



*UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO*



INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ING. EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

*ANÁLISIS SISTEMÁTICO Y DE CONTROL DEL INVERSOR D-4A PARA
MOTOCOMPRESOR DE AIRE EN EL SISTEMA NEUMÁTICO DE
FRENADO PARA TRENES MP68 DEL SISTEMA COLECTIVO METRO*

TESIS

*QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES*

PRESENTAN:

*OLGUIN ANGELES PRISCILIANO ESTEBAN
ROBLES ALAMILLA JORGE ALBERTO*

ASESOR: M. en C. EVA JEANINE LEZAMA ESTRADA.

PACHUCA HGO. 2006



AGRADECIMIENTOS:

A diós que nos dio la vida para poder cumplir con una de nuestras metas fijadas hasta este momento y darnos la oportunidad de seguir luchando en la búsqueda de las mismas.

A NUESTRA FAMILIA

A nuestros padres y hermanos por todo el apoyo brindado para el cumplimiento de nuestras metas y sobre todo que nunca nos dejaron desfallecer en nuestro propósito de lograrlo.

A NUESTROS MAESTROS

Agradecemos infinitamente a nuestros maestros que nos compartieron sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera, y sobre todo a la M. en C. Eva Jeanine Lezama Estrada que nos asesoró en la realización de nuestro proyecto de tesis, y nos impulsó a salir adelante con el mismo.

Queremos también agradecer muy en especial a nuestro coordinador de nuestra carrera el Ing. Aristeo Miguel Rosas Yacotú, por habernos apoyado en todo el transcurso de nuestra carrera y estar al pendiente de nuestros proyectos e impartición de conocimientos en nuestra instancia en esta institución.

Un reconocimiento también para:

M en C. Elías Varela Paz
Ing. Jaime Barrera
Ing. Eleazar Domínguez Cortes.



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO 1	8
ANTECEDENTES BÁSICOS DE TRENES PARA PASAJEROS Y SISTEMAS DE FRENADO CON MOTOCOMPRESOR	
1.1. Origen de los trenes.	8
1.1.1. El tren en México.	9
1.2. Trenes eléctricos para el Distrito Federal.	10
1.2.1 El metro.	10
1.2.1.1. Sus características.	10
1.2.2. Tren ligero.	12
1.2.2.1. Capacidades	14
1.2.3. Trolebús	14
1.2.4. Trenes de gran velocidad.	15
1.3. Sistemas de frenado.	17
1.3.1. Frenado dinámico.	17
1.3.2. Frenado regenerativo.	19
1.3.3. Freno neumático.	19
1.3.4. Freno de servicio.	20
1.3.5. Freno de emergencia.	20
1.3.6. Freno de inmovilización.	21
1.4. Antideslizamiento.	21
1.5. Motocompresor de aire “WRS-42AC”.	23
1.5.1. Descripción general.	23
1.5.2. Descripción de operación.	25
1.5.3. Elementos de la unidad motocompresora.	28
1.5.3.1. Porción de aire de tornillo rotatorio.	28
1.5.3.2. Unidad de control del motocompresor de aire.	30
1.5.3.3. Unidad inversora.	31
1.5.3.4. Secador de aire “E-1”.	33
1.5.3.4.1. Operación.	35
1.5.3.5. Válvula de drenado “R-1” con silenciador.	38



1.5.3.6. Válvula de seguridad “F-2”.	39
1.5.3.7. Motor.	41
1.5.3.8. Enfriador de aceite.	42
1.5.3.9. Radiador.	43

CAPITULO 2

ANTECEDENTES DEL INVERSOR	44
2.1. Sistemas no conectados a la red.	44
2.2. Sistemas conectados a la red de distribución eléctrica.	44
2.3. Inversores o convertidores.	45
2.4. Circuito inversor.	46
2.4.1. Inversores de onda cuadrada.	47
2.4.2. Inversores de onda senoidal modificada.	48
2.4.3. Inversores de onda senoidal modificada sm.	49
2.4.3.1. Funcionamiento.	50
2.4.3.2. Especificaciones técnicas de la serie sm.	51
2.4.4. Inversores de onda senoidal pura.	52
2.4.4.1. Aplicaciones.	55
2. 5. Frecuencia de la corriente de un inversor.	55
2.6. Diferentes formas de onda en corriente alterna (60Hz).	55
2.7. ¿Cómo se dimensiona un inversor?	56

CAPITULO 3

AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO.	58
3.1. Definición.	58
3.2. Plan EMC.	60
3.2.1. EMI conducido.	60
3.2.2. EMI radiado.	60
3.3. Lista de revisión.	61
3.4. Programa de pruebas.	61



CAPITULO 4	63
DESCRIPCIÓN, FALLAS Y OPERACIÓN DEL INVERSOR	
4.1. Problemática.	63
4.2. Especificación.	64
4.3. Rango de voltaje de alimentación.	64
4.4. Fluctuaciones en el voltaje de alimentación al tercer riel.	65
4.5. Separación entre rieles.	65
4.6. Voltaje de salida.	66
4.7. Voltaje de alimentación de batería.	67
4.8. Operación del inversor.	67
4.8.1. Continuación de operación.	70
4.8.2. Operación normal.	71
4.8.3. Operación a través de las separaciones de riel	71
4.9. Características físicas del inversor.	72
4.9.1. Protección ambiental.	72
4.9.2. Envoltura.	72
4.9.3. Peso.	73
4.9.4. Fiabilidad.	73
4.9.5. Mejorar los componentes individuales.	73
4.10. Partes de la unidad inversora.	76
CAPITULO 5	78
TARJETA SUPRESORA DE TRANSITORIOS CON SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.	
5.1. Transitorios Externos.	78
5.2. Transitorios internos.	78
5.3. Análisis de falla del inversor.	79
5.3.1. Sobre temperatura.	79
5.3.2. Operación del modulo supresor de transitorios.	79
5.3.3. Conclusiones.	80
5.4. Operación del modulo supresor de transitorios (tsb) durante el encendido.	82



5.5. Resumen.	84
5.6. Pruebas de temperatura.	87
5.7. Diseño para los semiconductores del modulo supresor de transitorios.	89
5.8. Modificación del circuito de entrada del tiristor d1 dv/dt.	94
5.9. Operación del circuito modificado.	96
5.9.1. Protección de interfase EMI.	97
5.9.2. Aterrizamiento.	98
5.9.3. Prácticas comunes EMC.	98

CAPITULO 6 100

**CONTROL DEL ESPECTRO DE FRECUENCIA Y
COMPONENTES ELECTRÓNICOS.**

6.1 Filtro.	104
6.2. Temas de diseño específicos del EMC.	105
6.3. Modelado / identificación de sistemas.	107
6.4. Fuente de ruido.	108
6.4.1. Filtros de entrada de 750 VCD.	110
6.4.2.. Filtros de salida de 460 VCA.	110
6.4.3. Filtros de entrada para batería.	110
6.4.4. Filtros de líneas de comunicación y control.	110
6.4.5. Caracterización de filtros EMI.	111
6.5. IGBTs.	112
6.5.1. Funcionamiento del transistor IGBT.	114
6.5.2. Características de conmutación.	118
6.5.3. Características y valores límite del IGBT.	119

CAPITULO 7 125

**CRITERIOS DE CABLES, CABLEADO Y RUTAS DE
CABLEADO**

7.1. Protección de cables sensibles.	127
7.2. Especificaciones del cable utilizado en el inversor.	127
7.2.1. Alcance.	127



7.2.2. Aislamiento.	128
7.2.2.1. Valores garantizados de propiedades físicas.	128
7.2.2.2. Prueba eléctrica.	129
7.2.2.3. Corrosividad.	130
7.2.2.4. Resistencia al aceite caliente.	130
7.2.3. Acabado.	130
7.3. Aislamiento Exane.	131
7.3.1. Aplicación.	131
7.3.2. Construcción.	131
7.3.3. Rangos de temperatura.	132
7.3.4 Doblado en frío (flexibilidad baja temperatura).	132
7.3.5 Corte dinámico.	133
7.3.6 Resistencia a los aplastamientos.	134
7.3.7 Flexibilidad.	134
7.3.8 Resistencia a la flama.	135
7.3.9 Sobrecarga térmica (conductor sencillo).	135
7.3.10 Resistencia al aceite.	136
7.4 Purificación de gases corrosivos.	137
7.5 Generación de humo.	138
	139

CAPITULO 8

ANÁLISIS SISTEMÁTICO Y DE CONTROL CON PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL CONJUNTO MOTOCOMPRESOR.

8.1 Análisis de la fiabilidad para la unidad inversora.	139
8.1.1. MIL-HDBK-217.	139
8.2. Resultados	140
8.3 Reducción del régimen nominal de componentes.	140
8.4. Análisis y pruebas de la unidad inversora en condiciones extremas	144
8.5. Pruebas de desarrollo.	148
8.5.1. Pruebas de arranque-suave.	148
8.5.2. Pruebas de funcionalidad.	148
8.5.3. Pruebas de bajo voltaje.	149
8.5.4. Pruebas de interrupción larga y corta.	150
8.5.5. Condición de sobre corriente.	150
8.5.6. Condición de corto circuito.	150



8.5.7. Distorsión del voltaje de salida.	151
8.6. Pruebas térmicas.	151
8.6.1. Operación intermitente.	151
8.6.2. Operación continua.	151
8.7. Objetivos de la prueba.	152
8.7.1. Descripción de las unidades de prueba.	152
8.7.2. Prueba de inspección visual.	153
8.7.3. Verificación de dimensiones y tolerancias.	153
8.8. Pruebas de temperatura.	154
8.8.1. Alcance de la prueba.	154
8.8.2. Equipo de prueba requerido.	154
8.8.3. Equipo especial de la prueba requerido.	154
8.8.4. Consideración especial.	155
8.8.5. Procedimiento de preparación.	155
8.8.5.1. Preparación.	155
8.8.6. Metodología de la prueba.	156
8.8.6.1. Arranque.	157
8.8.6.2. Perfil de temperatura	157
8.8.7. Evaluación de datos.	158
8.8.8. Categoría de fallas.	158
8.8.8.1. Fallas inducidas por personal.	158
8.8.8.2. Fallas del equipo de prueba	158
8.8.8.3. Falla en el sistema bajo prueba	159
8.9. Prueba de vibración e impacto.	159
8.9.1. Secuencia de prueba.	159
8.9.2. Prueba de vibración.	159
8.9.3. Prueba de impacto.	160
8.9.4. Criterio de pasa/falla.	160
8.10. Prueba de impermeabilidad.	161
8.10.1. Preparación de la prueba.	161
8.10.2. Procedimiento de impermeabilidad.	161
8.10.3. Registro de datos de prueba.	162
8.11. Equipo de prueba.	162
8.11.1. Prueba de bajo voltaje	165
8.11.2. Prueba de sobrevoltaje.	167
8.12. Sistemas de calidad.	169
8.13. Control de proceso.	172
Conclusiones.	174
Siglarío de términos.	177
Bibliografía.	179



ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 2.1: Potencias de equipo.	51
Tabla 3.1: Datos ideales para un inversor.	59
Tabla 3.2: Códigos de prueba.	61
Tabla 4.1: Partes de la unidad inversora.	77
Tabla 5.1: Temperatura vs. tiempo.	88
Tabla 5.2: Tipos de señal.	97
Tabla 7.1: Rangos de temperatura.	132
Tabla 7.2: Prueba de doblado en frío.	133
Tabla 7.3: Resultados de corte dinámico.	134
Tabla 7.4: Resultados de resistencia a los aplastamientos.	134
Tabla 7.5: Resultados de flexibilidad.	135
Tabla 7.6: Resultados de sobrecarga térmica en un conductor sencillo.	136
Tabla 7.7: Resultados de resistencia al aceite.	137
Tabla 7.8: Resultados de generación de gas ácido.	138
Tabla 7.9: Resultados de generación de humo.	138
Tabla 8.1. Resumen de la predicción de fiabilidad.	141
Tabla 8.2: Tarjeta Controladora.	142
Tabla 8.3: Ensamble del disipador de calor del inversor.	143
Tabla 8.4: Gabinete	143
Tabla 8.5: Prueba de arranque.	147
Tabla 8.6: Equipos de prueba.	162



ANÁLISIS SISTEMÁTICO Y DE CONTROL DEL INVERSOR D-4A PARA MOTOCOMPRESOR DE AIRE EN EL SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENADO PARA TRENES MP68 DEL SISTEMA COLECTIVO METRO

INTRODUCCIÓN:

Hoy, el mundo de cambio, es un mundo de retos y oportunidades, por lo que en el papel de ingeniero en este ambiente es de suma importancia para poder crear las soluciones necesarias que demandan los problemas de avance tecnológico, los ingenieros electrónicos tienen la oportunidad y obligación de resolver los problemas que se les presente en su trabajo, por demandantes o ambiguos que parezcan, por lo que deben de estar capacitados para ello.

La carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones tiene por objetivo la contribución, desarrollo y aumento de la productividad de nuevas tecnologías, para ello el ingeniero en electrónica tiene como objetivo diseñar, adaptar y aplicar constantemente los conocimientos adquiridos utilizando modelos y prototipos de equipos ya existentes o innovadores, esto se hace con el fin de solucionar problemas de diversa índole.

Es importante reconocer que muchos de nosotros desconocemos mucha información en cuanto a el funcionamiento del sistema colectivo del metro información como en cuanto a su tecnología, funcionamiento, control, diseño y hasta su mantenimiento, en esta pequeña investigación nos hemos especializado a hablar únicamente de un equipo que es el **inversor D4-A**, este tipo de inversores se utiliza para la operación de un compresor, que a su vez se utiliza para el funcionamiento del sistema de frenado de los trenes del sistema colectivo metro en la ciudad de México.

Como todos sabemos la función principal de un inversor electrónico es la de convertir una señal baja de voltaje y corriente a una potencia alta o viceversa, el principio de un inversor se basa en la de un transformador de corriente, en donde la salida de voltaje esta relacionada con el número de espiras de alambre del devanado



secundario, y obviamente el devanado secundario dependerá del número de espiras de alambre del devanado primario.

Pero como todos sabemos cada día crece la necesidad de manejar el concepto de calidad, en ésta se implanta el ser el mejor diseño en cuanto a características físicas de equipos, en este caso nos enfocaremos con el inversor D-4A.

Existen algunos inversores que carecen de protección, es decir están expuestos a la corrosión con alguna pequeña entrada de lluvia o algún chorro de algún liquido, debemos tener en cuenta también las dimensiones que abarcará pues no debe de ser estorboso, se debe reducir al máximo el espacio y peso, además también es necesario fijarse y tomar muy en cuenta las normas de seguridad del reglamento o los reglamentos.

En la actualidad hay equipos que no necesitan de mucho mantenimiento para ello también nos hemos de asegurar de que el mantenimiento de éste lo podamos hacer muy fácilmente y en un lapso de tiempo no muy corto, es decir que esté libre de problemas referidos con los cuidados de mantenimiento.

En el capítulo 1 expondremos lo que fue el origen del tren y que fue creado para reducir los tiempos de traslado. Así como descripción de los distintos tipos de frenados que utilizan y en específico el motocompresor que es unidad indispensable para la realización de nuestro tema de tesis.

En el capítulo 2 daremos una introducción y antecedentes de lo que son y como funcionan algunos inversores y en especial de los inversores PWM que es al cual pertenece el inversor que vamos a mejorar.

En el capítulo 3 explicaremos la descripción de lo que es el ambiente electromagnético y lo que es el plan EMC así como las pruebas necesarias.



Dentro del capítulo 4 describiremos las fallas y los que el inversor anterior generaba así como sus propuestas de solución basadas en la modificación de la tarjeta de supresorios.

En el capítulo 5 llamado Tarjeta supresora de transitorios, veremos lo que son los supresores transitorios, que sirven para proteger los equipos electrónicos de control protegerlos contra ruido generado en la línea de alimentación por otro equipo.

En el capítulo 6 se encuentra información referida como control del espectro de frecuencia el cual se encargara de estudiar las interferencias electromagnéticas que puedan ser generadas durante el funcionamiento del inversor, así como también nos hemos dado a la tarea de anexar información sobre IGBT`s que son transistores bipolar de puerta aislada, ya que juegan un papel importante dentro del inversor.

Es importante también conocer el diseño de cables, cableado y rutas de cableado por lo que en el capítulo 7 se expondrá este tipo de información para reducir el acoplamiento magnético de cables con campos locales o externos también nos encontraremos con las especificaciones del cable utilizado en el inversor, se anexan también tablas con las especificaciones, de pruebas soportadas y aprobadas que deben de ser realizadas.

El inversor debe contar con fiabilidad es por eso que en el capítulo 8 hablaremos sobre un análisis para la fiabilidad, así se facilitará el funcionamiento, pues la unidad inversora ha sido dividida en sus componentes operacionales y se describe un protocolo de pruebas para el inversor esto como medida de seguridad y sobre todo para tener cierta confianza en el funcionamiento riguroso del nuestra unidad.



OBJETIVO GENERAL:

Tomar en cuenta todos los criterios del inversor D-4A del motocompresor de aire en el sistema de frenado del metro de la ciudad de México, así como describir su funcionamiento para hacerle unas pequeñas modificaciones con la finalidad de hacer más factible, eficiente y sobre todo seguro en una de las distintas formas de frenado para el sistema colectivo metro.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Reconocer un análisis de cómo a evolucionado un tren de pasajeros para efficientizar distancias.

- Analizar la situación actual del diseño e ingeniería que actualmente se utiliza en este tipo de inversores, para averiguar el funcionamiento.
- Analizar el control que este utiliza para ser remplazado o actualizado para un mejor mantenimiento y fácil manejo.
- Mostrar la propuesta del inversor que consiste en estructura esquemática que incluye forma de operar y apoyo para su manejo para analizar las diferentes situaciones como son ventajas y desventajas.
- Dar a conocer los resultados estudiados y obtenidos del inversor D-4A, así como desarrollo de función, control y manejo en cada caso de estudio de sus diferentes partes, para la obtención de información del diseño.



JUSTIFICACIÓN:

Las técnicas de frenado están evolucionando de una manera acelerada en los últimos años esto se debe a la tecnología que con ello avanza, tal es el caso de algunos trenes que han llegado a alcanzar velocidades considerables en la actualidad y se debe adaptar un sistema de frenado eficiente en el que los componentes jueguen un papel importante, pues como sabemos en los trenes solo puede producirse un choque por alguna falla humana pero difícilmente por alguna mecánica, ya que existen varios reemplazos de frenados en caso de que alguno llegara a fallar en determinado momento.

Aunque en la actualidad existen muchos y diferentes estudios sobre procesos de frenado y con ello la utilización de inversores, desde el más simple hasta los más sofisticados en alguno de ellos siempre puede existir alguna desventaja, en el presente proyecto se pretende analizar esas desventajas.

A pesar de lo anterior uno de los grandes retos en tecnología siempre es innovar las expectativas de los equipos, para brindar una mejor confianza y seguridad a los usuarios.

Ya que no es factible utilizar por mucho tiempo un mismo sistema y equipo, es conveniente cambiar y actualizarlos para que resulte evidente el buen funcionamiento y en consecuencia el mejor manejo y operación del equipo, así como su fácil mantenimiento.

Con la realización del presente proyecto se pretende ayudar alguna de las empresas para que incorporen a su sistema de trabajo la investigación de nuestro inversor dando como resultado el mejor desarrollo y preparación del diseño del inversor, además de hacer las comparaciones necesarias para hacerlas competitivas para la preferencia y de diseñarlos con mejor calidad.



Es muy frecuente ver que nos encontremos con problemas de manejo en cuanto a controladores de algunos equipos esto se debe al diseño. El diseño del inversor debe de ser tal que pueda operar bajo condiciones de plena carga de forma continua.

