTO será de 0.5300 VDC como mínimo y en caso de los diodos de polarización y regenerativo la tensión de conducción deberá de ser 0.2700 VDC como mínimo. En caso los semiconductores de potencia no se encuentren bajo estos rangos deberán de ser dados fuera de servicio. Todas estas medidas eléctricas deberán de tener registro documentario como registro fotográfico.

#### *4.3.1.4.2. Módulos disipadores o Heat Sink's:*

En caso de los módulos disipadores se realizará una inspección visual de cómo se encuentra físicamente. Seguidamente se procederá a realizar la evaluación de rugosidad de las superficies que se encuentran en contacto con los semiconductores de potencia. El valor de rugosidad (Ra) a ser considerado deberá de estar entre 0 y 0.4 um. En caso que los módulos disipadores no cuenten con la rugosidad requerida y presenten desgaste erosivo, abrasivo, ralladuras de gran profundidad o decoloración; se debe de solicitar trabajo de reacondicionamiento.

El trabajo de reacondicionamiento será un tratamiento superficial el cual será llamado plateado pasivado y posteriormente verificación de planitud en zonas de contacto con los semiconductores de potencia.

En caso de que los módulos disipadores presenten desprendimiento de material en sus superficies, se deberá de solicitar su reconstrucción y seguidamente el tratamiento superficial

mencionado líneas arriba. Todas estas medidas eléctricas deberán de tener registro documental como registro fotográfico.

#### **4.3.2. Requerimiento de materiales:**

Para la elaboración del diseño de estándares de evaluación de módulos de fase se necesitará lo siguiente:

- 01 laptop o equipo de cómputo.
- KnowHow de personal especializado.

Para la puesta en marcha del diseño de estándares de evaluación de módulos de fase por parte del personal operativo se necesitará lo siguiente:

- 01 multímetro que posea opción de medición de diodos.
- 01 rugosímetro.
- Herramientas manuales.
- Insumos de limpieza (pañó de limpieza, limpia contactos y alcohol isopropílico).

## CAPÍTULO V: ELABORACION

### 5.1. Elaboración de formato:

De acuerdo a lo expuesto en el capítulo IV, se realiza el diseño de estándares de evaluación de módulos de fase de acuerdo a las necesidades propuestas.

**FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE**

**1. DATOS GENERALES**

Cliente: \_\_\_\_\_ Orden de trabajo: \_\_\_\_\_  
 Equipo: \_\_\_\_\_ Técnico Responsable: \_\_\_\_\_  
 Horómetro: \_\_\_\_\_ Fecha de inicio: \_\_\_\_\_

**2. DATOS DEL COMPONENTE**

GATE DRIVER Modelo: \_\_\_\_\_ N. Serie: \_\_\_\_\_  
 MÓDULO INVERSOR Modelo: \_\_\_\_\_ N. Serie: \_\_\_\_\_

Recuerde realizar el registro fotográfico correspondiente.  
 Recuerde realizar todo el registro solicitado en este formato.

**3. INSTRUMENTOS**

	Código de instrumento	Fecha de calibración
Distanciómetro		
Regulómetro		

**4. RECEPCION DE COMPONENTE**

Flexión GTO: \_\_\_\_\_ Flexión Diodo Regenerativo: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

**5. EVALUACION DE COMPONENTE**

**5.1. Estructor GTO**

Estructor GTO	Marca	Número de serie

**Evaluación recurrente**

El Estructor GTO presenta los siguientes daños de forma severa:

Regulatura en cara de contacto	SI/NO
Fractura en cerámica	SI/NO
Daño en rodillo	SI/NO
Daño en aislador	SI/NO
Dimensiones físicas fuera de rango	SI/NO
Depositos de material	SI/NO
Valor de rugosidad Ra mayor a 0.4um	SI/NO

*Ilustración 24: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE

Observaciones:		
En caso que se ponga Si o alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sólo continuar al siguiente punto de evaluación.		
Evaluación eléctrica		
Tensión de conducción VDC entre A y K (Mayor a 0,530V)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)
Observaciones:		
En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) dar Fuera de Servicio al componente.		

5.2 Díodo regenerativo (D.R.)

D. Regenerativo		Marca	Número de serie
Evaluación mecánica			
El D.R. presenta los siguientes daños de forma severa:			SI O NO
Rayaduras en caras de contacto			
Fractura en cerámica			
Daños en ánodos			
Daños en cátodos			
Dimensiones físicas fuera de rango			
Desprendimiento de material			
Valor de rugosidad Ra mayor a 0,4um			
Observaciones:			
En caso que se ponga Si o alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sólo continuar al siguiente punto de evaluación.			