Con base a lo anterior, se puede decir que en el funcionamiento de los inversores actuales deben de ser fortalecidos con un manejo y funcionamiento mas eficiente para que no sean obsoletos en la actualidad, y nos puedan ofrecer un mejor rendimiento y mayor lapso de tiempo para su mantenimiento.



CAPITULO 1

ANTECEDENTES BASICOS DE TRENES PARA PASAJEROS Y SISTEMAS DE FRENADO CON MOTOCOMPRESOR.

1.1. Origen de los trenes.

En el siglo XVIII, los trabajadores de diversas zonas mineras de Europa descubrieron que las vagonetas cargadas se desplazaban con más facilidad si las ruedas giraban guiadas por un carril hecho con planchas de metal, ya que de esa forma se reducía la fricción. Los dos principios mecánicos, guiado de ruedas y uso de fuerza motriz, fueron combinados por primera vez por el ingeniero de minas inglés Richard Trevithick, quien el 24 de febrero de 1804 logró adaptar la máquina de vapor, que se utilizaba desde principios del siglo XVIII para bombear agua, para que tirara de una locomotora que hizo circular a una velocidad de 8 Km. por hora arrastrando cinco vagones, cargados con 10 t de acero y 70 hombres sobre una vía de 15 Km. Transcurrieron dos décadas durante las cuales se desarrollaron los rieles de hierro fundido que soportaban el peso de una locomotora de vapor. La potencia necesaria para arrastrar trenes, en lugar de uno o dos vagones, se aseguró colocando una locomotora de vapor sobre dos o más ejes con las ruedas unidas mediante bielas. La primera vía férrea pública para el transporte de pasajeros y de carga que funcionaba exclusivamente con locomotoras de vapor, fue la de Liverpool-Manchester, inaugurada en 1830.



Figura 1.1. Primeras locomotoras.

1.1.1. El tren en México.

El primer ferrocarril se inauguró el 15 de septiembre de 1850 en México. Se trataba de un tramo de menos de 20 Km. que unía el puerto de Veracruz con la vecina población de San Juan. Más tarde, en 1873, se completó la línea que unía el famoso puerto con la capital del país. En términos generales el inconveniente de los ferrocarriles en América Latina hasta las primeras décadas del siglo XX fue que se desarrollaron en función del comercio con el exterior, más que como una vía interna de comunicación. No obstante, la Revolución Mexicana de 1910 puso de manifiesto la capacidad de este medio de transporte para llevar y traer no sólo ejércitos, armas y pertrechos, sino también ideas que pretendían instaurar la modernidad. Se ha dicho que la Revolución Mexicana no hubiera sido posible si no hubiera existido el ferrocarril.



1.2. Trenes eléctricos para el Distrito Federal.

1.2.1. El metro.

Dentro de nuestra historia se tiene conocimiento que el primer tren eléctrico comenzó a funcionar en el año de 1968, (el cual fue importado de Francia) pues las principales ventajas de usar motores eléctricos es que podían arrastrar cargas mucho mas densas, que no se quedaban sin combustible y su fuente de energía era casi ilimitada, y en consecuencia no hacen ruido, no exhalan humos contaminantes, pueden conseguir grandes aceleraciones en velocidad y una gran capacidad de carga.

Se sabe que la electrificación progresiva se inicio a partir de los años 50 y con una tensión de 3,000 voltios de corriente continua pues era mas económica que las anteriores que eran de 1,500 voltios. En este mismo periodo se genera un plan estatal de electrificación ferroviaria llamada “Catenaria” o sea un conjunto de cables por donde introducir la corriente eléctrica, esta tiene la característica de ser aérea con el fin de suministrar la corriente eléctrica que en condiciones es necesario dispone de subestaciones transformadoras que conviertan la corriente alterna procedente de las líneas de media y alta tensión.

1.2.1.1.Sus características.

Un material conductor, es la clave que el tren pueda ser eléctrico y por lo tanto, beneficiarse de las ventajas de los motores que son eléctricos. Por lo tanto en este caso se utilizo el tercer riel ya que este aporta la energía a un tren eléctrico.

Sabemos por principio de funcionamiento de el motor eléctrico se compone de un estator o parte fija, que no es mas que una bobina de cable conductor, que crea un campo magnético, y este mismo permite hacer girar una parte móvil o rotor en el cual se le



acoplan los diferentes engranajes que permiten hacer girar las ruedas, una de las ventajas de usar motor eléctrico es que se trata de un artefacto muy fácil de regular, es decir, se puede controlar fácil su velocidad.

Dentro de la evolución del tren eléctrico fue al llamado troceador (chopper ingles), que es un sistema electrónico que permite transformar la tensión continua de amplitud variable, facilitando la regulación de la marcha del tren, este mismo esta diseñado para hacer funcional el sistema a la inversa y convertir la velocidad del tren en un generador, pues este motor funciona también como tal, ya que fabrica electricidad que a través de las resistencias de calor, permite frenar el tren, el troceador tiene ventajas pues por el hecho de convertir el motor en un generador también permite devolver energía que no se necesita para frenar la línea eléctrica y para que esta energía pueda ser aprovechada en el circuito de la línea es necesario que existan otros trenes en marcha que la puedan captar.

Actualmente en algunos trenes mas sofisticados el motor que usan es de corriente alterna trifásica y va acompañada de una cadena de tracción basada en onduladores que transforman la corriente eléctrica alterna del tercer riel en corriente continua. La energía cinética del tren se convierte en energía eléctrica y convertirá los motores en generadores para disipar la energía del frenado ya que sea a través de las baterías de resistencia. Gracias a los microprocesadores se puede registrar cualquier anomalía y facilitar el mantenimiento.

Una unidad de metro esta compuesta por diferentes carros los cuales tienen función específica dentro del mismo los cuales son cuatro carros motrices y dos carros remolque que para su identificación llevan en una esquina inferior las siguientes siglas:



M – R – N – N – PR – M

DONDE:

M = Carro motriz con cabina de conducción.

N = Carro motriz sin cabina.

R = Carro remolque.

PR = Carro remolque con equipamiento de pilotaje automático.

Cuenta con un sistema de tracción con motores eléctricos de corriente alterna en sus carros motrices (M-N).

En conclusión el tren no es otra cosa más que un conjunto de vehículos automotores y remolque que forman una composición indivisible preparada para circular solas o acopladas a otras composiciones. Y así se consigue mantener el equilibrio de fuerzas que hacen correr un tren por el riel como es llamado peso adherente, la masa total del tren y la energía para moverlo. ^[15]

1.2.2. Tren Ligero.

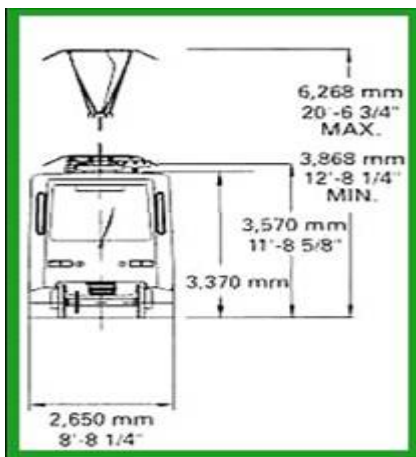
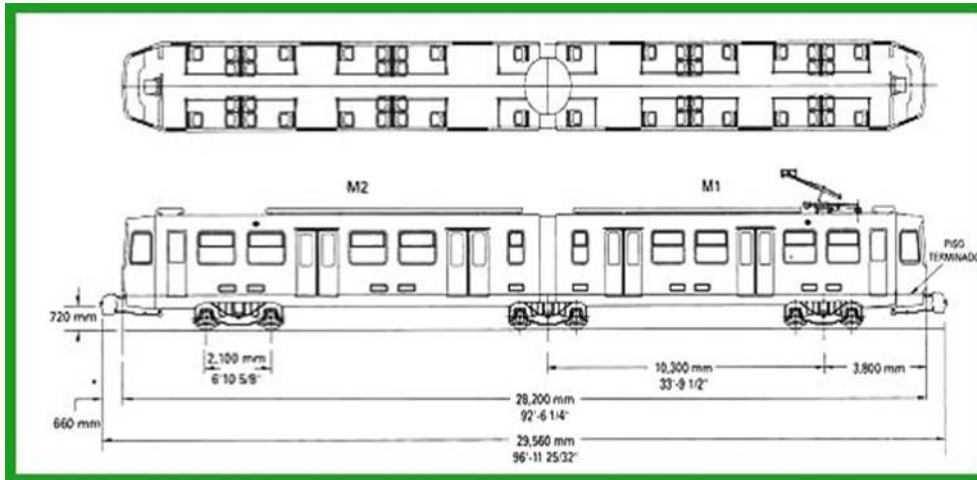
Los trenes ligeros articulados de piso alto están diseñados para operar en ciudades que demandan una considerable capacidad de transporte.

El acceso se realiza desde un andén de la estación, lo que facilita el abordaje a los pasajeros.

En este tipo de vehículos los equipos principales como lo son el sistema de tracción-frenado, convertidor estático de auxiliares, batería, grupo motocompresor, equipo electrónico de control, etc., se colocan bajo el bastidor del carro.

Debido a que no existe una restricción de espacio, los bogies son de dimensiones convencionales, lo que permite el acceso a las labores de mantenimiento a cualquier nivel.

Este tipo de transporte es la alternativa ideal para disminuir la contaminación de las grandes ciudades.



Figuras 1.2: Esquema del tren ligero.



1.2.2.1. Capacidades.

Pasajeros sentados 50

Pasajeros de pie 250

Total de pasajeros 300

Velocidad máxima de servicio 80km/hr.

1.2.3. Trolebús.

Construcción Integral que agrupa en un solo elemento estructural: la plataforma, costados. Toldo y extremos, fabricado con tubulares y perfiles abiertos en acero galvanizado y con protección adicional a la corrosión con un primario poliéster rico en zinc, dando como resultado una vida mínima de veinte años en los mismos componentes estructurales en condiciones normales de operación.



Figura 1.3. Trolebús.

El revestimiento exterior es galvanizado y para protección a la corrosión, con acabado bonderizado, con ello se logra una alta adherencia a la pintura y excelente protección anticorrosiva. Las vibraciones de los revestimientos se atenúan por la utilización de sellador en todas las unidades entre los paneles y los elementos estructurales, manteniéndolos adecuadamente unidos.

Las cargas a las que está sometido el trolebús fueron debidamente analizadas utilizando el método de elemento finito y comprobadas en pruebas destructivas y no destructivas



(pruebas de vibración estructural, estático y dinámico), donde se identificaron las zonas susceptibles de falla y efectuando los refuerzos necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento del trolebús en su totalidad durante el periodo de vida previamente establecido.

1.2.4. Trenes de gran velocidad.

Toda la experiencia acumulada durante la electrificación de las redes, francesa y japonesa de la posguerra ha desembocado en los trenes de fin siglo en los que domina la idea de gran comodidad y alta velocidad, tratando de competir en largo recorrido no ya con el automóvil sino con el avión. En Europa occidental los núcleos urbanos con alta población están relativamente cercanos, por ello para utilizar su interconexión ferroviaria se ha tendido a la modernización de las vías y en consecuencia a su señalización junto a la nueva tecnología de tracción, con lo que las velocidades entre 160 y 200 Km/h son habituales. Los trenes de largo recorrido han logrado mantener un tráfico frecuente y regular, a lo que hay que añadir importantes mejoras en la comodidad: los avances en la suspensión, en los engranajes y la supresión de las uniones de las vías gracias a la técnica de la soldadura continua de los carriles hacen que los trenes de pasajeros se deslicen con gran suavidad, y los vagones suelen estar dotados de aislamiento acústico, aire acondicionado y servicios de telefonía y audiovisuales, además de los clásicos de restauración, ducha personal y la posibilidad de transporte en el propio tren del automóvil del viajero. La viabilidad del servicio de pasajeros para viajes de más de 400 Km. ha precisado desarrollos tecnológicos que permiten su funcionamiento a velocidades muy superiores. A partir de la década de 1960, el primer tren bala japonés demostró que las grandes velocidades eran posibles. Los franceses perfeccionaron su TGV ('Tren de Gran Velocidad'). La primera vía para TGV, desde el



sur de París hasta Lyon se terminó en 1983 lográndose una velocidad comercial de 270 Km/h. En 1994 se habían terminado otras cuatro líneas para TGV, que ampliaban el servicio de trenes de alta velocidad desde París hacia el norte y oeste de Francia y se iniciaron las líneas hacia el sur y la frontera española, que se concluirán, sin duda, a finales de este siglo. Su velocidad ha pasado de los 300 Km. por hora. Pero la investigación aplicada por parte de la SNCF (Société Nationale des Chemins de fer Français, 'Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses'), no se detuvo aquí y en pruebas con tren real efectuadas en mayo de 1990, un TGV alcanzó la marca mundial de velocidad sobre rieles con un registro de 515,3 Km. por hora.



Figura 1.4. TGV (Tren de gran velocidad).

Una de las deudas que el ferrocarril moderno tiene con la electrónica es su contribución a la tecnología de tracción. Ha permitido lograr la gran potencia que hace falta para que un tren eléctrico desarrolle y mantenga una velocidad de 300 Km/h porque por distintos caminos la electrónica ha reducido el volumen y el peso de la unidad generadora, además de permitir el desarrollo de las comunicaciones y la seguridad. Mientras que en 1950 una locomotora avanzada de 4.000 caballos de vapor pesaba 88 toneladas, en 1994 hay locomotoras suizas de 8.000 caballos de vapor de solo 80 toneladas. Estas características también permiten en los trenes autopropulsados donde algunos o todos los vagones están provistos de motor, colocar todo el equipo de tracción bajo el piso para



aumentar el volumen destinado a la comodidad de los viajeros. La señalización y la regulación de tráfico en estas líneas se comprende que es muy diferente a las convencionales. Hoy, gracias a la informática, se puede controlar y localizar a distancia un tren así como realizar conexiones automáticas de trenes, procesar instantáneamente datos y transmitirlos sobre velocidad, circulación y otros muchos. Un centro de control de tráfico cubre una zona amplia; al introducir el código de un tren en la unidad de control de tráfico, se muestra su situación en la línea de modo automático, y las computadoras indican a los controladores la mejor forma de corregir el horario de un tren, en la hipótesis de que alguno esté fuera de su plan de ruta. Gracias a esta tecnología pudo inaugurarse en 1989 la primera línea de pasajeros totalmente automatizada con trenes sin tripulantes: el metro de Lille, al norte de Francia. ^[1]

1.3. Sistemas de frenado.

Los motores eléctricos pueden funcionar como generadores y por lo tanto también pueden ser frenados eléctricamente, siempre y cuando el circuito de campo se pueda excitar en forma independiente del circuito del inducido en el momento de ordenar el frenado del motor.

1.3.1. Frenado dinámico.

Si la potencia eléctrica desarrollada por el motor se transforma en calor a través de una resistencia, la máquina tenderá a detenerse rápidamente. A este tipo de frenado se le conoce comúnmente con el nombre de frenado dinámico. Generalmente se usa como resistencia de frenado, a la misma del arranque. En esta forma de frenado se caracteriza también por que los bornes del inducido se abren a la fuente de alimentación y a su vez se conectan a una resistencia que permite disipar la energía de rotación debida al efecto generador.

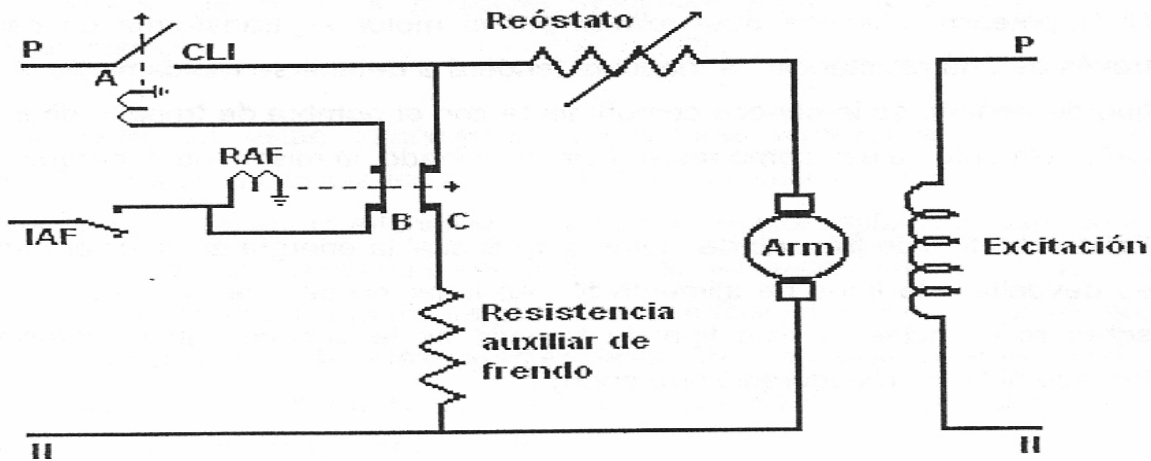


Figura 1.5. Esquema eléctrico de un sistema de frenado dinámico.

Como se muestra en el esquema cuando se abre el interruptor IAF, el relevador de arranque frenado se desenergiza, el contactor de alimentación del inducido se desexcita y se abre su contacto “A”, quitando la alimentación al inducido del motor. Al mismo tiempo, el contacto C del relevador RAF, cierra el circuito del inducido a través de la resistencia de arranque y una resistencia auxiliar de frenado. Si la excitación del motor se mantiene, los conductores del inducido en movimiento, presentaran una tensión inducida y el inducido desexcitado actuara como un generador de excitación independiente.

En otras palabras el movimiento del inducido es debido a la inercia del rotor del motor y carga conectada, y así la energía que se produce por el motor como generador se disipa en forma de calor sobre las resistencias de arranque y auxiliar, dándose el frenado debido a que la inercia del inducido del motor debe vencer las pérdidas eléctricas y rozamiento



1.3.2. Frenado regenerativo

Significa que la energía regresa a la fuente que la genera, en este tipo de frenado cuando el motor funciona como generador durante el frenado se produce una energía de rotación y se reintegra a la fuente alimentación en lugar de ser disipada en calor a través de una resistencia, cuando este motor gira a gran velocidad cada vez que la carga tienda a arrastrar el motor en el mismo sentido y se encuentre aplicada la plena excitación, la tensión del inducido se hace mayor a la tensión que hay en la línea, por lo tanto provoca que haya un retorno de corriente hacia la fuente de alimentación de dicho motor.

Sin embargo existe otra forma de producir este tipo de frenado sin tener que aumentar la velocidad del motor, esta se logra excitando el campo del motor por encima de la excitación nominal y esto a su vez produce un gran aumento de fuerza electromotriz del inducido a tal grado que se hace mucho mayor que la tensión de la línea y esto provoca el retorno de corriente a la fuente de alimentación.

1.3.3. Freno neumático.

Este tipo de frenado es controlado electro-neumaticamente pues el equipo de frenos de control de fricción es el que proporciona un frenado de emergencia. Este sistema tiene la función de interpretar los comandos para la aplicación del freno de fricción a través de unidades electrónicas de control para poder controlar la presión del cilindro de frenos por medio de un circuito cerrado de control proporcional, este tipo de frenado con corrección de carga se da cuando la válvula de emergencia es desenergizada. En este caso las unidades de frenado de disco son equipadas con dispositivos para la función de frenado por medio de resortes para cumplir con los requerimientos del frenado de estacionamiento.



1.3.4. Freno de servicio.

Después del frenado dinámico por los motores de tracción cuando baja la velocidad desaparecerá y será sustituido por el frenado de fricción, cabe mencionar que esta sustitución es de tal manera que la desaceleración se mantenga sin cambio, esto es debido a que en caso de que el freno dinámico en algún momento falle el freno de fricción proporciona el frenado de servicio requerido con las restricciones correspondientes, esto se hace con la finalidad de evitar sobrecargas térmicas en los discos de freno.