2

Ilustración 25: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 2.

Fuente: Elaboración propia.

FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE			
Evaluación eléctrica			
Tensión de conducción VDC entre A y K (Mayor a 0,530V)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)	
Observaciones:			
En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) dar Fuera de Servicio al componente.			
5.3 Díodo de polarización (D.P.)			
D. de Polarización		Marca	Número de serie
Evaluación mecánica			
El D.P. presenta los siguientes daños de forma severa:			SI O NO
Rayaduras en caras de contacto			
Fractura en cerámica			
Daños en ánodos			
Daños en cátodos			
Dimensiones físicas fuera de rango			
Desprendimiento de material			
Valor de rugosidad Ra mayor a 0,4um			
Observaciones:			
En caso que se ponga Si o alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sólo continuar al siguiente punto de evaluación.			
Evaluación eléctrica			
Tensión de conducción VDC entre A y K (Mayor a 0,530V)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)	

3

Ilustración 26: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 3.

Fuente: Elaboración propia.

**FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE**

Observaciones:

*En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) del Punto de Servicio al componente.*

**5.4 Módulo dissipador o Heat Sink's:**

Módulo dissipador	Marca	Número de serie

El módulo dissipador presenta los siguientes daños de forma severa en zonas de contacto (A, B, C, D y E) con los semiconductores:

	SI O NO
Rayaduras	
Daños en soldas	
Daños adhesivos	
Decoloración de superficies	
Chubascamiento	
Desprendimiento de material	

Observaciones:

*En caso que se ponga SI o alguno de estos daños generar un trabajo de acondicionamiento del componente, sino continuar al siguiente punto de*

*Ilustración 27: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 4.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE**

Medición de rugosidad:

	Medida 1	Medida 2	Medida 3
Zona A			
Zona B			
Zona C			
Zona D			
Zona E			

Observaciones:

*En caso que se ponga se tenga valores de rugosidad (Ra) mayor a 0.4 um; generar un trabajo de acondicionamiento al componente.*

**6. RESUMEN:**

	RESULTADOS	RECONDICIONAR	FUERA DE SERVICIO
Tristor GTO			
Diodo Regenerativo			
Diodo Potenciales			
Placas Dissipadoras			

Conclusiones finales:

\_\_\_\_\_ Firma Supervisor      \_\_\_\_\_ Firma Especialista      \_\_\_\_\_ Firma Técnico

*Ilustración 28: Formato de evaluación de módulos de fase. Página 5.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.2. Pruebas y resultados:

La implementación del diseño de estándares de evaluación de módulos de fase; se da para la reparación de los módulos de fase de los camiones 121 hasta el camión 125.

Para las pruebas de este formato estándar de evaluación se instruye al personal técnico para que puedan cumplir con lo indicado en este formato.

### 5.2.1. Estandarización:

Con la creación de este nuevo formato de estándar de evaluación de módulos de fase, se permite que este proceso se rija a toda una línea de producción, permitiendo que el proceso de evaluación parta desde un punto establecido y no de la nada como antes.

Los procesos estandarizados en un fabrica, organización, industria o proceso; permiten que algo que ya está registrado o tomado en cuenta, después pueda ser mejorado.

### 5.2.2. Confiabilidad y tasa de fallas:

A continuación, se realiza el análisis de acuerdo a los resultados obtenidos en los camiones 121 hasta 125.

*Tabla 18: Registro de fallas de camiones 121 – 125.*

CAMION	FALLA	CORRECTIVO	SISTEMAS	COMPONENTES
121	En el contactor GF no pegan los contactos. Evento 30.1	Calibración de contactor GF	Propulsión y retardo	Contactor GF
	Desconfiguración de hora.	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
	Sensores de corriente con desviación.	Reemplazo de sensores de corriente LEM	Propulsión y retardo	LEM

	No propulsión. Evento 235.6 Inv2 fase C+	Se reemplazó Gate driver Inv2 fase C+	Propulsión y retardo	Modulo de fase (1)
122	Tironeo de MT RH. Sensores invertidos.	Reemplazo de tarjeta inversora 172	Propulsión y retardo	Tarjeta inversora
	Evento 48.1 Barra link sin energía o battery boost	Se reemplazó el battery boost del AFSE	Propulsión y retardo	Tarjeta Battery Boost
123	Problemas de funcionamiento de GDPC	Se reemplazó el GDPC	Propulsión y retardo	Fuente GDPC
	RSC de consola central no funciona adecuadamente	Reemplazo de dial RSC	Cabina	Dial RSC
	Pérdida de comunicación tarjetas CPU	KRCP reemplazó la tarjeta TCI	Propulsión y retardo	tarjeta 144
	Blower 1 abierto. Evento 36.3	Reemplazo de cableado del conector CNA al LEM1	Propulsión y retardo	LEM
	Desconfiguración de hora.	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
124	Equipo registraba falsa señal de corriente.	Reemplazo de tarjeta 160	Propulsión y retardo	Tarjeta 160
125	Evento 48.1 Barra link sin energía por corto circuito	Se reemplazaron los módulos de fase 1A+ y 1A- del inv1	Propulsión y retardo	Modulo de fase (2)
	No comunicación con TCI	Reemplazo de tarjeta 144	Propulsión y retardo	Tarjeta 144
	El nose cone no engrasaba adecuadamente	Se reemplazó el nose cone	Chasis	Nose cone

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la tabla #18 se puede observar que los camiones 121 y 125, presentan fallas relacionadas a los módulos de fase. Por lo que se revisa porque puede estar involucrado una falla mecánica como falla eléctrica.

*Tabla 19: Tipos de falla de módulos de fase camiones 121 hasta 125.*

<b>Camión</b>	<b>Tipo de falla de módulo de fase</b>	<b>Tipo de falla de módulo de fase</b>
121	2C+	Falla eléctrico mecánica
125	1A+, 1A-	Falla eléctrica

*Fuente: Elaboración propio.*

Como se puede apreciar de un total de 70 módulos de fase correspondiente a 5 camiones (121 hasta 125), se tiene tres fallas de módulos de fase, como se puede apreciar en la tabla #19, 01 módulo de fase presenta falla eléctrica y mecánica. Fue catalogado así debido a que durante el proceso de montaje de los módulos de fase en el gabinete de control se encontró un ducto de aire obstruido lo cual generó una falta de refrigeración y seguidamente la falla del tiristor GTO y el gate driver.

### **5.2.3. Relación Tiempo/Costo de Evaluación:**

Muchos talleres dependen del tiempo que utilizan en sus reparaciones, debido a que esto involucra costo H-H. Si se da una reducción de tiempo en la reparación de un componente, permite mayor ingreso de componentes para ser reparado como aumentar el margen de utilidad neta por cada reparación.

*Tabla 20: Costo H-H de personal operativo*

<b>NIVELES</b>	<b>COSTO H-H</b>
TECNICO SENIOR	\$ 40,00
ELECTROMECHANICO 1	\$ 25,00
ELECTROMECHANICO 2	\$ 18,00
ELECTROMECHANICO 3	\$ 10,00

*Fuente: Elaboración propia*

Como se aprecia en la tabla #20 se refleja el valor de la HH del personal operativo. De color amarillo esta resaltado el costo HH cuando el trabajo era realizado sin un formato de evaluación de los módulos de fase. De color verde esta resaltado el costo HH cuando el trabajo es realizado ahora con un formato que ya se encuentra implementado.

*Tabla 21: Tiempo de evaluación de módulos de fase.*

<b>TIEMPO DE EVALUACION</b>	
ANTES	8 HRS
AHORA	5HRS

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 22: Beneficio Tiempo/Costo*

<b>BENEFICIO TIEMPO/COSTO</b>	
ANTES	\$ 320,00
AHORA	\$ 90,00

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla #21 se puede observar la diferencia de tiempos antes y después de aplicar este nuevo formato de evaluación de módulos de fase. Así mismo en la tabla #22 se observa la diferencia del costo HH empleada para la evaluación de los módulos de fase.

#### **5.2.4. Costo de reparación:**

Con la implementación del formato de evaluación de módulos de fase, se pueden reutilizar varios componentes y no cambiarlos por default; lo que reduce el costo de la reparación significativamente.

Tabla 23: Tabla de costos de reparación de módulo de fase 1.

<b>TRABAJOS Y REPUESTOS</b>	<b>COSTO</b>
RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL	\$ 600,00
TIRISTOR NUEVO	\$ 2.500,00
DIODO REGENERATIVO	\$ 1.500,00
DIODO POLARIZACION	\$ 700,00
INSUMOS	\$ 400,00
MANO DE OBRA	\$ 320,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6.020,00</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 24: Tabla de costos de reparación de módulo de fase 2.

<b>TRABAJOS Y REPUESTOS</b>	<b>COSTO</b>
RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL	\$ 600,00
INSUMOS	\$ 400,00
MANO DE OBRA	\$ 320,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.320,00</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla #23 se muestra costo de los trabajos y repuestos en una reparación en la que se solicite reemplazar varios componentes.