Un papel muy importante que juegan en este tipo de frenado son las unidades electrónicas de control, ya que se toma en cuenta la información recibida del sistema de tracción respecto al esfuerzo de frenado dinámico aplicado y estas unidades mandan la porción de frenado neumático requerido por un control analógico de la unidad neumática para generar la presión necesaria en las unidades de freno de disco.

1.3.5. Freno de emergencia.

Este tipo de frenado consiste en desenergizar directamente la válvula de emergencia, esto origina que la alimentación de aire comprimido se direcciona hacia las válvulas, abriendo una ruta para el suministro directo de aire comprimido de alta capacidad hacia las unidades de frenado de disco.



1.3.6. Freno de inmovilización.

El freno de inmovilización es accionado por las unidades de freno que son de disco, calzas, etc, y se realiza por medio de resortes en contra presión contra la neumática. Se aplica también cuando se tiene una baja presión en tubería de equilibrio es decir automáticamente.

1.4. Antideslizamiento.

Este tiene como finalidad ajustar la fuerza de frenado en caso de la disminución de la adherencia entre la rueda y la vía, sus características son las siguientes:

- Evitar un posible bloqueo de la ruedas y, por lo tanto,
- Evitar que se generen partes planas en las ruedas.
- Aprovechamiento optimo de la adherencia restante para tener una mínima distancia de parada.

El sistema de antideslizamiento regula al velocidad angular de la rueda que, con valores de adherencia desfavorables tendrá cierta diferencia con la velocidad del vehiculo, para ello, el sistema registra la velocidad de los distintos ejes frenados y crea una velocidad de referencia como reemplazo de una velocidad real del vehiculo para el sistema, de tal forma que en caso de deslizamiento manda a través de válvulas de antideslizamiento la disminución de fuerza de frenado en función de la velocidad del vehiculo, del deslizamiento y de la deceleración.

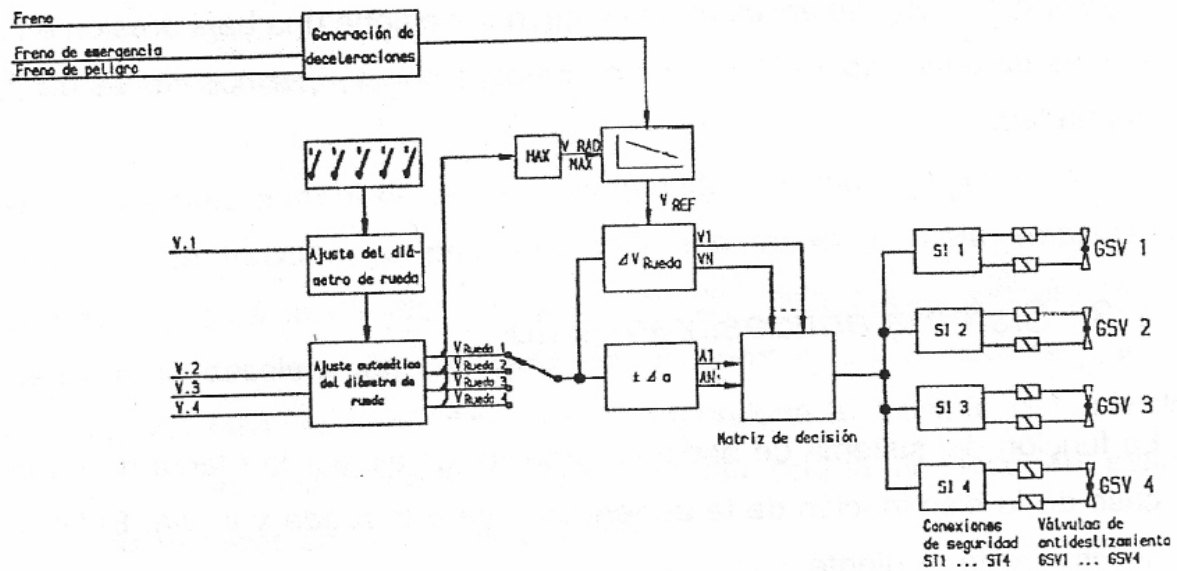


Figura 1.6. Diagrama de bloques del sistema de antideslizamiento.

Los criterios de deslizamiento $V_1 \dots V_N$ están relacionados con la velocidad de referencia de lo que resultan campos de deslizamiento en los cuales pueden moverse la velocidad de la rueda y los criterios de deceleración $A_1 \dots A_N$ son constantemente elegidas, por lo tanto las válvulas de deslizamiento están previstas para este sistema tienen la función para formación de presión, cierre de presión y disminución de presión. Se puede conseguir una subida o bajada de presión retardada con un mando escalonado.

El siguiente funcionamiento de regulación para un freno activo se explica a continuación para las electro válvulas de antideslizamiento previstas:

Cuando la velocidad de rueda V_{RUEDA} disminuye por debajo de la velocidad de la referencia V_{REF} , la deceleración de la rueda sobrepasa un primer valor de umbral A_1 , entonces junto con el deslizamiento calculado en este momento desde la matriz de decisión se da a la válvula de antideslizamiento la orden necesaria de aflojamiento por medio de:



- Cierre de la presión del cilindro, o
- Desfogue pulsado, es decir lento, o
- Simple desfogue.

Cuando la deceleración de la rueda, después de reducir la fuerza de frenado, se convierta en una aceleración, a continuación se darán las siguientes órdenes de ajuste:

- Cierre de la presión de cilindro, o
- Alimentación pulsada, es decir lenta, o
- Alimentación.

Por lo tanto la magnitud de la reducción de la deceleración y del campo de deslizamiento coordinado, se elegirá la correspondiente orden de ajuste. ^[13]

1.5. Motocompresor de aire modelo “WRS-42 AC”

1.5.1. Descripción general.

La unidad compresora de aire “WRS-42 AC” esta ensamblada para ser cargada por una estructura que usa cuatro soportes de montaje en interfase con el bastidor inferior del carro, la unidad requiere solo de la alimentación de entrada de 750 VCD, un voltaje de control nominal de 75 VCD, una conexión para descargar el aire y 4.73 lts de aceite sintético, para poder iniciar su operación, la unidad compresora pesa aproximadamente 409 Kg y tiene unas dimensiones de 615.95mm de alto X 1075.87mm de ancho X 1318.61mm de largo.

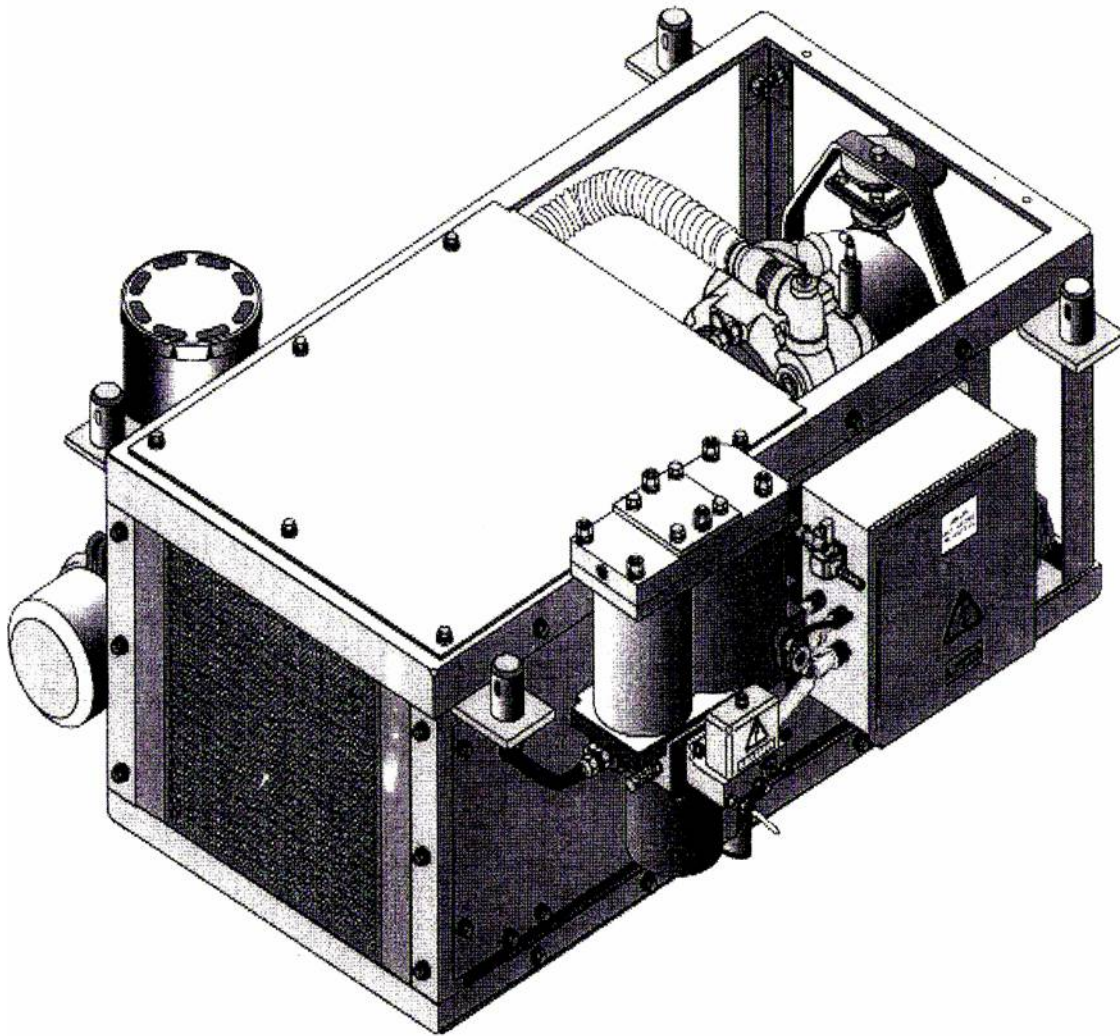


Figura 1.7. Compresor de aire.



1.5.2. Descripción de operación.

Cuando el circuito de apertura de freno en un carro sin presión de aire es encendido y el voltaje del tercer riel esta disponible, la señal de “Arranque del compresor” es enviada a través del voltaje de la batería del bloque de terminales de 75 VCD (1 A) a través del presostato (PS) y de regreso al bloque de terminales de 75 VCD (5 A) el voltaje de batería fluye del bloque de terminales de 75 VCD (5 A) a través del contacto cerrado del interruptor de temperatura del aceite (OTS) y de regreso al bloque de terminales de 75 VCD. El voltaje de batería incluye desde bloque de terminales de 75 VCD al contacto 10 del temporizador (TM) para iniciar la función de temporizador de 30 seg. Y la de 180 seg. El voltaje de batería también incluye del bloque de terminales de 75 VCD al contacto c en el conector de bajo voltaje del inversor (LIV). El inversor (IV) verifica para asegurarse que el voltaje de 750 VCD este disponible y que este dentro de su rango normal. Si este voltaje esta correcto, el inversor arrancara suministrando voltaje al motor del compresor (M). el inversor también coloca voltaje de batería en el contacto D del conector de bajo voltaje del inversor (LIV). Este voltaje de batería influye al bloque de terminales de 75 VCD. El voltaje de batería también influye al bloque de terminales de 75 VCD a través de la resistencia R1, al contacto 12 del temporizador (TM). El contacto es el temporizar de 180 seg. Esta entonces cerrado y el voltaje de batería fluye a través del contacto al contacto 5 del temporizador (TM) y al contacto 1 de la válvula de tipo solenoide (SV). El contacto 2 de la válvula solenoide, esta conectado al bloque de terminales de 75 VCD (4 A) por medio de los contactos 4 y 9 del temporizador (TM). Esto energiza a la válvula solenoide, lo cual provoca que la válvula de drenado cierre y permita que la porción de aire comprima el aire. El inversor continua suministrando voltaje al motor mientras reciba la señal “arranque del compresor” desde la caja de control y presostato (PS) abrirá y retirara la señal “arranque del compresor” desde su entrada al inversor (IV). El inversor detecta que esta señal ha sido retirada y detiene el suministro de voltaje al motor del compresor y la porción de aire detiene la



compresión del aire. El inversor también retira la alimentación de batería de la válvula solenoide (SV) provocando que la válvula de drenado desfogue aire de la porción de aire. Esto le permitirá al inversor re arrancar al compresor en una condición de “descargado”. Como los componentes en el carro usan aire del tanque, la presión del tanque principal se reduce. Cuando esta presión alcanza los 6.8 Bars, el contacto de presostato (PS) cierra. Esto envía la señal “arranque del compresor” al inversor, iniciando nuevamente la secuencia de operación del compresor.

Mientras que la señal de arranque del compresor este en el nivel de batería, el temporizador esta operando. El temporizador de 30 seg. Energizara ya sea el solenoide de control de la torre izquierda (LTC) o el solenoide de control de la torre derecha (RTC), mientras que la otra permanece desenergizada. Como el compresor comprime el aire hasta alcanzar los 8.2 bars, el temporizador determina que tanto tiempo la señal “arranque de compresor” esta al nivel de la batería. Cuando el temporizador alcance los 30 ± 2 seg. El contacto del temporizador que conecto el contacto 8 al contacto 6 cambia de tal forma que el contacto 8 esta ahora conectado al contacto 7. Esto provoca que la torre que esta secando aire y la torre que esta siendo purgada de humedad sea invertida. El compresor continúa operando durante otros 15 seg. hasta que la presión del tanque principal alcance los 8.2 bars. El contacto del presostato entonces abre, y la señal “arranque del compresor” va a cero. El compresor detiene la compresión del aire y el temporizador detiene su cuenta también.

La válvula solenoide será desenergizada durante este tiempo y la válvula de drenado abrirá para desfogar el aire y la humedad del colector del secador. Después de aproximadamente 1 seg. , el contacto del temporizador que esta conectado el contacto 12 al contacto 5 cerrara nuevamente y la válvula solenoide será reenergizada, cerrando la válvula de drenado y permitiendo al compresor comprimir el aire.

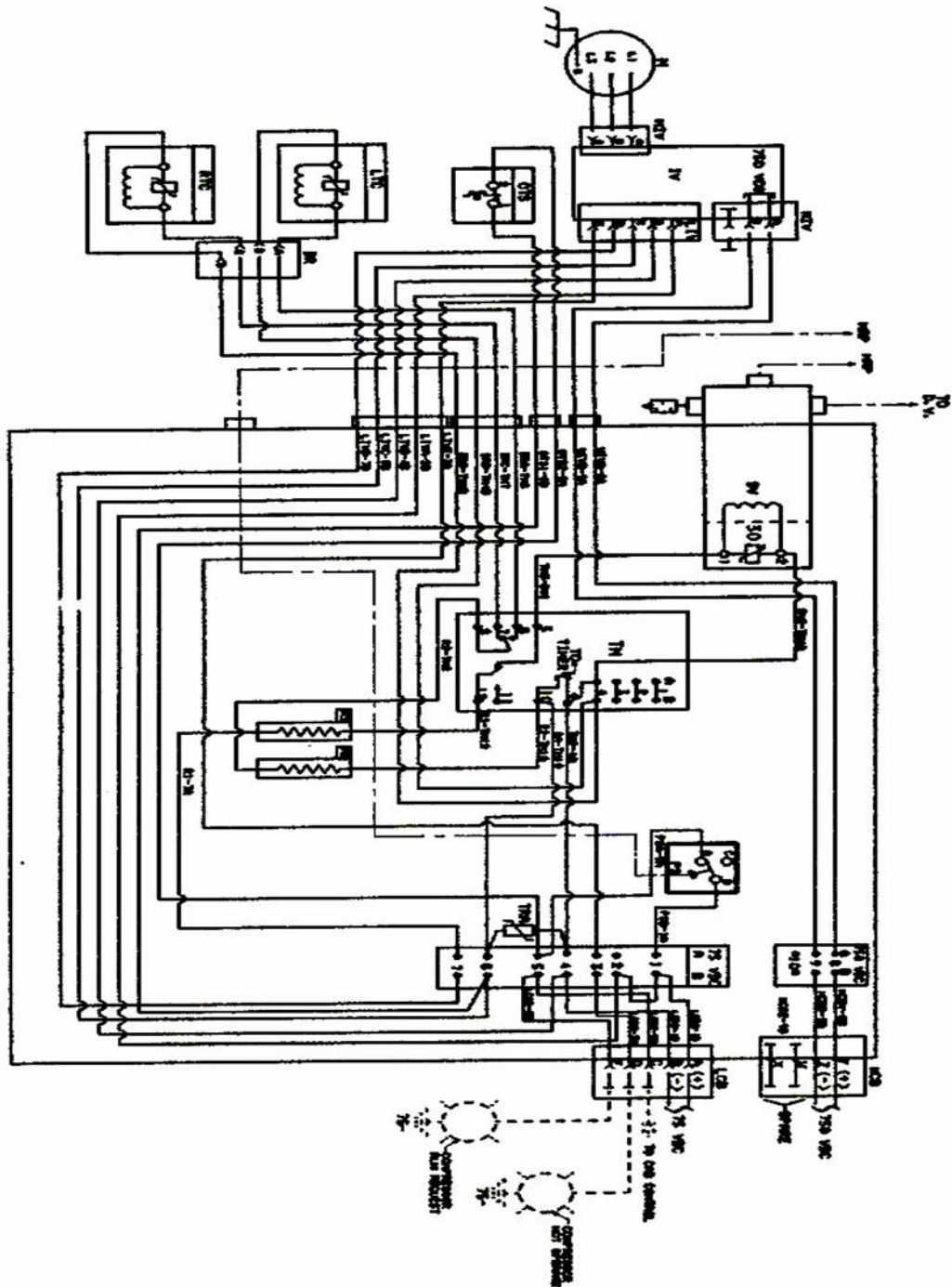


Figura 1.8. Diagrama esquemático del compresor de aire.

El tornillo rotatorio, solamente tiene dos partes móviles principales, los rotores asimétricos de perfil de lóbulos. El rotor accionador (macho) comprime el aire y el rotor conducido (hembra) es una guía. Por lo que ocurre una mezcla del aire que comprime el tornillo rotatorio con el aceite que contiene el cual debido a la densidad del mismo que es mayor a la del aire le sirve como filtro de partículas al aire. Después de ser mezclados pasan a un separador cuya función es dividir el aire del aceite, mandando el aire húmedo a un enfriador para después ser enviado a las torres secadoras y el aceite a otro enfriador, posteriormente a un filtro de partículas para quitar impurezas y así volver a repetir el proceso, en el cual al ir recorriendo el cuerpo del tornillo rotatorio le va sirviendo de lubricante y sellador. Estos lóbulos giran a velocidades moderadas en un baño de fluido que los enfría. El baño de fluido consiste de 5 cuartos de aceite sintético. Las partes tocan solo el límite de la línea de lubricación, lo cual proporciona durabilidad libre de desgaste.

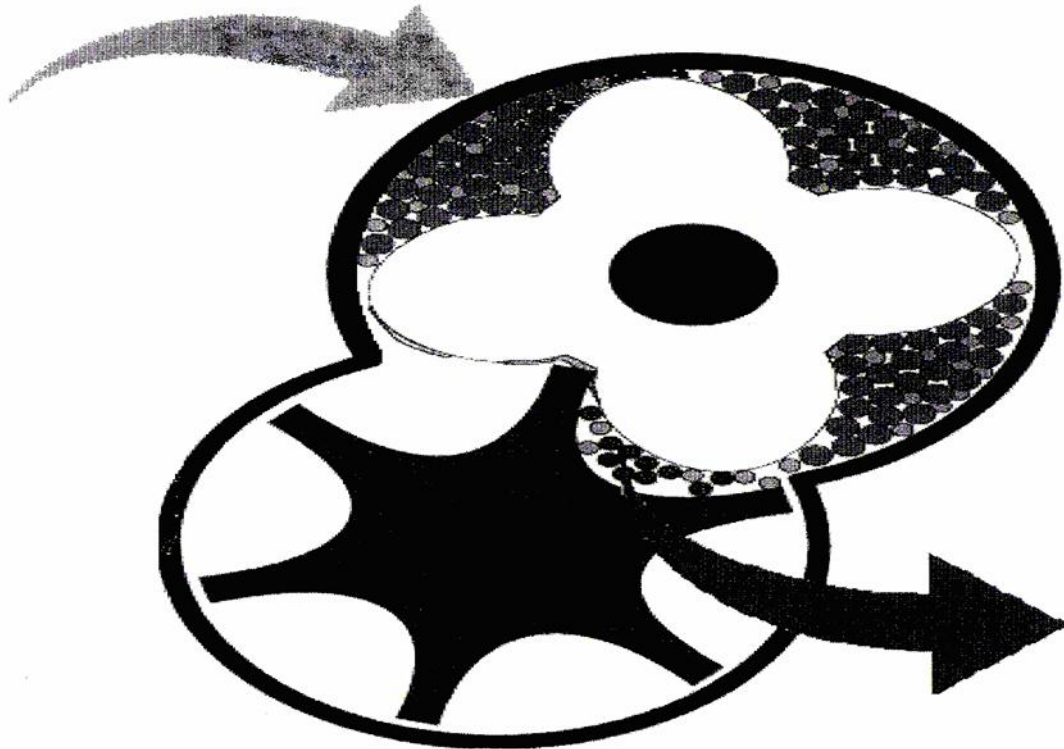


Figura 1.10. Vista de operación del tornillo rotatorio.

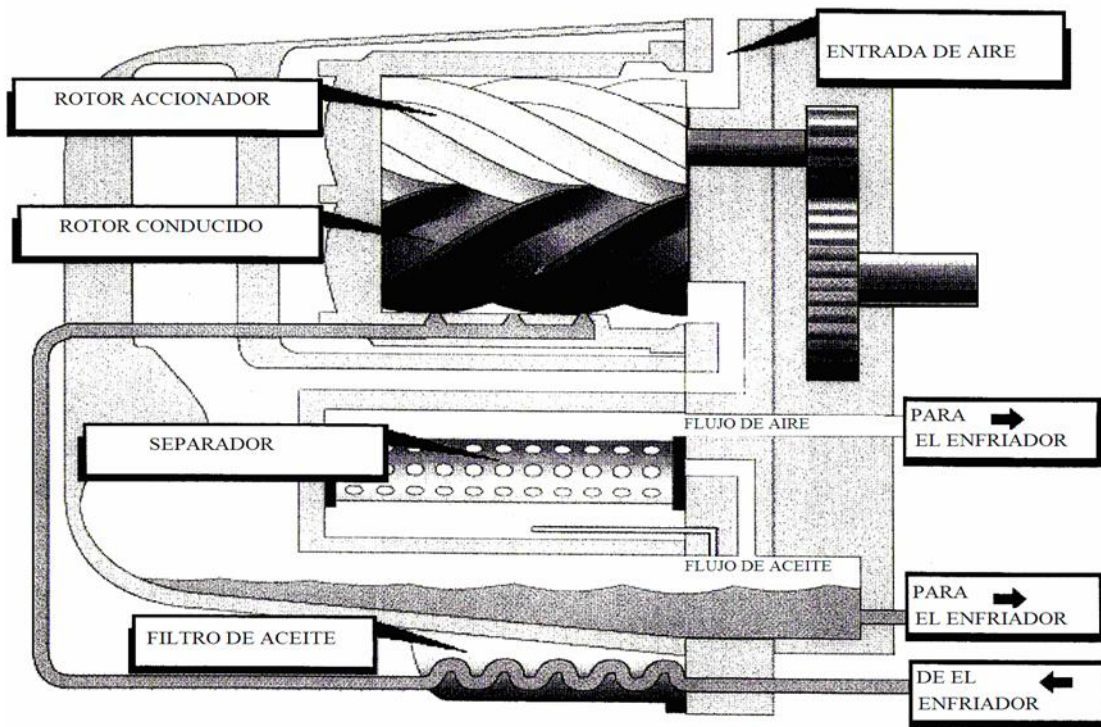


Figura 1.11. Funcionamiento esquemático del tornillo rotatorio.

1.5.3.2 Unidad de control del motocompresor de aire.

Las funciones de arranque-paro y sincronización de la unidad compresora de aire, están controladas por la unidad de control del compresor de aire (ver fig. 1.12.). La caja de control aloja los bloques de terminales necesarios para la conexión de alto y bajo voltaje.

Un presostato en la caja de control, monitorea la salida de aire del compresor, controla la secuencia arranque y paro del compresor de aire y la activación de la doble función del temporizador del secador de aire. Después de la activación del temporizador, el temporizador controla ambos el cambio de las torres de secado cada 30 seg. , y la desenergización de la válvula solenoide de tres vías durante 1 seg. , si el compresor

opera durante 180 seg. , sin interrupción. La válvula de corte manual se usa para cortar la operación del presostato del sistema.

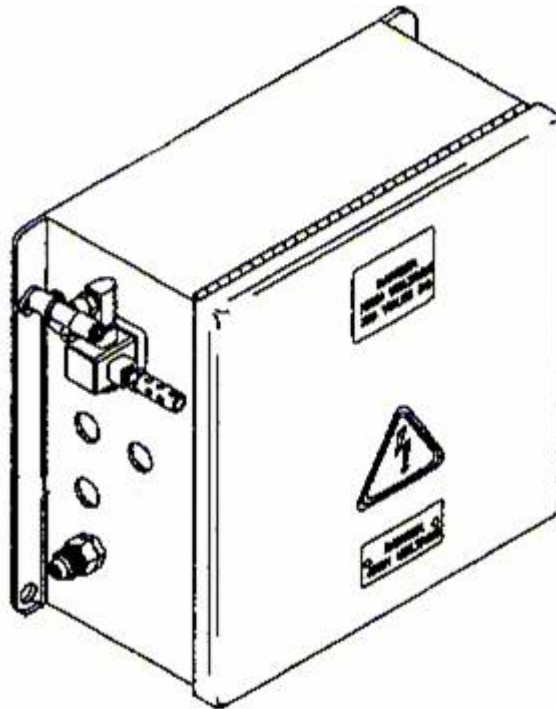


Figura 1.12. Unidad de control del motocompresor.

1.5.3.3 Unidad Inversora.

En este tema hablaremos a grandes rasgos sobre la descripción de la unidad ya que “la unidad inversora” es nuestro tema central de nuestra tesis. Así pues hemos desarrollado el tema profundamente en los siguientes capítulos describiendo desde su funcionamiento hasta características y principalmente algunas mejoras que propusimos para un mejor desempeño en cuanto a su función.

La unidad inversora esta montada en el bastidor del compresor y esta ubicado debajo del carro en una envoltura simple a prueba de agua. La unidad esta principalmente compuesta de un filtro de entrada diseñado para proteger al inversor contra transitorios

altos y bajos de energía, un inversor, el cual proporciona la conversión de los 750 VCD del tercer riel a una salida 460 VCA trifásica de magnitud y frecuencia controlables, usando la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM) y un filtro de salida que retira los picos de voltaje que vienen de las conmutaciones del inversor, que de otra forma podrían dañar el aislamiento del motor. El esquema de esta unidad lo podemos ver a continuación y en el capítulo no. 4 podremos ver sus partes que lo componen.

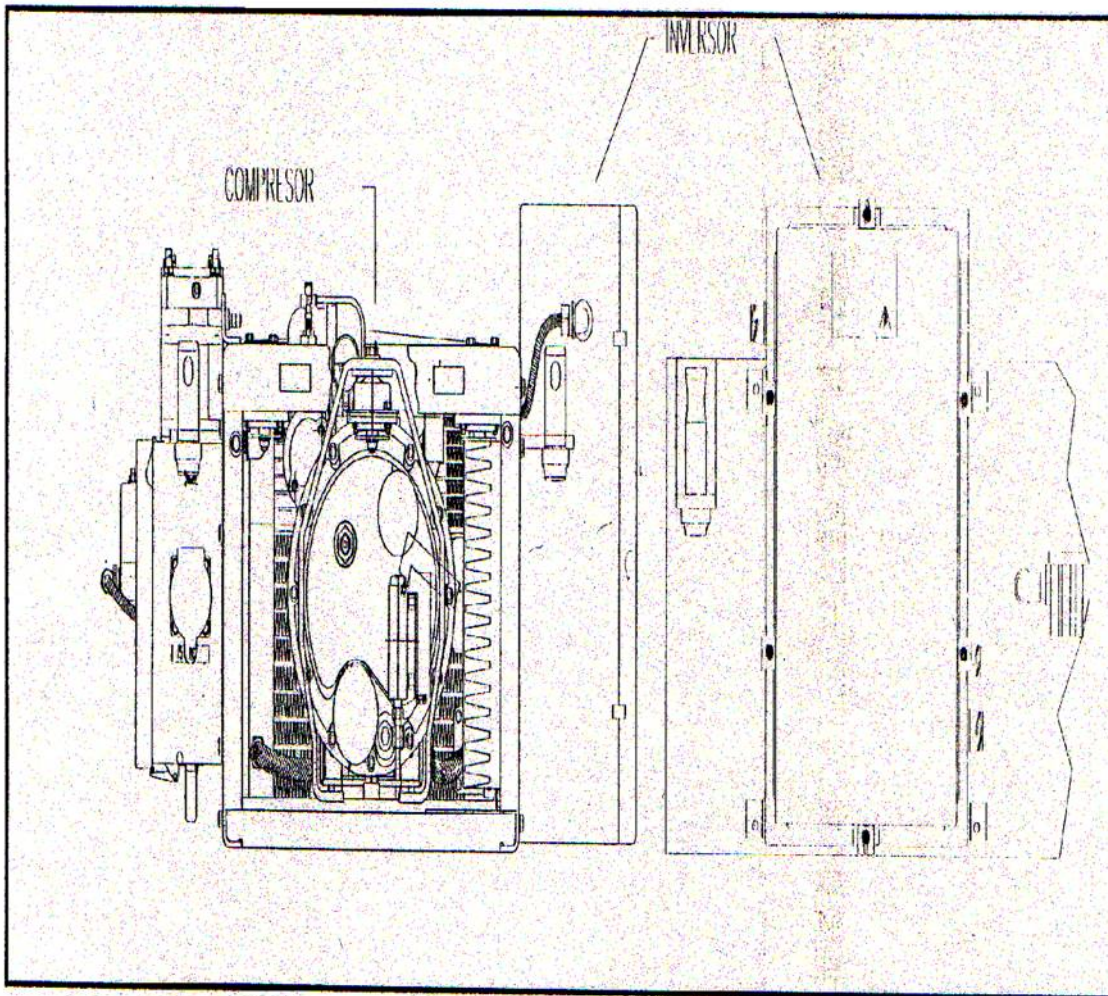


Figura 1.13. Unidad inversora.

1.5.3.4 Secador de aire “E-1”.

El secador de aire de torres gemelas “E-1” esta diseñado para secar el aire comprimido durante la operación continua del compresor. Esta unidad esta compuesta de un separador de agua, un colector, torres desecantes con desecante embolsado, válvula de drenado, válvula alternadora, temporizador de control, y una válvula check del tanque principal.

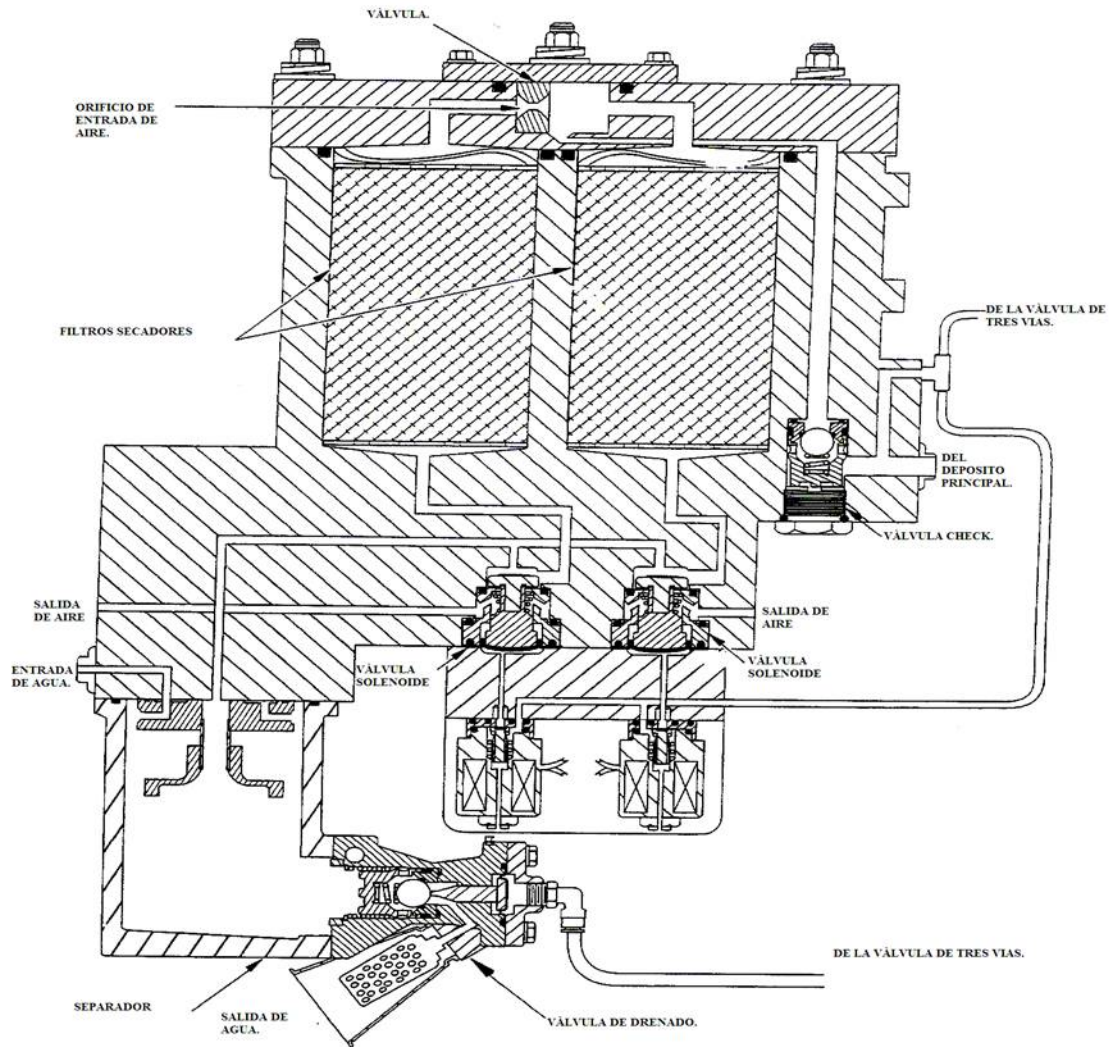


Figura 1.14. Secador de aire.



La entrada del sistema está al mismo nivel de la salida del enfriador posterior en la unidad compresora de aire D-4A, evitando la acumulación de condensados.

La cámara secadora tiene cuatro puertos de descarga para inducir el flujo de aire circular. El sistema usa una válvula de control de 3- vías, operada por aire. Dos válvulas solenoide controlan la presión del aire piloto para operar las válvulas. Una válvula de drenado sigue pasivamente el flujo de aire dirigido por la válvula de control.

El E-1 contiene una única caja de control con un temporizador (30 seg. Por ciclo) controlando a la válvula de control y a la válvula de drenado (ciclo de 3 min.). El temporizador tiene una memoria que recuerda el tiempo del ciclo de purgado en cada torre para el uso balanceado de las torres. La caja de control también proporciona alimentación continua mediante un termostato a los calefactores en la válvula de drenado y el gabinete de soporte de las torres.

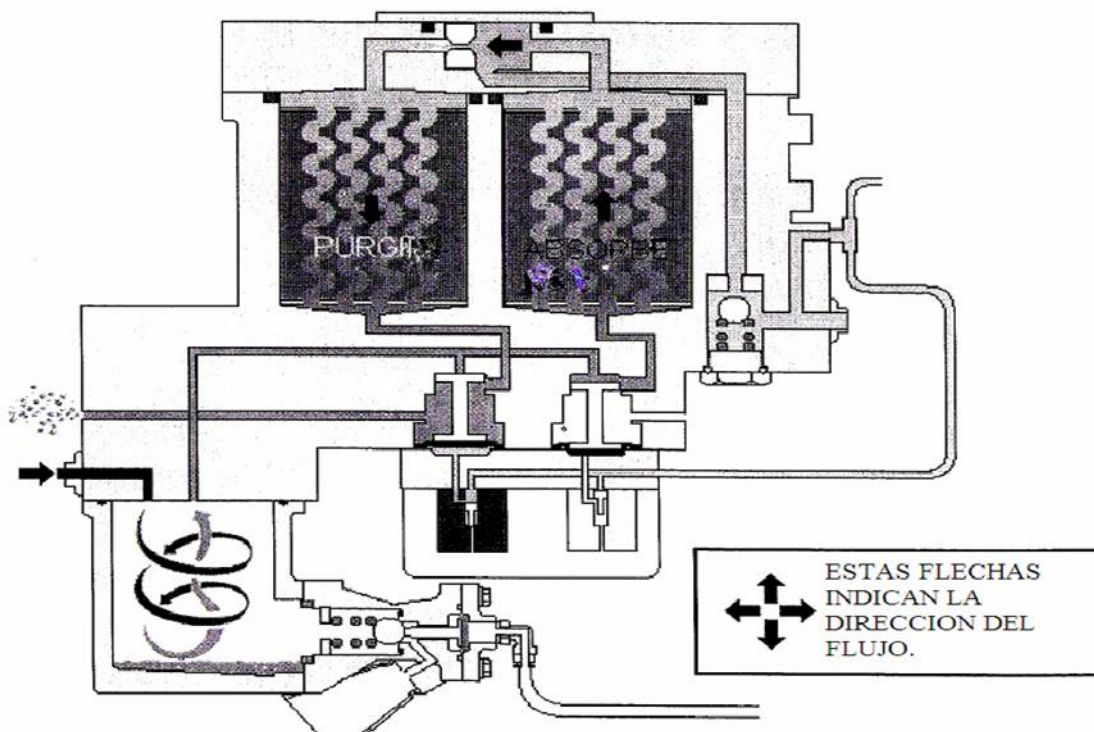


Figura 1.15. Flujo de aire en el secador.

1.5.3.4.1. Operación.

El aire del enfriador posterior entra en la cámara del separador a través de cuatro puertos de descarga. La fuerza centrífuga envía la humedad de entrada a la pared del separador.

El condensado se mueve después de la caja a la cavidad baja, donde es eliminado por medio de la válvula de drenado. El separador centrífugo elimina aproximadamente el 80% de la humedad para cargas reducidas en las torres secadoras.

El aire que se va del separador mecánico pasa a través del filtro central eliminando grandes contaminantes y es compartido por las dos torres por medio de la válvula de

control de tres vías. La válvula abre la torre secadora a la salida del separador y al mismo tiempo desfoga a la torre del aire seco a través del tubo de purgado central de la torre que esta siendo purgada. Los seis agujeros en la parte inferior del tubo expone al aire seco a todo el medio secador, promoviendo el secado uniforme.