En la tabla #24 se puede observar el costo de los trabajos y repuestos en una reparación en la que ya sea haya aplicado los nuevos estándares de evaluación. Esto puede ser variante debido a que podrían incluir 1,2 o 3 semiconductores de potencia.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un formato con estándares de evaluación con criterios mecánico de módulos de fase de camiones eléctricos, que permite la evaluación de los componentes más críticos como los semiconductores de potencia y los módulos disipadores para así determinar su reemplazo, reutilización o su reacondicionamiento.
- Se realizó la evaluación mecánica de los módulos disipadores de los módulos de fase teniendo en cuenta sus propiedades físicas como la rugosidad y el de recubrimiento superficial; que son claves para una óptima reparación.
- Se realizó la evaluación eléctrica y mecánica de los semiconductores de potencia gracias a las medidas registradas de componentes nuevos (tensión de conducción), dimensiones físicas gracias a los DATASHEETS, valores de rugosidad de acuerdo a la ASM Metals Handbook y tipos de desgaste que se encuentran en diversos componentes (KNOW - HOW).
- Se logró reducir los altos costos que se invertían en el reemplazo de subcomponentes por default durante su reparación. Con el diseño de este nuevo formato permite que se

reduzca considerablemente el costo de la reparación debido a los nuevos estándares de evaluación adoptados.

- Se logra dar seguimiento a la reparación de los módulos de fase gracias a la implementación de este nuevo registro documentario.

## **TRABAJOS FUTUROS**

En base a los subcomponentes que conforma el módulo de fase, se debe de considerar en diseñar un formato estándar de evaluación eléctrica y pruebas del módulo de fase, que comprometen al estudio y experimentación del funcionamiento del GATE DRIVER.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVARADO IGLESIAS, Pablo. 2016.** <https://slideplayer.es/slide/8941087/>.  
<https://slideplayer.es/slide/8941087/>. [En línea] 2016.
- CALVO, José. 2004.** <http://www.tecnicaindustrial.es/>. [En línea] Agosto de 2004. [Citado el: 16 de 11 de 2019.] <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1609-importancia-mantenimiento-productivo-total-automatizacion-procesos.aspx>.
- CENGEL, Yunus A. 2007.** *Transferencia De Calor Y Masa*. México : mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. De C.V, 2007. 978-970-10-6173-2.
- COLLAO, Leonardo. 2018.** *Simulación De Sistema De Control Y Propulsion Electrica Del Camion Ac*. Viña Del Mar : S.N., 2018.
- DOMÍNGUEZ , Esteban y FERRER, Julián . 2011.** *Mecanizado básico* . Madrid : Edites S.A., 2011. 28224.
- GAMBOA VILLAFRANCA, Xavier. 1986.** *Fortalecimiento Tecnológico Del Sector Social Mexicano: Hacia Una Nueva Metodología*. Mexico, Df : Esime-Upc, I.P.N., 1986.

- HINOJOSA RIVERA, Moises y REYES MELO, Martín** .*La rugosidad de las superficies: Topometría*. **2001**. 11, México : s.n., 2001, Vol. 4, págs. 27 - 33.
- LONDOÑO NOREÑA, Carlos Andrés**. **2008**. Análisis Y Simulacion De Algunas Estrategias De Control Spwm Y. *Análisis Y Simulacion De Algunas Estrategias De Control Spwm Y*. Risaralda, Colombia : S.N., 2008.
- MAÑANA CANTELI, Mario**. Regulación, Control Y Protección De. *Convertidores Electronicos De Potencia*. Santander : S.N.
- MENDEZ, Alfonso**. **2016**. Disipadores Térmicos Para Dispositivos Electrónicos. *Pequeña Guía Para El Cálculo Y Montaje De Disipadores En Dispositivos Electrónicos*. Barcelona : S.N., 2016.
- MUHAMMAD H., Rashid**. **2004**. *Electronica De Potencia: Circuitos, Dispositivos Y Aplicaciones*. México : Pearson Educacion De Mexico, S.A. De C.V., 2004. 970-26-0532-6.
- OLIVARES, Jaime**. **2017**. *Propuesta de mejora del proceso de reparación de componentes electromecánicos de camiones eléctricos en el Perú*. Lima : s.n., 2017.
- ORG, Maquinaria Pesadas**. **2016**. <https://vdocuments.mx/curso-familiarizacion-camion-minero-930e3-komatsu.html>. <https://vdocuments.mx/curso-familiarizacion-camion-minero-930e3-komatsu.html>. [En línea] 13 de Enero de 2016.
- PESADAS, Maquinarias**. **2016**. <https://vdocuments.mx/curso-familiarizacion-camion-minero-930e3-komatsu.html>. <https://vdocuments.mx/curso-familiarizacion-camion-minero-930e3-komatsu.html>. [En línea] 13 de Enero de 2016.
- LINDER, Stefan**. *Semiconductores De Potencia*. **2006**. Lenzburg, Suiza : S.N., 2006.