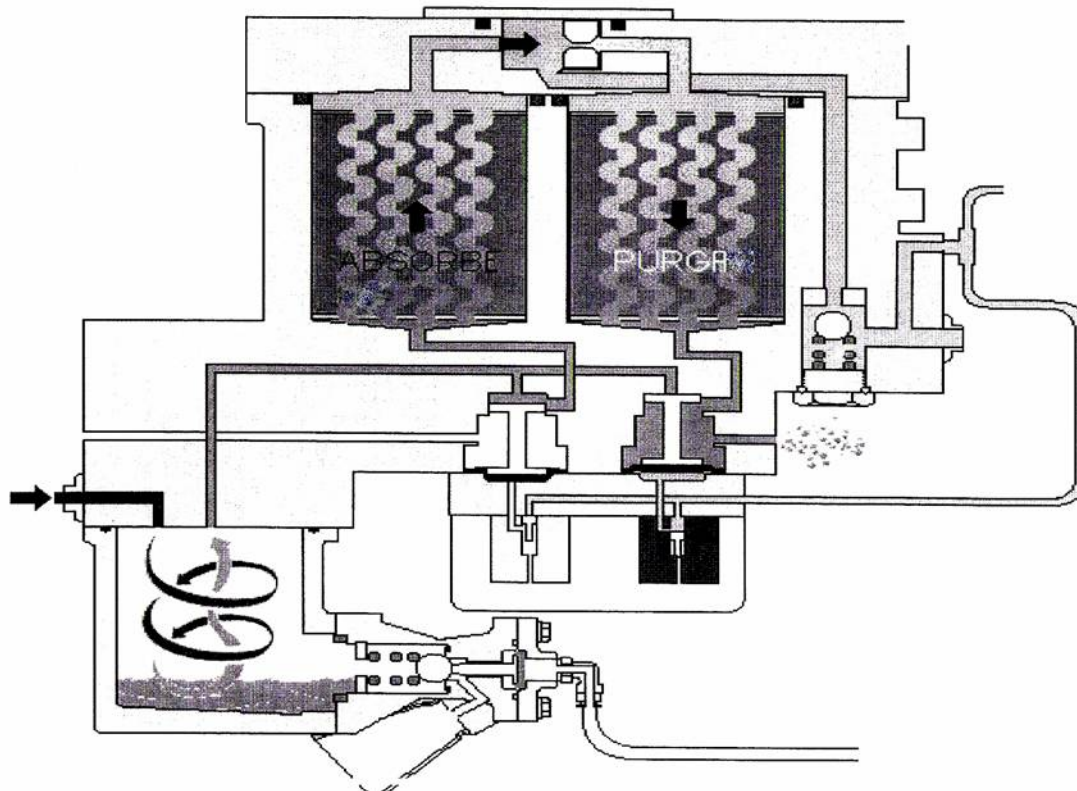


Figura 1.16. Cambio de dirección en el flujo de aire de las torres.

Este usa dos etapas de secado para asegurar el suministro de aire seco bajo cualquier circunstancia. Un separador mecánico retira las moléculas mas pesadas y el medio de secante retira las moléculas más ligeras.

1.5.3.5. Válvula de drenado “R-1” con silenciador.

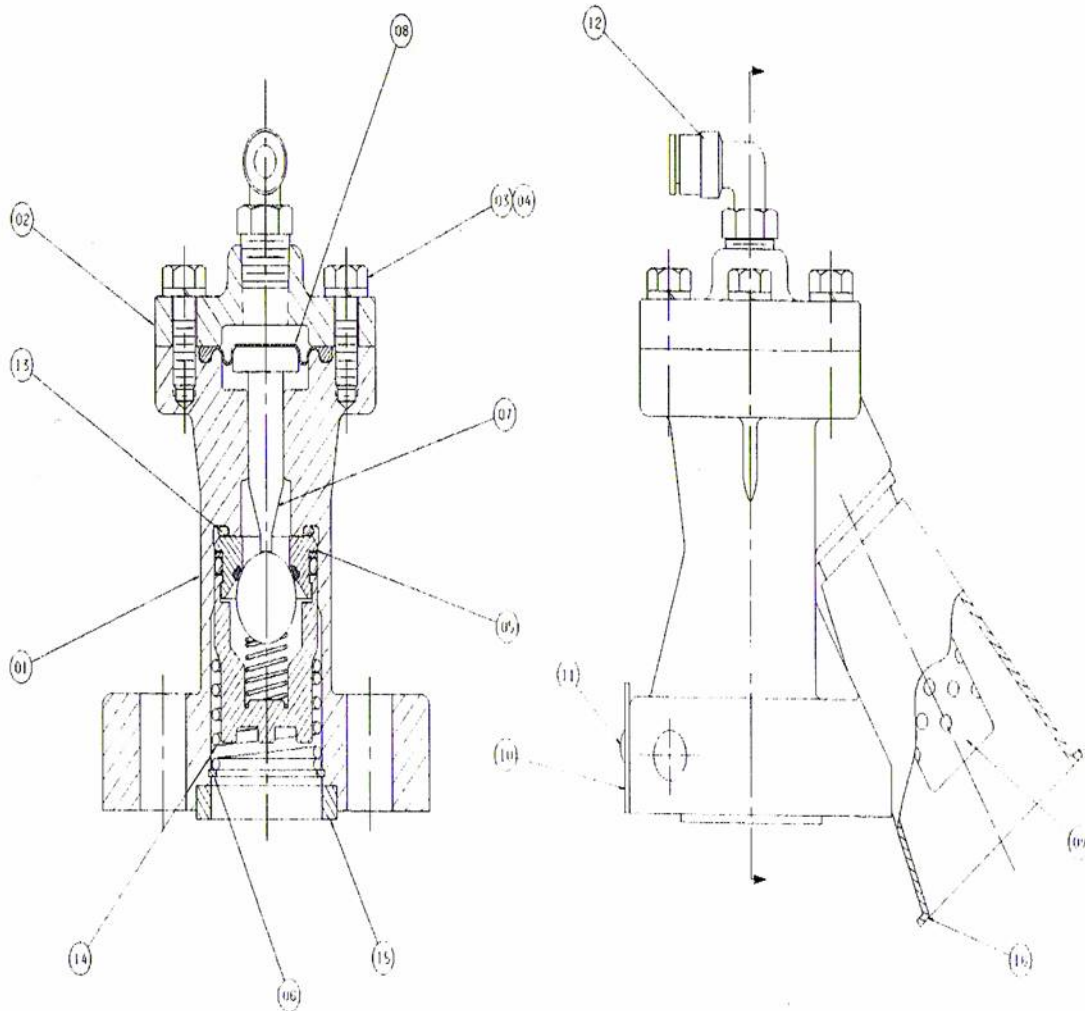


Figura 1.18. Válvula de drenado con silenciador.

La válvula de drenado “R-1” es un tipo de válvula opera por pistón usada para dirigir el flujo del aire. Cuando esta mantenida e instalada adecuadamente en un arreglo de tubería de compresor de aire, o cuando se usa en un arreglo secador de aire, la válvula de drenado deberá operar durante el ciclo de apagado del compresor de aire para permitir el drenado del condensado y también permitir purgar un volumen de aire para que fluya a

través del arreglo secador de aire a la atmósfera. Se tomo la precaución de incluir en la válvula de drenado un silenciador de desfogue.

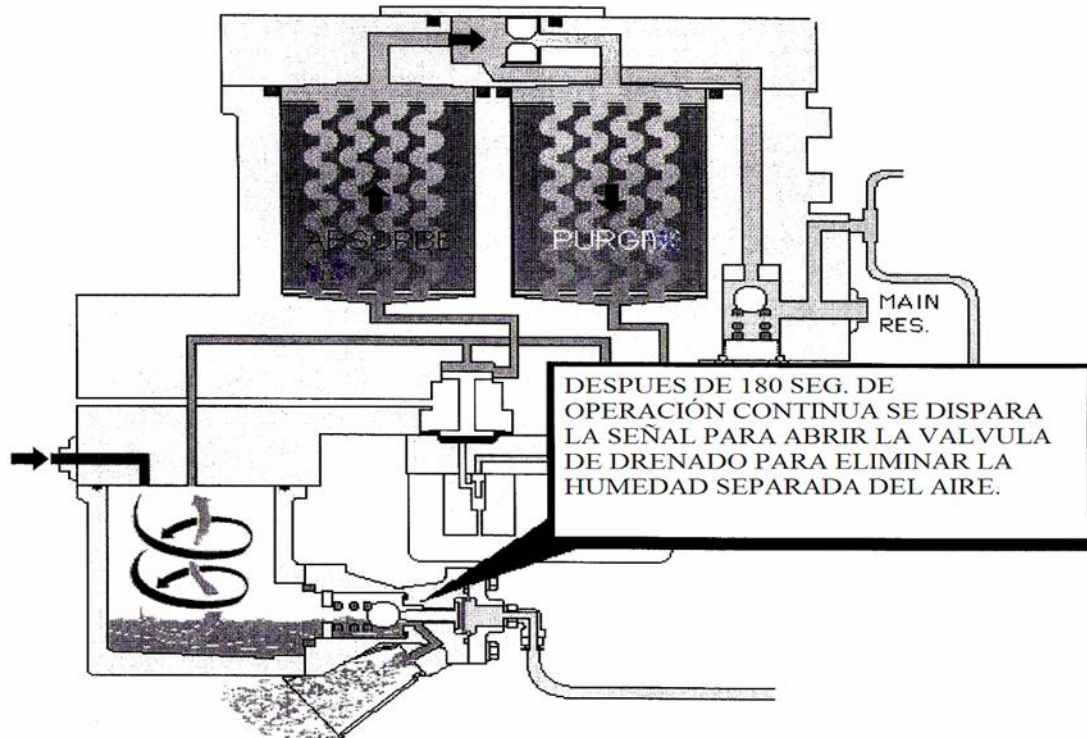


Figura 1.19. Tiempo de drenado.

1.5.3.6. Válvula de seguridad “F-2”.

Las válvulas de seguridad “F-2”, cuando están ajustadas adecuadamente, instaladas en el sistema de aire de la unidad compresora y adecuadamente mantenidas, funcionan para ayudar en la protección del sistema de aire, restringiendo la acumulación excesiva de la presión de aire. Si la presión del aire se eleva en el ajuste de la válvula de seguridad, la válvula abre y desfoga la presión de aire excesiva que se acumulo en el sistema de aire hacia la atmósfera. El ajuste de las válvulas esta sellado en la tuerca de ajuste de la válvula. Las siguientes válvulas de seguridad F-2 se requieren para la unidad compresora de aire del tornillo giratorio.

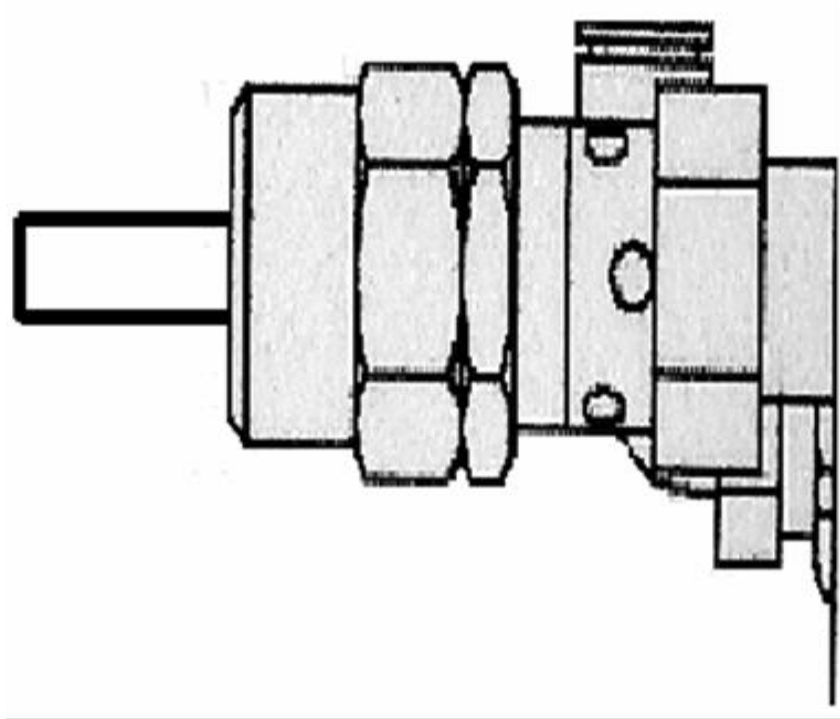


Figura 1.20. Válvula de seguridad.

1.5.3.7. Motor.

El motor de 460 VCA trifásico de 60 Hz acciona la porción de tornillo giratorio por aire, el cual esta diseñado para operar durante periodos limitados de tiempo de servicio continuo en condiciones nominales. El motor acciona al compresor a través de un acoplamiento flexible. El acoplamiento usa dos manguitos de acero y una araña Hytrel.

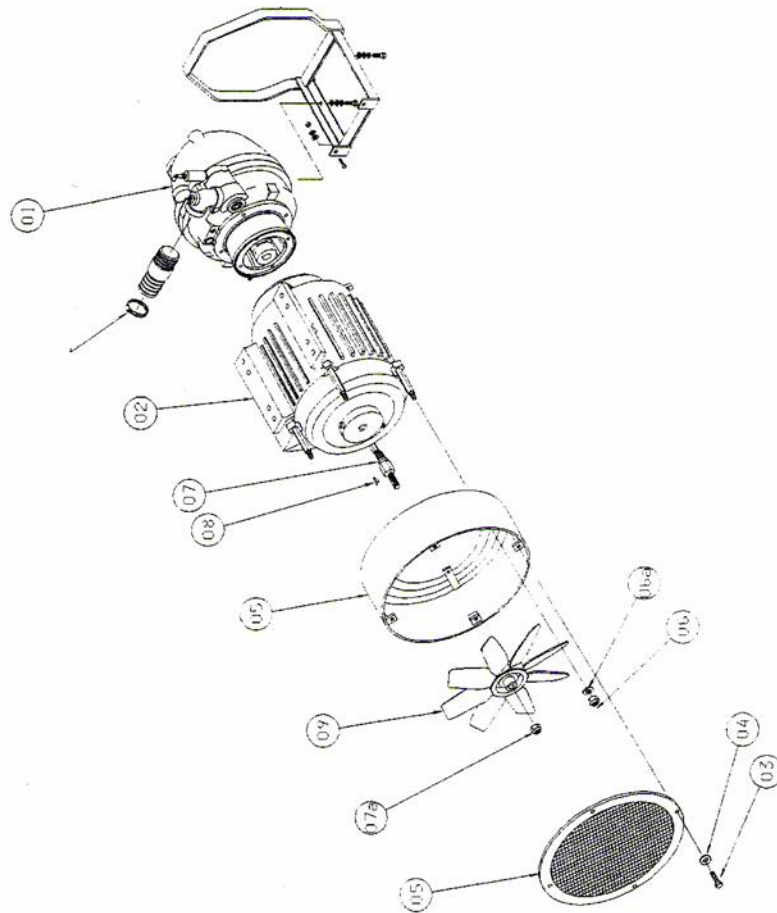


Figura 1.21. Motor.

1.5.3.8. Enfriador de aceite.

El aceite sintético usado para lubricar el tornillo giratorio del compresor es enfriado por el enfriador de aceite, el cual esta ubicado frente al ventilador de la unidad. Este esta montado debajo y esta construido como si fuera un radiador (Ver recuadro rojo en la figura 1.22). Debido a esto, el enfriador de aceite, también usa el aire ambiente que es impelido por el ventilador en su fina tubería. El enfriado del aceite no ocurre, si no hasta que alcanza una temperatura de 65.5 grados centígrados, momento en el cual, una válvula termostato abre y permite el paso del aceite a través del enfriador. Este mantendrá al aceite en o cerca de su temperatura óptima de operación.

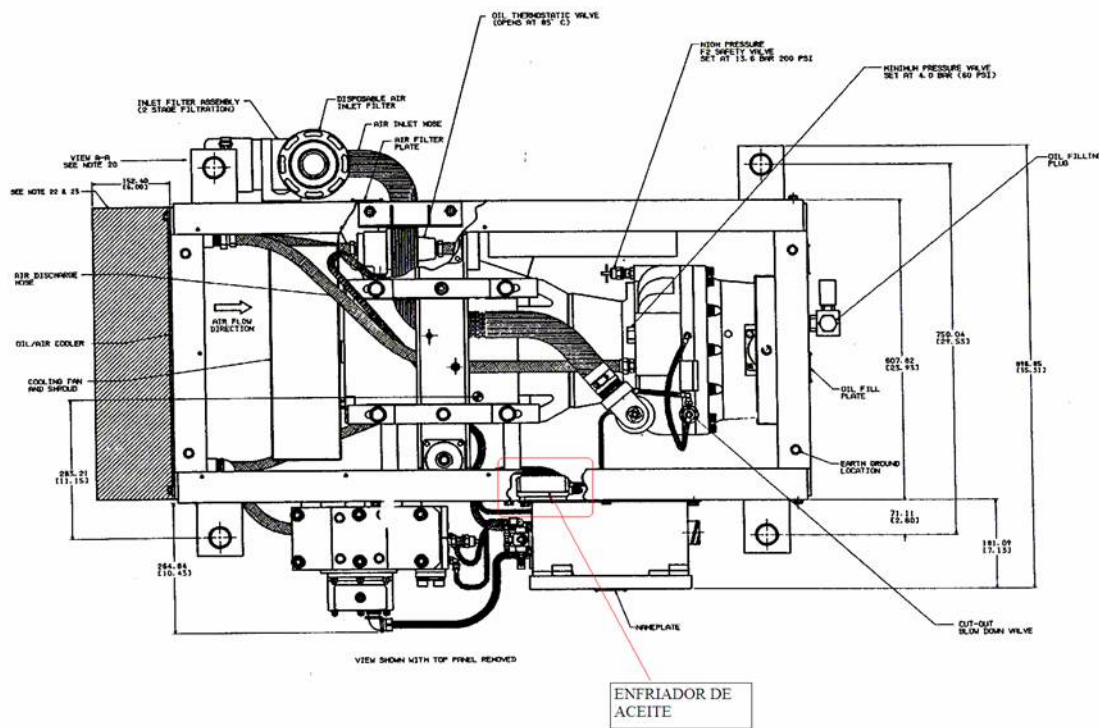


Figura 1.22. Enfriador de aceite. (Recuadro rojo).

1.5.3.9. Radiador.

El enfriamiento del aire comprimido es logrado por el radiador. El aire comprimido que sale por el tubo de descarga, normalmente fluye a través de los finos tubos de aluminio del radiador ubicados en el extremo del ventilador de la unidad. En instalaciones donde el aire ambiental es libre de fluir alrededor de la unidad compresora, se produce una eficiente disipación de calor por el radiador debido a que el ventilador impulsa aire en los finos tubos del radiador. El radiador es con el objeto de reducir la temperatura de la descarga de aire en 12.2°C de la temperatura ambiental. ^[14]

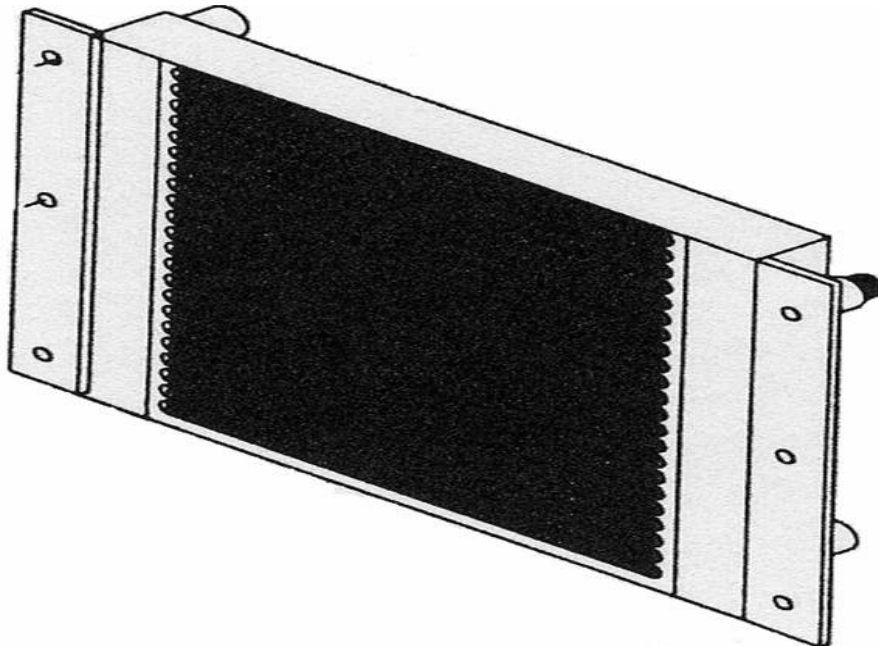


Figura 1.23. Radiador

NOTA:

En este capítulo hicimos una descripción general de los componentes de la unidad motocompresora con la finalidad de darles a conocer un marco teórico de donde es utilizada la unidad inversora que será el tema que desarrollaremos mas a fondo y sistemáticamente en los capítulos siguientes.



CAPITULO 2

ANTECEDENTES DEL INVERSOR.

En este documento se explicaran los principios básicos de una unidad inversora que será usada en un compresor para el sistema de frenos de aire en los trenes del sistema colectivo metro, un punto clave es la compatibilidad electromagnética (EMC²). El sistema de frenos de aire, debe ser electromagneticamente compatible con los requerimientos y con su ambiente externo.

Sin embargo es necesario definir y explicar en qué consiste una Unidad Inversora. Esta es un dispositivo que, invierte el tipo de corriente de Directa a Alterna, o bien en un sistema de corriente continua, a base de baterías a corriente alterna

Existen tipos de "inversores" que corresponden a 2 tipos de sistemas:

2.1. Sistemas no conectados a la red.

Los inversores que no se conectan a la red utilizan la energía de las baterías (12VCC, 24VCC, etc.).^[1]

2.2. Sistemas conectados a la red de distribución eléctrica.

Los inversores que se conectan a la red utilizan la energía directamente de los paneles solares o dispositivos eléctricos como el caso de los statodin (baja energía- 3000 V durante 6 microsegundos con media onda senoidal, alta energía-2400 V durante 25 milisegundos con media onda senoidal) y conectan (por medio de un interruptor de CA) con la red, alimentando energía excedente a la red y haciendo que el medidor dé vuelta al revés.^[2]

[1],[2]. Circuitos Electrónicos para la Ingeniería/Inversores/65

2.3. Inversores o convertidores.

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna, mediante un puente rectificador de diodos. La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra. La frecuencia de la corriente alterna en Europa es de 50 ciclos normalmente, mientras que en México, Estados Unidos, Canadá, y algunos países de centro y Sudamérica utilizan una frecuencia de 60 Ciclos.

Cada ciclo incluye el movimiento de la corriente primero en una dirección y luego en otra. Esto significa que la dirección de la corriente cambia 120 veces por segundo. La corriente alterna suministrada por una compañía eléctrica o por un generador diesel o gasolina es (o debería ser) como lo que se muestra en la figura 1 (línea en color negro). Los cambios en la magnitud de la tensión siguen una ley senoidal, de forma que la corriente también es una onda senoidal. ^[3]

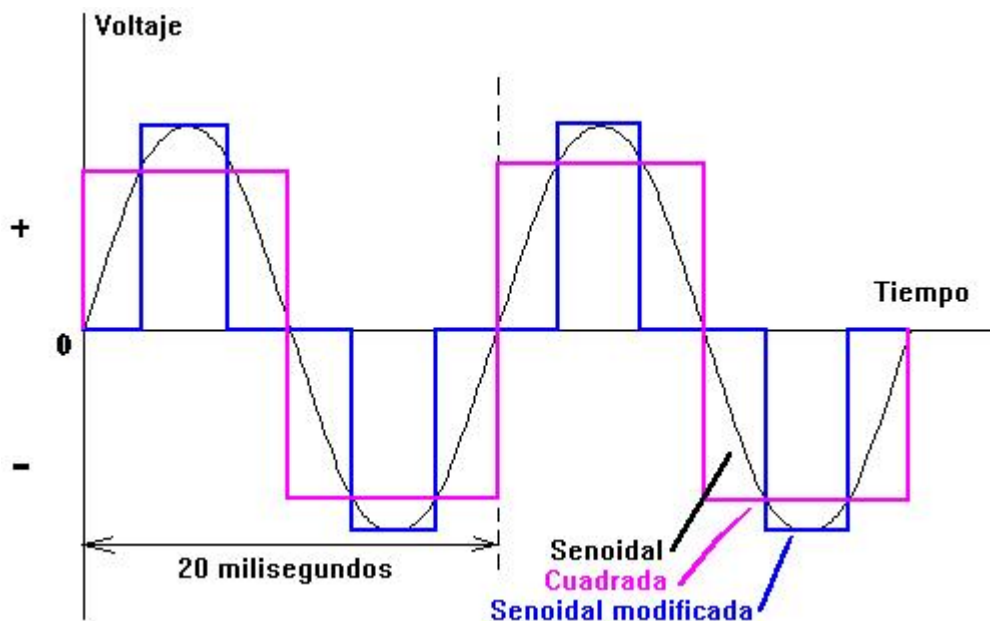


Figura 2.1. Grafica de onda para inversores. ^[4]

[3],[4] Electrónica Industrial Moderna/Amp.Op./124

2.4. Circuito inversor.

El diagrama esquemático del circuito inversor clásico se muestra a continuación. En este diagrama podemos observar que se conecta un rectificador a la batería de 12V para que éste nos de un voltaje fijo de 5V para poder de esta forma alimentar los dispositivos digitales. Existe un multivibrador estable que genera pulsos aproximadamente a 240Hz. Estos pulsos son enviados al conjunto de flip-flop's que dividirán la frecuencia cada uno entre 2 para de esta forma tener pulsos de 60Hz. Estos pulsos alimentan de forma alternada, las bases de los TIP120, que son los transistores que activarán a los transistores de potencia que nos darán la corriente necesaria para general la señal alterna a 120V y 1 A (como el transformador es de 1:10 la corriente que entregan es de aproximadamente 10 A). Estos pulsos son enviados al transformador, el cual elevará el voltaje de 12V a 120V. A la salida del transformador podremos entonces, conectar cualquier dispositivo que no requiera de una señal senoidal y que no consuma más de 1A. (Ej. Computadoras, televisiones, radios, lámparas fluorescentes, etc.) [5]

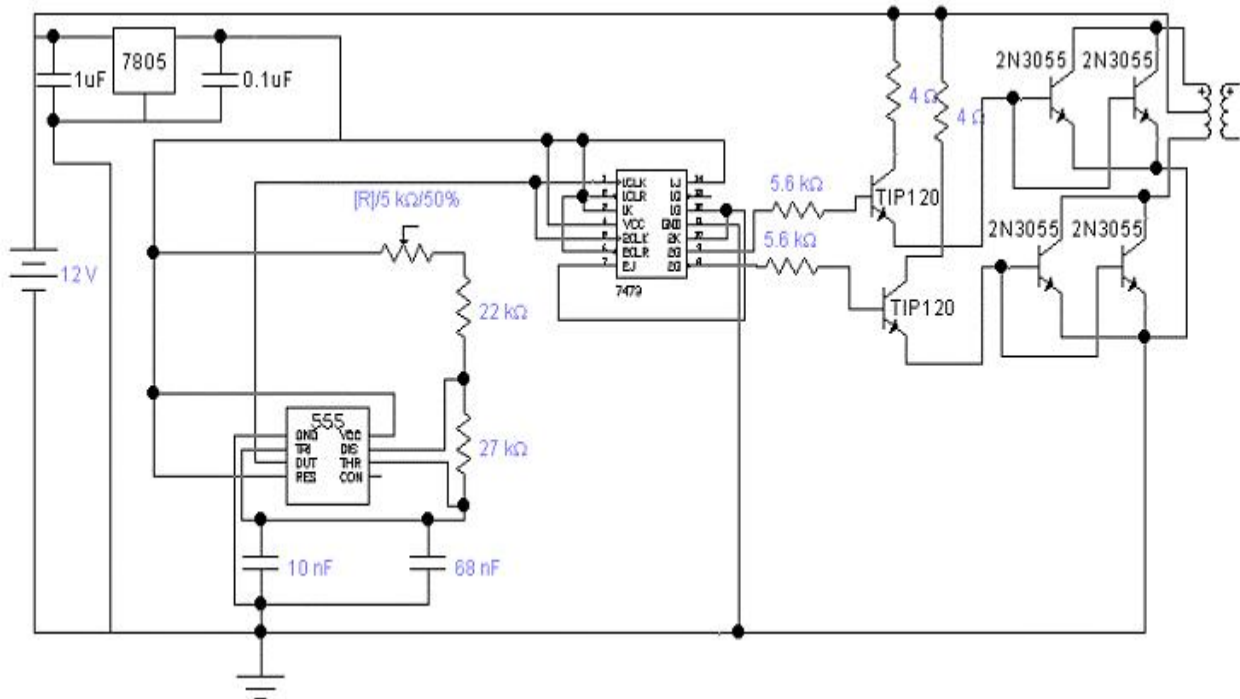


Figura 2.2: Diagrama esquemático del inversor [6]

[5],[6] <http://usuarios.lycos.es/Marciano2000/electronica>.

La conversión de corriente continua en alterna puede realizarse de diversas formas. La mejor manera depende de cuanto ha de parecerse a la onda senoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna.

2.4.1. Inversores de onda cuadrada.

La mayoría de los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente debe actuar con rapidez. A medida que la corriente pasa a través de la cara primaria del transformador, la polaridad cambia 120 veces cada segundo. Como consecuencia, la corriente que sale del secundario del transformador va alternándose, en una frecuencia de 60 ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de onda del secundario es 'cuadrada', representada en la figura 1 (línea color morado).

Como el siguiente ejemplo:

- Mantiene estable la tensión de salida con un margen de un 6% mediante un circuito de realimentación.
- En caso de cortocircuito, se interrumpe al instante el funcionamiento de la etapa de potencia.
- Sensor que detecta si la temperatura interna sobrepasa los valores admisibles. [7]



Figura 2.3: Onda cuadrada 150/600w

[7] Dispositivos Electrónicos/Tipos de Inversores/267



Los inversores de onda cuadrada son más baratos, pero normalmente son también los menos eficientes. Producen demasiados armónicos que generan interferencias (ruidos).

No son aptos para motores de Inducción.

Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador (PC) o un aparato eléctrico pequeño, se puede utilizar este tipo de inversor. La potencia de éste dependerá de la potencia nominal del aparato en cuestión (para un TV de 19" es suficiente un inversor de 200 W).

2.4.2. Inversores de onda senoidal modificada.

Son más sofisticados y caros, y utilizan técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM). El ancho de la onda es modificada para acercarla lo más posible a una onda senoidal. La salida no es todavía una auténtica onda senoidal, pero está bastante próxima. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. Son los que mejor relación calidad / precio ofrecen para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia. Los nuevos inversores de onda senoidal modificada además de producir un tipo de onda de salida adecuada para todas estas aplicaciones, tienen un rendimiento muy elevado (superior al 95%), con lo que apenas se producen pérdidas en la conversión CC/CA.

Gracias a esto es posible disponer de CA a 127 V y 60 Hz para toda la instalación, tanto para electrodomésticos, motores de inducción: taladros, sierras, etc. y naturalmente para toda la iluminación de la vivienda. ^[8]

[8] Dispositivos Electrónicos/Tipos de Inversores/268

2.4.3. Inversores de onda senoidal modificada sm.



SM-250



SM-700



SM-1500. Los SM-2000 y SM-3000 son muy similares

Figura 2.4. inversores de Onda Senoidal Modificada modelo SM

2.4.3.1. Funcionamiento.

Los inversores de onda senoidal modificada SOLÉNER cubren prácticamente todas las necesidades de las instalaciones domésticas y semiprofesionales. Son equipos muy resistentes, de alta fiabilidad y elevado rendimiento, que garantizan un funcionamiento sin problemas si se respetan sus especificaciones técnicas.



	SM-250	SM-700	SM-1500	SM-2000	SM-3000
Tensión nominal	12/24Vdc	12/24Vdc	12/24Vdc	12/24Vdc	24Vdc
Rango de tensión de entrada	según pedido	según pedido	Según pedido	según pedido	según pedido
Frecuencia	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Regulación de frecuencia	0,1%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Potencia (30 minutos) *	400W	1000W	2000W	2500W	3300W
Potencia (continua) *	250W	700W	1500W	2000W	2800W
Tensión de salida (RMS)	230Vac	230Vac	230Vac	230Vac	230Vac
Regulación de tensión	5%	5%	5%	5%	5%
Potencia pico (resistiva) *	1000W	1500W	2500W	3000W	4000W
Potencia pico (motores) *	1/6 C.V.	1/4 C.V.	1/3 C.V.	1/2 C.V.	3/4 C.V.
Rendimiento a la potencia nominal	83%	87%	90%	91,3%	93%
Rendimiento máximo	88%	92%	95,6%	96,6%	97%
Consumo en vacío	60mA	70mA	80mA	100mA	100mA
Dimensiones (mm)	250/220/80	240/220/150	405/280/215	405/280/215	405/280/215
Peso (kg)	4,5	7,8	20	25	24

Tabla 2.1. Potencias de equipo.

2.4.3.2. Especificaciones técnicas de la serie sm.

- Están protegidos contra cortocircuito, sobrecarga electrónica, sobrecarga térmica, batería alta y batería baja.
- Todos los modelos incorporan un circuito electrónico de detección automática de carga, que reduce la tensión de salida (y por tanto el consumo en vacío) cuando no detecta ninguna carga conectada.



- La caja está construida en acero inoxidable y aluminio anodizado.
- Existen dos versiones que difieren en la rotulación: una está pensada para colocar el inversor sobre una superficie horizontal (estante) y la otra para cuando se fija a una vertical (pared). La fotografía corresponde a esta última versión.

Bajo pedido, los modelos de 1.500, 2.000 y 3.000 volts pueden funcionar también como cargadores de batería, e incorporan un dispositivo de selección automática de la fuente de corriente alterna. ^[9]

2.4.4. Inversores de onda senoidal pura.

Con una electrónica más elaborada se puede conseguir una onda senoidal pura. Hasta hace poco tiempo estos inversores eran grandes y caros, además de ser poco eficientes (a veces sólo un 40% de eficiencia).

Últimamente se han desarrollado nuevos inversores senoidales con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como telecontrol, cómputo de energía consumida, selección de batería, etc. Sin embargo su costo es mayor que el de los inversores menos sofisticados y que formarán parte de nuestra investigación.

[9] <http://www.solener.com/sm1500.html>

- Elevado rendimiento y potencias puntuales de hasta un 300%.
- Estabilidad 7%.
- Pulsador de puesta en marcha y paro.
- Posibilidad de funcionamiento en manual o automático.
- Led indicador de tensión de batería.
- Led que indica sobrecarga en consumo.
- Led de temperatura. ^[10]



Figura 2.5. Inversor de Onda Senoidal Pura 12/24/48/120V 450/4.200VA

[10] Manual de Especificaciones Técnicas Marca TAURO.



Puesto que sólo los motores grandes de inducción y los más sofisticados aparatos o cargas requieren una forma de onda senoidal pura, normalmente es preferible utilizar inversores menos caros y más eficientes. Dentro de poco tiempo el costo de los inversores senoidales se acercará al de los otros, popularizándose su instalación.

- Estabilidad: $\pm 5\%$
- Carga en tres etapas con sensor de temperatura.
- Accesorios para funcionamiento remoto.
- Inversor /Cargador.



Figura 2.6. Inversor de Onda Senoidal Pura 12/24/48V 1.500/5.000VA ^[11]

[11] www.mkar.com/inversores/combdk.



2.4.4.1. Aplicaciones.

El tipo de inversor a emplear depende de la aplicación que se le vaya a dar. Así por ejemplo, si se desea corriente alterna únicamente para dar energía a un televisor o un ordenador, y algún aparato eléctrico pequeño, se puede utilizar un inversor de onda cuadrada o senoidal modificada. Pero si se trata de dar energía a electrodomésticos tales como una lavadora, un refrigerador, o algún motor de CA, que necesitan para su correcto funcionamiento una fuente con salida en forma de onda senoidal, entonces es preciso utilizar inversores de onda senoidal.

2.5. Frecuencia de la corriente en un inversor.

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra. Cada ciclo incluye el movimiento de la corriente primero en una dirección y luego en otra. Esto significa que la dirección de la corriente cambia 120 veces por segundo.

2.6. Diferentes formas de onda en corriente alterna (60Hz).

La corriente alterna suministrada por una compañía eléctrica o por un generador diesel o gasolina es (o debería ser) como la que se muestra en la figura 1 (Pag. 10) en color negro. Los cambios en la magnitud de la tensión siguen una ley senoidal, de forma que la corriente también es una onda senoidal. La conversión de corriente continua en alterna puede realizarse de diversas formas. La mejor manera depende de cuanto ha de parecerse a la onda senoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna.

2.7 ¿Como se dimensiona un inversor?

Los inversores deben dimensionarse de dos formas. La primera es considerando los watts de potencia eléctrica que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal de forma continua.

Los inversores son menos eficientes cuando se utilizan a un porcentaje bajo de su capacidad. Por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la de la carga de consumo.

La segunda forma de dimensionar el inversor es mediante la potencia de arranque. Algunos inversores pueden suministrar más de su capacidad nominal durante períodos cortos de tiempo. Esta capacidad es importante cuando se utilizan motores u otras cargas que requieren de 2 a 7 veces más potencia para arrancar que para permanecer en marcha una vez que han arrancado (motores de inducción, lámparas de gran potencia).

[13]



Figura 2.7: Balastro Electrónico para Lámpara Fluorescente, encendido Rápido e Instantáneo. ^[14]

[13][14]. <http://mitecnologico.com/Main/ElectronicaDePotencia>

Cuando se usa un balastro con lámparas de Encendido Rápido se tiene un encendido suave y virtualmente instantáneo, ya que en unos dos segundos se tiene las lámparas operando a plena brillantez. Las lámparas que se clasifican como de encendido rápido, introducidas al mercado en 1952, cuentan con cátodos que deben permanecer activados por el balastro, sin el uso de arrancador, mientras dure encendida la lámpara.

El balastro tiene ínter contruidos unos devanados que alimentan los cátodos haciendo que estos al calentarse, emitan un flujo de electrones, preparando la lámpara para encender. La tensión de encendido proporcionada por el balastro establece un arco a través de la lámpara, permitiendo que esta encienda. Debido a que los cátodos de las lámparas de Encendido Rápido están permanentemente calentados, se requiere un voltaje de encendido menor que para las lámparas de Encendido instantáneo.^[15]



Figura 2.8: Balastro para Lámparas de encendido Rápido.

[15]. <http://mitecnologico.com/Main/ElectronicaDePotencia>



CAPITULO 3

AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO.

El propósito de este documento es el de establecer una programación y método que defina como trabajar para el cumplimiento de la EMC² de la unidad inversora. Este documento especifica objetivos, actividades e informes, la organización de la EMC² y la identificación de los participantes en este trabajo.

También como punto importante de esta especificación es facilitar el diseño, fabricación y adquisición de la unidad inversora para operar una unidad de compresor de aire. La unidad compresora es una unidad de tornillo giratorio operada directamente por un motor de CA. La unidad inversora convertirá el voltaje de alimentación de CD en un voltaje de CA 3 fases, 60 Hz para ser usado directamente por el motor de CA sin ser necesarios arrancadores o contactores.

3.1. Definición.

El ambiente electromagnético es definido para cada componente del sistema basado en su ubicación. Los componentes del inversor están distribuidos en las siguientes áreas:

- Bajo el bastidor (área central)

El EME¹ del carro es caracterizado por los dispositivos electrónicos de bajo consumo de energía y cables asociados, dispositivos llevados por el personal (radio comunicadores...) y los dispositivos electrónicos llevados por los pasajeros (PCs, dispositivos de comunicación inalámbricos,...) típicos de un ambiente industrial ligero. Una atención especial será dada a las posibles interferencias con otro sistema cercano a la proximidad del bajo bastidor tales



como los sistemas ATC y el ACSES. También dispositivo de alta potencia eléctrica tales como motores de tres fases y líneas de energía de CD de alto voltaje alta corriente.