## **ANEXOS**



## FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE

<i>Observaciones:</i>
-----------------------

*En caso que se ponga Si a alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sino continuar al siguiente punto de evaluación.*

### Evaluación eléctrica

Tension de conduccion VDC entre A y K (Mayor a 0,5300)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)

<i>Observaciones:</i>
-----------------------

*En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) dar Fuera de Servicio al componente.*

### 5.2 Diodo regenerativo (D.R.)

	Marca	Numero de serie
D. Regenerativo		

### Evaluación mecánica

El D.R. presenta los siguientes daños de forma severa:

- Rayaduras en caras de contacto
- Fractura en ceramica
- Desgaste erosivo
- Desgaste adhesivo
- Dimensiones fisicas fuera de rango
- Desprendimiento de material
- Valor de rugosidad Ra mayor a 0,4um

SI O NO

<i>Observaciones:</i>
-----------------------

*En caso que se ponga Si a alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sino continuar al siguiente punto de evaluación.*

## FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE

### Evaluación eléctrica

Tensión de conducción VDC entre A y K (Mayor a 0,2700)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)

Observaciones:

*En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) dar Fuera de Servicio al componente.*

### 5.3 Diodo de polarización (D.P.)

	Marca	Numero de serie
D. de Polarizacion		

### Evaluación mecánica

El D.P. presenta los siguientes daños de forma severa:

Rayaduras en caras de contacto

Fractura en cerámica

Desgaste erosivo

Desgaste adhesivo

Dimensiones físicas fuera de rango

Desprendimiento de material

Valor de rugosidad Ra mayor a 0,4um

SI O NO

Observaciones:

*En caso que se ponga Si a alguno de estos daños dar Fuera de Servicio al componente, sino continuar al siguiente punto de evaluación.*

### Evaluación eléctrica

Tensión de conducción VDC entre A y K (Mayor a 0,2700)	Temp (°C)	Ok o Fuera de Rango (FR)

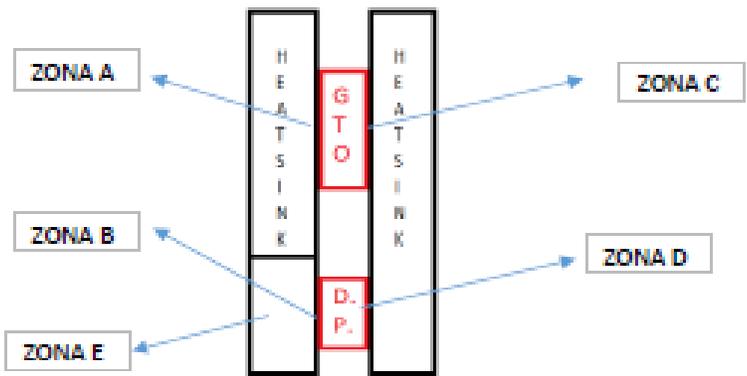
## FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE

Observaciones:
----------------

*En caso que se ponga Fuera de Rango (FR) dar Fuera de Servicio al componente.*

### 5.4 Modulo disipador o Heat Sink's:

	Marca	Numero de serie
Modulo disipador		



El modulo disipador presenta los siguientes daños de forma severa en zonas de contacto (A, B, C, D y E) con los semiconductores:

- Rayaduras
- Desgaste erosivo
- Desgaste adhesivo
- Decoloracion de superficies
- Ondulamiento
- Desprendimiento de material

SI O NO

Observaciones:
----------------

*En caso que se ponga Si a alguna de estos daños generar un trabajo de acondicionamiento al componente, sino continuar al siguiente punto de*

## FORMATO DE EVALUACIÓN DE MÓDULOS DE FASE

*Medición de rugosidad:*

	Medida 1	Medida 2	Medida 3
Zona A			
Zona B			
Zona C			
Zona D			
Zona E			

Observaciones:

*En caso que se ponga se tenga valores de rugosidad (Ra) mayor a 0,4 um; generar un trabajo de racondionamiento al componente.*

### 6. RESUMEN:

	REUTILIZAR	REACONDICIONAR	FUERA DE SERVICIO
Tiristor GTO			
Diodo Regenerativo			
Diodo Polarizacion			
Placas Disipadoras			

Conclusiones finales:

\_\_\_\_\_  
Firma Supervisor

\_\_\_\_\_  
Firma Especialista

\_\_\_\_\_  
Firma Tecnico