La siguiente tabla muestra los valores típicos, que describen los ambientes electromagnéticos que pueden encontrarse en los sistemas de transporte rápido.

FENÓMENO	DESCRIPCIÓN
Campos Magnéticos de Baja Frecuencia	30A/m 0-100Hz 30n A/m: 0.1 – 3 kHz Donde n=armónica de la frecuencia de alimentación
Campos Eléctricos de Baja Frecuencia (cerca de las líneas de alimentación)	20,000 V3m: 0-100 Hz
Alta Frecuencia conducida, onda continua inducida	10V, 70mA 10kH-150Mhz 30V, 210mA 150kH-27 Mhz 3V, 21mA 27kH-150 Mhz
Alta Frecuencia conducida Transitorios de onda continua	2kV, 5ns Tr; duración 50ns 4kV, 1ns Tr; duración 50ns
Transitorios de Alta Frecuencia resonantes	2Kv, 50ns Tr; duración 5ns; 0.5-5Mhz 2Kv,0.5ns Tr; duración 20ns; 5-500kHz .5 vpk, 1.5ns Tr; duración 3 ms 0.2-5khz
Alta Frecuencia Radiada (cw)	30V/m 9khz-27Mhz 10V/m 27Mhz-1000Mhz 3V/m 1000Mhz-40Ghz
HF radiada (pulsada)	100V/m/s, 100-500ns Tr 100V/m/s, 1ns Tr

Tabla 3.1. Datos ideales para un inversor.



3.2. Plan EMC².

El método ABC hacia la integración EMC² esta basado en una evaluación y control de los impactos de cada subsistema en el ambiente electromagnético generado por los componentes del sistema y por las características electromagnéticas del ambiente en área de operación.

El EMC² es considerado en términos de emisión e inmunidad, conducciones y radiación.

3.2.1. EMI³ conducido.

La generación de ruido conducido en modo diferencial es reducido para seleccionar el corte de frecuencia del filtro limitador de transitorios en 100Hz y la bobina de filtrado de salida en 6kHz, el cual esta por debajo de la frecuencia de cambio (20kHz).

3.2.2 EMI³ radiado.

Ambos ruidos conducido y radiado son reducidos aun mas por el diseño apropiado de las técnicas de aterrizamiento, tales como un plano de tierra “limpio”. Este plano de tierra es una línea separada para el filtro EMI³ de entrada y de salida y tiene una conexión de tierra sencilla a la tierra común. Esto asegura que la tierra común sea una tierra real. La radiación EMI³ de los radiadores y el transformador son reducidos por un aterrizamiento eléctrico solidó.



3.3 Lista de revisión.

Con el objeto de seguir la lista de revisión del plan de control EMC² que proporciona las acciones realizadas para minimizar el problema EMC² se dan en el apéndice A.

3.4 Programa de pruebas.

Para asegurar la compatibilidad conforme al EME, el diseño del inversor será verificado con el programa de pruebas EMI³ siguiente.

		Estándar de pruebas* de EU	Estándar de pruebas* de EEUU
PRUEBAS DE EMISIÓN			
Emisiones radiadas 30Mhz – 1000Mhz	D	EN 55011	FCC Parte 15 Clase A
Armónicos de frecuencia de energía, CD-20khz	D	(2)	(2)
Emisiones conducidas, 20khz – 150khz	D	EN 55011	CISPR 11
Emisiones conducidas 0,15Mhz – 30Mhz		EN 55011	FCC Parte 15 Clase A
PRUEBAS DE INMUNIDAD			
Inmunidad radiada 26Mhz – 1000Mhz (1)	D	EN 50140	IEC 1000-4-3 (3)
Inmunidad a la descarga electrostática	D	EN 61000-4-2	IEC 1000-4-2 Nivel 2
Inmunidad al campo magnético de la frecuencia de energía	D	EN 61000-4-8	IEC 1000-4-8 Nivel 4
Campo magnético oscilatorio amortiguado		EN 61000-4-10	IEC 1000-4-10 Nivel 4
Fluctuaciones de la línea de energía	D	EN 50155	IEC 1000-2-2
Perturbación conducida 0,15Mhz – 80Mhz	D	EN 50141	IEC 1000-4-6
Incremento rápido de los Transitorios	D	EN 61000-4-4	IEC 1000-4-4 Nivel 4
Inmunidad a los picos de voltaje	D	EN 61000-4-5	IEC 1000-4-5 Nivel 4

Tabla 3.2. Códigos de prueba.



- Notas:
- D = Solo se requiere los datos de prueba
 - C = Cumplimiento con las pruebas es requerido
 - * = Otras normas de prueba pueden ser requeridas basado en los requerimientos del contrato. El coordinador de EMC las establecerá.
 - (1) = Limite de la prueba extendida a 26Mhz – 1000Mhz de acuerdo a IEC 1000-4-3
 - (2) = Mediciones de armónicos requeridos de bajo de 10khz y a frecuencias de señalamiento. Consulte con el coordinador de EMC².
 - (3) = A ser aprobado a un nivel de 30 V/m



4.2. Especificación.

El propósito es facilitar el diseño de una unidad inversora para operar una unidad de compresor de aire. La unidad inversora convertirá el voltaje de alimentación de CD en un voltaje de CA 3 fases, 60 Hz para ser usado directamente por el motor de CA sin ser necesarios arrancadores o contactores.

Condiciones de operación: el inversor debe ser diseñado para operar correctamente en todo el rango de condiciones.

Rango de temperatura	23°F a 158 °F (-5°C a 70°C)
Humedad relativa	5% a 100% condensable

4.3. Rango de voltaje de alimentación.

Voltaje Nominal 750 VCC
Voltaje Mínimo 500 VCC
Voltaje Máximo 900 VCC

El diseño del inversor debe ser capaz de operar en el rango de voltaje especificado anteriormente y proporcionar el voltaje de salida de CA requerido.

El voltaje fuera de los rangos de entrada especificados debe de provocar que el inversor se apague, hasta que el voltaje de entrada se restablezca, al mismo tiempo el inversor arrancara.

4.4. Fluctuaciones en el voltaje de alimentación al tercer riel.

Baja energía- 3000 volts durante 6 microsegundos con media onda senoidal

Alta energía- 2400 volts durante 25 milisegundos con media onda senoidal. Ver diagrama de circuito en la grafica.

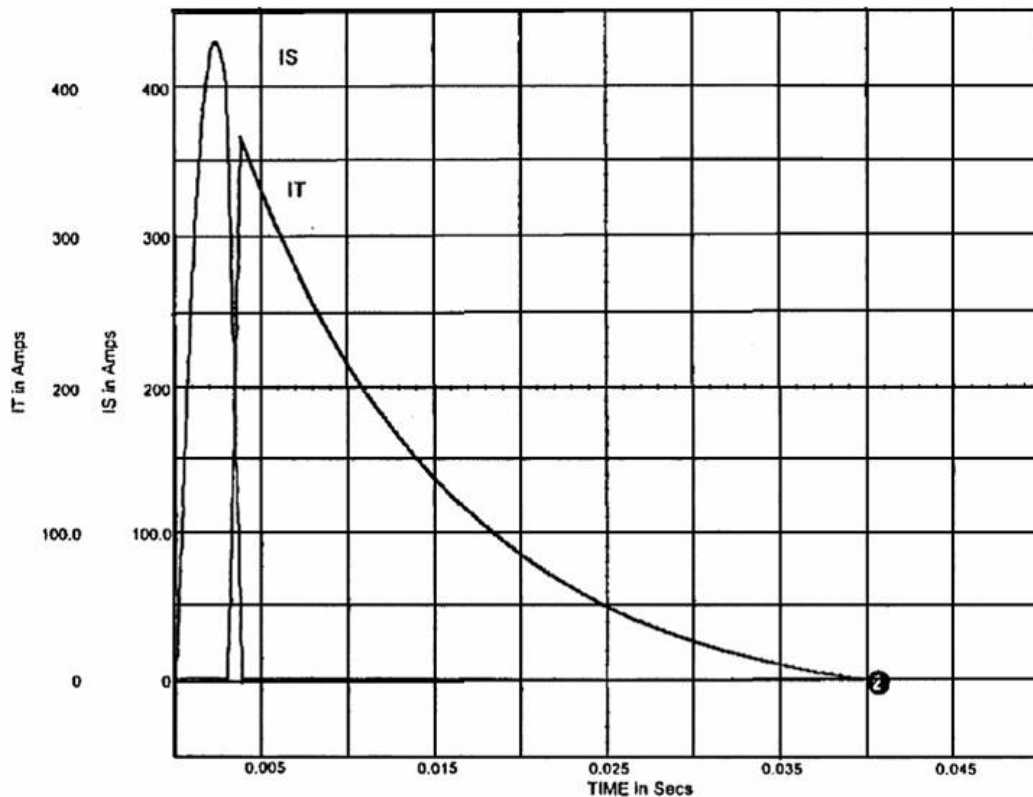


Figura 4.2. Onda Senoidal.

4.5. Separación entre rieles.

El voltaje de alimentación nominal del tercer riel es periódicamente interrumpido por separaciones en el tercer riel. Las separaciones entre rieles ocasionan interrupciones en la alimentación con duraciones entre 65 milisegundos a 20 segundos cuando el carro y/o tren que se ha detenido sobre una separación de riel o una protuberancia en el tercer riel.



Otros sistemas que usan el tercer riel como punto de alimentación tendrán ambos circuitos: de supresión de fluctuaciones y de almacenamiento de energía como parte de sus circuitos de entrada. El voltaje del tercer riel puede o no bajar a cero volts instantáneamente en las separaciones de riel. Además, las fluctuaciones serán generadas en cada separación de riel.

Durante un día normal en la ciudad de México, un tren realiza aproximadamente 4 vueltas durante las cuales habrá 600 separaciones de riel el tren será usado un promedio de 50 semanas por año y 6 días por semana durante un año. Esto significa que el carro cruzara aproximadamente 180,000 separaciones de riel por año. Estas separaciones de riel no deben de provocar efectos importantes en el inversor

4.6. Voltaje de salida.

El voltaje de salida del inversor será de 460 VCA

Las características para el motor de 460 VCA son las siguientes:

Voltaje	460 VCA
Fases	3
Frecuencia	60Hz
Polos	2
Caballos de fuerza	15
Velocidad	3525 r.p.m. a plena carga
Corriente	17.5 A a plena carga
Corriente de empuje	120 A durante 10 milisegundos
Factor de servicio	1.15

La operación del inversor debe de tomar en consideración las curvas de operación del motor.



4.7. Voltaje de alimentación de batería.

Voltaje nominal	75 VCD
Voltaje mínimo	50 VCD
Voltaje máximo	85 VCD

La circuitería del inversor detectara el voltaje de entrada y la corriente de salida y apagara el inversor si los limites para cada uno de estos esta fuera de rango.

El inversor se apagara si el voltaje de entrada es demasiado bajo (<500 VCD) o demasiado alto (>900 VCD). El inversor indicara cuando suceda esto mediante un led en la placa de circuito impreso del inversor y mediante una señal digital al exterior aislada de la batería.

El inversor se apagara si la corriente de salida excede de un valor específico. El inversor indicara cuando esto sucede mediante un led en la placa de circuito impreso y al exterior mediante una señal digital aislada de la batería.

4.8. Operación del inversor.

El inversor empleara el voltaje de tercer riel como su fuente de alimentación para operar el motor y la batería como su fuente de alimentación para los circuitos de control.

El inversor recibirá una señal desde el compresor que indique que la presión del tanque principal (MRP) es menor que el valor preseleccionado y que el motor del compresor debe de tener voltaje aplicado para que empiece a girar y que el compresor comprima aire y alimente a los tanques de almacenamiento. Esta señal



esta a nivel de batería cuando se solicita que el motor opere. Cuando esta señal es igual a 0 volts mediante un contacto abierto de presostato, el voltaje se desconecta del motor de compresor.

El inversor debe de operar una válvula solenoide para vaciar la presión interna del compresor. Cuando esto se hace el motor podrá iniciar a girar con muy poca corriente. Esta válvula solenoide debe de estar energizada cuando el motor este desenergizado, en operación normal o cuando el voltaje del tercer riel desaparece por cualquier motivo o si el inversor se apaga debido a fluctuaciones o por cualquier otra razón. La válvula solenoide debe de estar desenergizada por un mínimo de 2 segundos (este es el tiempo requerido para aliviar la presión del compresor. El motor puede ser arrancado y llevarse a velocidad normal en un periodo menor a 2 segundos y cuando la válvula solenoide sea energizada.

El compresor de aire típicamente opera en un periodo de trabajo de 5 minutos a 60% de arranque/paro, esto es, durante la operación normal del tren el compresor proporciona aire comprimido durante 3 minutos y se apaga durante 2 minutos durante un periodo de trabajo de 5 minutos.

El diseño del inversor debe ser tal que el inversor pueda operar bajo condiciones de plena carga de forma continua. Se permite enfriamiento pasivo de los elementos semiconductores. Las aletas del disipador de calor pueden ser colocadas en el flujo de aire generado por el ventilador del compresor. No se permite enfriamiento mediante líquido o un ventilador interno.

El inversor puede si se requiere, reducir la corriente de alimentación para realizar un arranque suave del motor del compresor. El tiempo de arranque suave no debe de ser mayor de 1 a 2 segundos.



El compresor vigila la presión del depósito principal mediante un presostato. El presostato determina cuando el compresor debe de operar. Si la presión del depósito principal cae por debajo de 6.8 bars, los contactos del presostato cierran y suministran 75 VCD al inversor esto indica al inversor que es necesaria presión. El inversor arranca suavemente al motor y lo lleva a velocidad. El inversor energiza luego a la válvula solenoide la cual provoca que la válvula de drene cierre y permita que el compresor comprima aire y lo suministre al depósito principal. El presostato continúa vigilando la presión del depósito principal. La presión en el depósito principal se incrementará mientras que el compresor este comprimiendo aire. Cuando esta presión alcanza 8.2 bars, el contacto del presostato abrirá y cortará la alimentación de 75VCD al inversor. El inversor cortará el suministro de 750 VCD al motor y el compresor detendrá la compresión de aire el inversor desenergizará a la válvula solenoide la cual abrirá a la válvula de drene, liberando la presión de la porción de aire. La misma señal de 75 VCD que va al inversor para indicarle que arranque al motor también va al temporizador del secador del aire para iniciar las funciones de conteo. La única función de conteo provoca que las torres cambien del secado del aire comprimido o siendo purgadas de humedad a siendo purgadas o secando al aire comprimido respectivamente. La otra función del temporizador es operar a la válvula de drene si el compresor trabaja continuamente durante más de 180 segundos. Ambos el inversor y el temporizador son unidades electrónicas con placas de circuito impreso que ya han sido diseñadas y aprobadas en preparación para producción. No pueden ser modificadas para aceptar señales conectadas a tierra sin tener que realizar un rediseño significativo y pruebas.

El inversor recibe una señal del compresor que indica que la presión del depósito principal (MRP) es inferior de la presión de arranque como es detectado por el presostato en la caja de control y el motor de del compresor debe ser arrancado para que el compresor suministre aire a los tanques.



El inversor tiene una característica de “arranque suave” que permite arrancar al motor incrementando gradualmente su velocidad desde cero a plena velocidad, reduciendo así el esfuerzo mecánico y eléctrico del sistema. Tomo cerca de 1.6 segundos para lograr la plena velocidad.

El inversor tiene la habilidad de discontinuar su operación si se detecta cualquier condición de operación anormal. Estos incluyen:

- Voltajes de entrada fuera del rango normal (menor de 500V y mayor que 900V).
- Sobrecarga de la salida
- Salida cortocircuitada
- Sobrecalentamiento
- Falla de aislamiento del motor

4.8.1. Continuación de operación.

El voltaje de batería es suministrado a la unidad.

La fuente de alimentación del controlador reanuda la operación (indicado por un diodo LED en el modulo controlador) y la inicialización de los componentes de control es realizada en una secuencia de arranque definida con precisión.

Es realizada la conexión al voltaje del tercer riel.

Los capacitares de entrada son cargados mediante el diodo de entrada y el inductor de entrada. La corriente de entrada es limitada por el inductor.

Es detectado el nivel de voltaje del capacitor principal. Si el voltaje esta dentro del rango de operación normal (500-900), el inversor esta listo para operar. Este hecho es indicado por las señales al nivel de modulo.



4.8.2. Operación normal.

El sensor MRP (es el que monitorea la presión de aire en el depósito del motocompresor) activa la señal de ARRANQUE de baja presión.

El inversor reanuda la operación generando un tren de pulsos de Ancho de Pulso Modulado con la frecuencia fundamental aumentando gradualmente de 6 a 60 Hz. El incremento de la frecuencia dura alrededor de 1.6 segundos. Después de que termina el incremento de la frecuencia, la válvula solenoide que controla a la válvula de drene del compresor se energiza e inicia el proceso de compresión. La válvula solenoide esta ubicada en la caja de control.

Cualquier variación del voltaje del tercer riel es monitoreado en los capacitores de entrada que permanece en el rango de (500-900V) resulta en acciones correctivas del controlador. La magnitud del voltaje del motor permanece inalterable.

La señal de ARRANQUE es desactivada cuando la MRP alcanza la presión de corte y el contacto de presostato en la caja de control abre. El inversor es detenido y la válvula solenoide es desenergizada provocando que la presión en la porción de aire del compresor sea liberada por la válvula de drene. El compresor es así preparado para su operación siguiente.

4.8.3. Operación a través de las separaciones de riel.

Ocurren separaciones de riel de corta duración (menos de 0.3 segundos).

El inversor continua operando hasta que el voltaje del capacitor de entrada cae por debajo de 500 V, lo cual ocurre después de cerca de 20 mseg. En este punto se realiza el apagado del inversor y se inicia el temporizador de las separaciones del riel. Si reaparece el voltaje del tercer riel en menos de 0.3 seg. , el inversor es reactivado sin el procedimiento de “arranque suave”.



Ocurren separaciones de riel de larga duración:

Si la separación de riel dura más de 0.3 seg. , como se indica en el temporizador de separaciones, después de la reaparición del voltaje, el inversor es restablecido por medio del procedimiento de “arranque suave”.

El voltaje del tercer riel se sale del rango normal (500-900 V).

En ambos casos el inversor se apaga. El inversor permanece inactivo tanto como dure la conexión que lo origino. Este hecho es indicado por las señales a nivel de modulo “bajo voltaje” y “Sobre voltaje” y LED’s. Después de que el voltaje se normaliza, el inversor es restablecido usando el procedimiento “arranque suave”.

El voltaje de restablecimiento del inversor para una condición de “bajo voltaje” es 560 V. el voltaje de restablecimiento del inversor para una condición de “sobre voltaje” es 860 V.

4.9. Características físicas del inversor.

4.9.1. Protección ambiental.

El gabinete del compresor debe de ser diseñado como un gabinete NEMA 4X para protegerlo contra lluvia, rociaduras de agua, chorro de agua y brisa de agua.

4.9.2. Envoltura.

El inversor debe de ser diseñado para ser tan compacto como sea posible. Seria preferible que el inversor pudiera ser montado al costado del compresor de aire WRS-42AC para minimizar el problema de espacio en el vehiculo. Las dimensiones del gabinete del inversor no deben de ser mayores que 18x20x7 pulgadas (457x508x178 mm).



4.9.3. Peso.

El inversor debe ser diseñado para ser lo más liviano posible con peso total no mayor de 59 Kg., este esta instalado debajo del lado derecho a partir del segundo vagón del metro

Los requerimientos de mano de obra se especifican por el contrato específico con el constructor y el dueño del carro. El diseño del inversor debe usar tecnología actual.

4.9.4. Fiabilidad.

La fiabilidad de los componentes es normalmente una cuestión de diseño o especificación de la que debe ser responsable el personal de diseño de ingeniería. No obstante, el personal de compra puede ser capaz de mejorar los componentes de los sistemas estando al corriente de los productos y esfuerzos de investigación de los proveedores. El personal de compras también puede contribuir directamente a la evaluación de la actuación del proveedor.

4.9.5. Mejorar los componentes individuales.

Cuando el número de componentes en serie aumenta, la fiabilidad de todo el sistema disminuye rápidamente.

Para medir la fiabilidad de un sistema en el que cada parte o componente individual puede tener su propia tasa de fiabilidad, no podemos utilizar la curva de fiabilidad. El método para calcular la fiabilidad del sistema (R_s) es sencillo. Consiste en hallar el producto de las fiabilidades individuales:



$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n$$

Donde:

R_1 = fiabilidad del componente 1

R_2 = fiabilidad del componente 2, etc.

La ecuación asume que la fiabilidad de un componente individual no depende de la fiabilidad de los otros componentes (es decir, cada componente es independiente). Además, las fiabilidades son presentadas como probabilidades.

La fiabilidad de los componentes es normalmente una cuestión de diseño o especificación de la que debe ser responsable el personal de diseño de ingeniería. No obstante, el personal de compra puede ser capaz de mejorar los componentes de los sistemas estando al corriente de los productos y esfuerzos de investigación de los proveedores. El personal de compras también puede contribuir directamente a la evaluación de la actuación del proveedor.

La unidad básica de medida de la fiabilidad es la tasa de fallo del producto (FR, del inglés, failure rate). La tasa de fallo mide el porcentaje de fallos entre el número total de productos probados, FR (%), o un número de fallos durante un período de tiempo FR (N):

$$FR (\%) = (\text{número de fallos} / \text{número de unidades probadas}) \times 100$$

$$FR (N) = \text{número de fallos} / \text{número de unidades-horas del tiempo de operación}$$

Quizá el término más común en el análisis de la fiabilidad es el **tiempo medio entre fallos** (MTBF¹⁵), que es el recíproco de FR (N):

$$MTBF^{15} = 1 / FR (N)$$

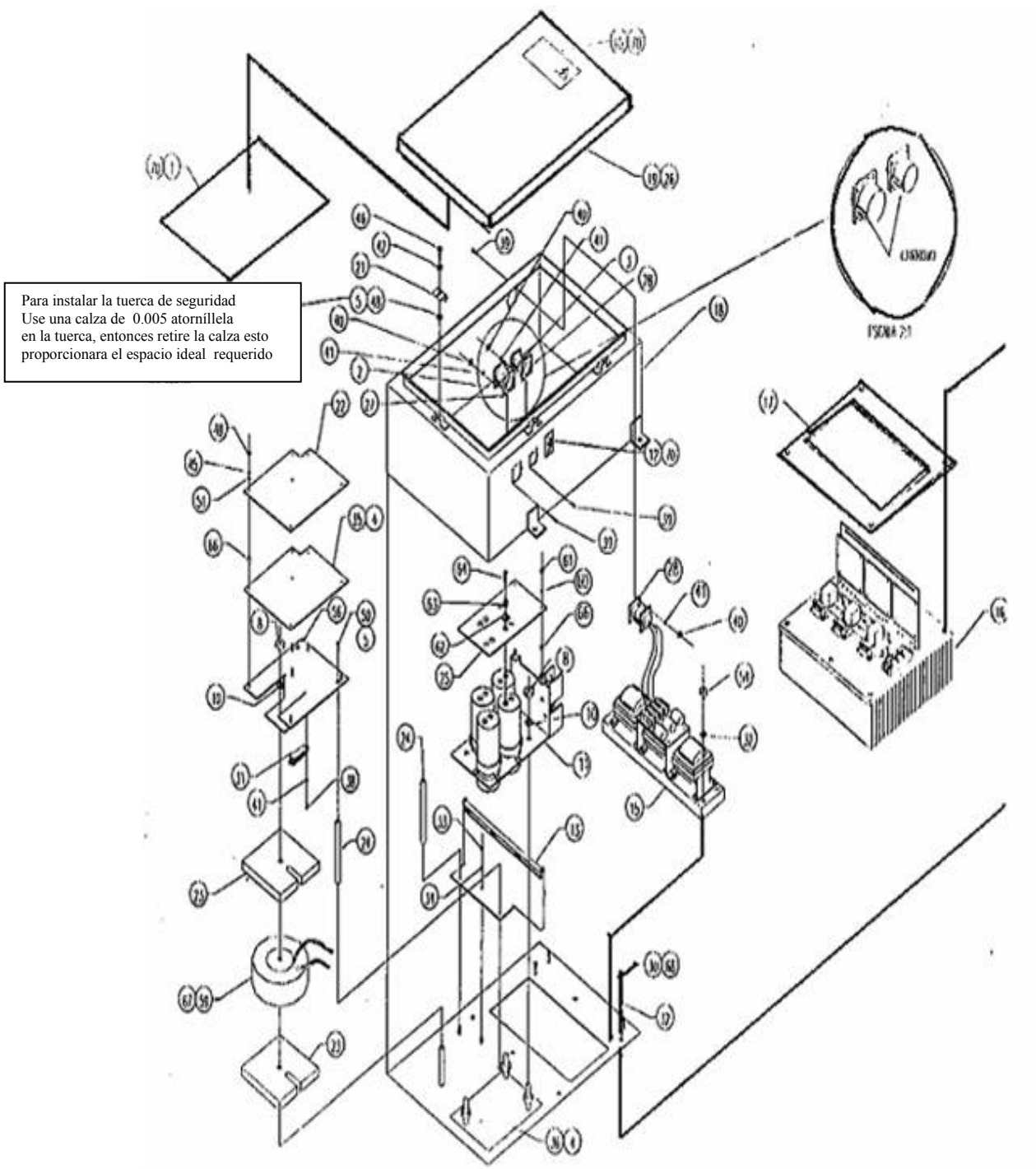


Figura 4.3. Componentes del Inversor



4.10. Partes de la unidad inversora.

FIGURA Y NO. DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES
-1	Etiqueta del diagrama de los led
-2	Conector de contacto de presión #22
-3	Conector de contacto de presión #18
-4	Silicón claro
-5	Tuerca de seguridad desmontable
-6	Reservado
-7	Reservado
-8	Tuerca de 1/2 -13 A. Inox.
-9	Reservado
-10	Roldada de seguridad de 1/2" A. Inox.
-11	Módulo de filtro de entrada
-11 A	Fusible de 50 Amps. (no mostrado)
-12	Placa de identificación
-13	Ensamble de la tabilla del operador
-14	Reservado
-15	Módulo del filtro de salida
-16	Módulo disipador de calor
-17	Empaque
-18	Caja de inversor
-19	Tapa de la caja del inversor
-20	Reservado
-21	Abrazadera de la caja
-22	Tablilla del control principal
-23	Blindaje de la bobina de entrada
-24	Espaciador de montaje
-25	Tablilla supresora de transitorios
-26	Empaque, para la tapa de la caja
-27	Empaque sellador del panel
-28	Empaque sellador del panel
-29	Reservado
-30	Tornillo Cab. Hex. 3/8-16 x 3/4"
-31	Resistencia 40 Ohm, 25 Watts 1%
-32	Roldada de presión 3/8" A. Inox.
-33	Tuerca 10-32 A. Inox.
-34	Roldada de presión #10 A. Inox.



-35	Aislador del control principal
-36	Aislador del capacitar principal
-37	Reservado
-38	Tornillo de fijación de 4-40 x 3/8"
-39	Tornillo Cab. Red. 4-40 x 1/2"
-40	Tuerca de 4-40 A. Inox.
-41	Roldada de presión # 4 A. Inox.
-42	Roldada plana de 1/4" A. Inox.
-43	Reservado
-44	Reservado
-45	Roldada de presión # 4
-46	Tornillo Cab. Hex. De 1/4-20 x 1"
-47	Reservado
-48	Tuerca de 1/4-20
-49	Reservado
-50	Tornillo Cab. Plana 10-32 x 1/2"
-51	Roldana plana # 4 x 0.032" de nylon
-52	Reservado
-53	Arnés de la bobina
-54	Tuerca 3/8-16 A. Inox.
-55	Reservado
-56	Soporte de tarjeta del control principal
-57	Reservado
-58	Reservado
-59	Bobina de la entrada
-60	Roldada de presión # 6
-61	Tuerca de 6-32 A. Inox.
-62	Roldada plana de 1/4" A. Inox.
-63	Roldada de seguridad de 1/4" A. Inox.
-64	Tornillo Cab. Red. De 1/4-28 x 1/2"
-65	Etiqueta de "PELIGRO" de 5" x 3 1/2"
-66	Espaciador # 6 x 0.500"
-67	Núcleo de la bobina de entrada
-68	Tuerca de seguridad
-69	Cable de enlace de 3.9" x 10 lbs. Nylon
-70	Capa de resina de silicón

Tabla 4.1. Partes de la unidad inversora.



CAPITULO 5

TARJETA SUPRESORA DE TRANSITORIOS CON SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.

En la entrada de la alimentación de 600 VCD para los supresores de transitorios del inversor son usados para proteger al equipo contra ruido contaminante (celulares, radios, PC portátil, radios, etc.) generado en la línea de alimentación por otro equipo.

Un Supresor contra transitorios (**TVSS**) será necesario para proteger los equipos electrónicos de control y comunicación instalados dentro del sistema eléctrico. Los Supresores drenan la corriente a tierra y abaten la sobre tensión transitoria que puede causar daño.

Los Transitorios de voltaje son picos de voltaje con magnitudes de hasta 20 KV, 10 KA con duración de nanosegundos a microsegundos de aparición aleatoria y bipolar en la onda senoidal. Se pueden clasificar por su origen como externos e internos.

5.1. Transitorios externos.

Son generados fuera de la instalación eléctrica, en la red de distribución de media y alta tensión o por fenómenos como rayos, descargas eléctricas, campos magnéticos, etc. Son el de menor ocurrencia, sin embargo los de mayor potencia destructiva, también se les conoce como destructivos y cuando se desvían se van por tierra.

5.2. Transitorios internos.

Son generados dentro de la instalación eléctrica normalmente por los mismos equipos internos y dispositivos de switcheo. Son los de mayor ocurrencia, pero con magnitud pequeña que no daña a los equipos de forma instantánea. Los degrada con el tiempo y produce lo que se conoce como oxidación electrónica. Los producen los motores, aires acondicionados, balastos, elevadores, arrancadores, etc.

5.3. Análisis de falla del inversor.

5.3.1. Sobretemperatura.

La adición de la circuitería planeada para la supresión de la corriente de carga elimina esencialmente el problema del sobrecalentamiento en el encendido. Una disminución adicional de la temperatura puede presentarse esporádicamente durante la operación normal, lo cual será logrado mejorando el intercambio de calor usando pequeños disipadores de calor locales para los semiconductores de potencia del modulo supresor de transitorios. Se lograra un margen de seguridad adicional, cambiando el tiristor de supresión por un dispositivo de mayor capacidad.

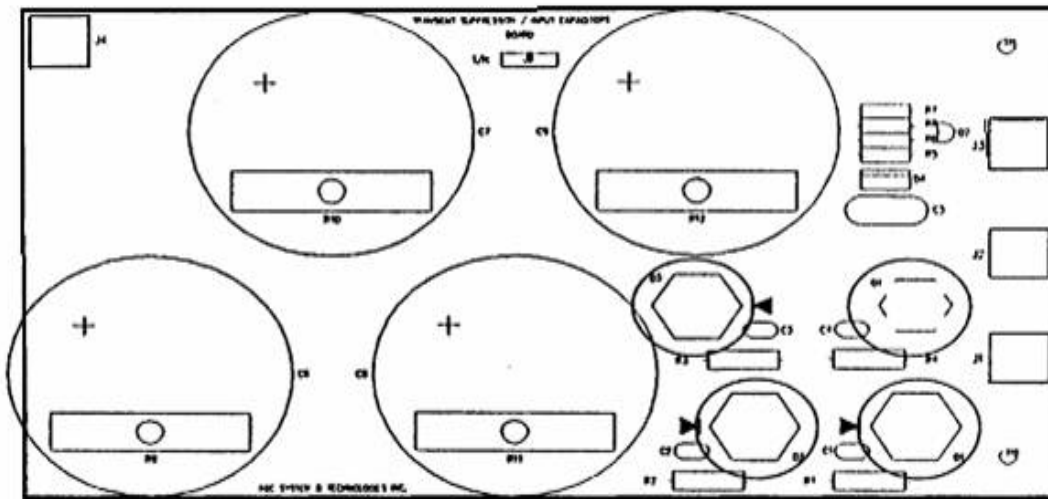


Figura 5.1. Módulo supresor de transitorio propuesto.

5.3.2. Operación del módulo supresor de transitorios.

Durante la operación del inversor, el inductor del filtro forma una barrera de alta impedancia la cual filtra los sobrevoltaje generados normalmente en el tercer riel y evita que se afecte el inversor. La corriente del CD del inversor acumula energía en el campo magnético del inductor. Cuando el contacto con el tercer riel se pierde temporalmente, o cuando el voltaje del tercer riel disminuye rápidamente, esta



energía tiene que ser descargada, de otra forma ocurriría un sobrevoltaje. La energía del inductor es descargada mediante el tiristor del modulo supresor de transitorios el cual se enciende siempre que la diferencia de voltaje entre el capacitor y el voltaje del tercer riel excede el umbral seleccionado (130 V).

La corriente de carga que alimento previamente al inversor, es derivada entre el tiristor y los diodos y la energía es disipada en las resistencias del circuito. La magnitud de esta corriente no excede del valor nominal del inversor (cerca de 20 A) y el proceso de descarga dura alrededor de 50 milisegundos por evento.

Las pruebas han sido realizadas, en las cuales la corriente continua de 15 A CD ha sido circulada en todos los semiconductores de potencia del modulo supresor de transitorios durante un periodo de tiempo de 5 horas.

5.3.3. Conclusiones.

El módulo sin los disipadores de calor desarrollaría un incremento de temperatura de más de 64 °C después de 5 horas de operación, mostrando pequeños rastros de decoración de la bakelita alrededor de los semiconductores.

El módulo con los disipadores de calor desarrollaría un incremento de temperatura cercano a los 54 °C

Es importante mencionar, que las condiciones reales de operación no son siquiera cercanas a las condiciones de prueba, debido a que las corrientes de modulo supresor de transitorios aparecen solamente como pulsos de 50 milisegundos de duración y de una magnitud de 15 A en cada ocasión que ocurre un claro de riel.

La prueba confirma, que la energía que ocasionaría los daños es de una magnitud mucho mayor y solamente puede ser ocasionada durante el encendido del inversor.

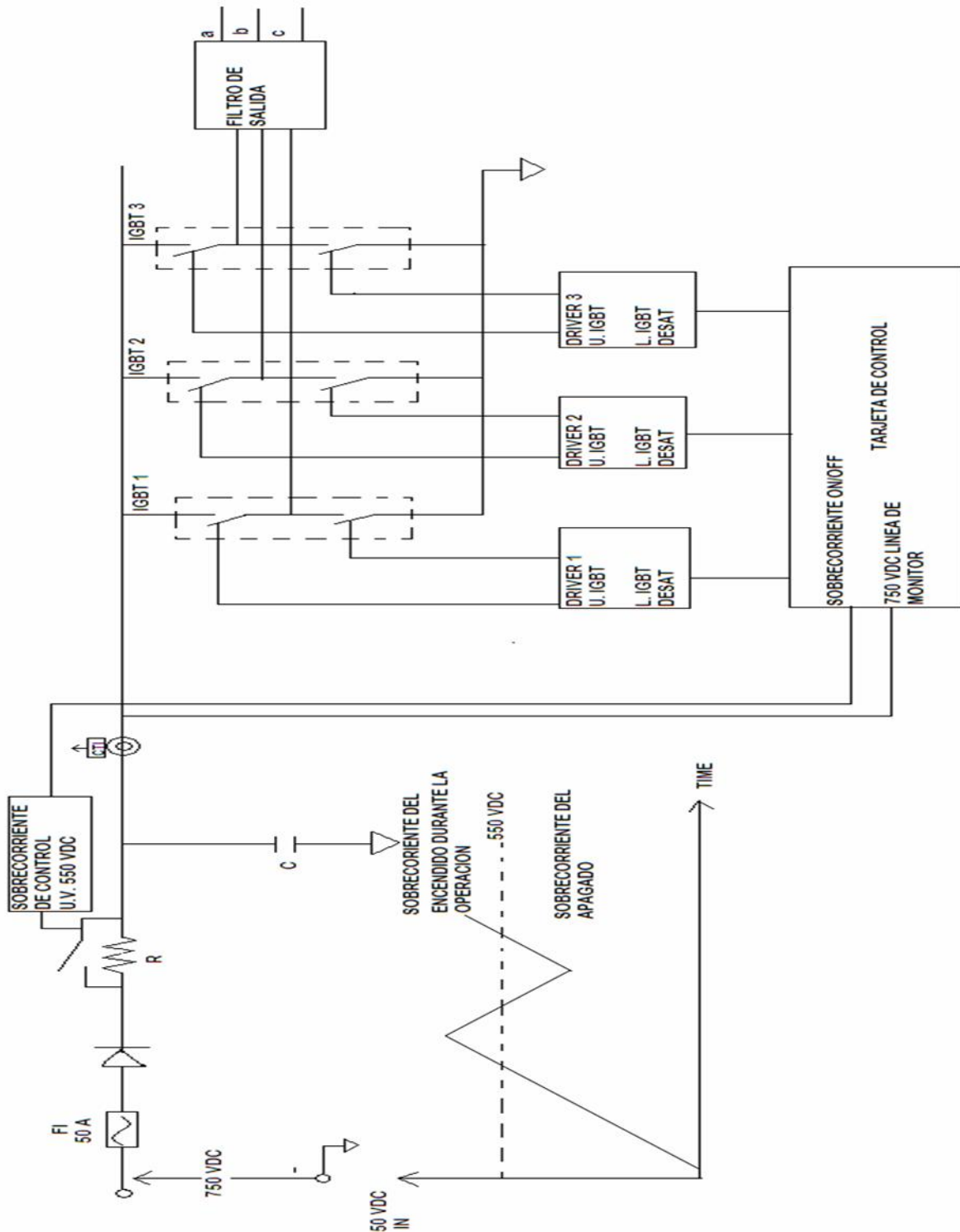


Figura 5.2. Sobrecorriente del Control del inversor



5.4. Operación del módulo supresor de transitorios (tsb) durante el encendido.

Hasta la aplicación de la tensión de CD con el capacitor descargado completamente, se pueden identificar dos fases del cargado.

FASE A: Tiempo de 0 hasta cerca de 2.5 milisegundos

La corriente de carga en el inductor aumenta rápidamente al valor máximo cercano a los 440 A. El voltaje del capacitor en este punto se hace igual al voltaje de entrada (750 V).

FASE B: tiempo desde 2.5 milisegundos hasta 5 milisegundos. En este punto la corriente de carga en el inductor empieza a disminuir y mantiene cargando al capacitor. Muy pronto después, cuando la diferencia entre el voltaje del tercer riel y el voltaje del capacitor excede del umbral de disparo (130 V), el tiristor del modulo supresor de transitorios enciende, la cola restante de la corriente de carga es disipada en el modulo supresor de transitorios y la energía restante del inductor es disipada en las resistencias del circuito supresor de transitorios.

La magnitud de la corriente que ocurre en estas condiciones depende de la inductancia del circuito del tercer riel el cual alimenta al inversor. Después de simular varias condiciones, se ha determinado, que si la inductancia del tercer riel es mas pequeña de 500 microhenrrios, la corriente del modulo supresor de transitorios puede alcanzar un pico de 365 A. (ver el anexo en la figura 5.3). Esta corriente disminuye en 30 milisegundos.

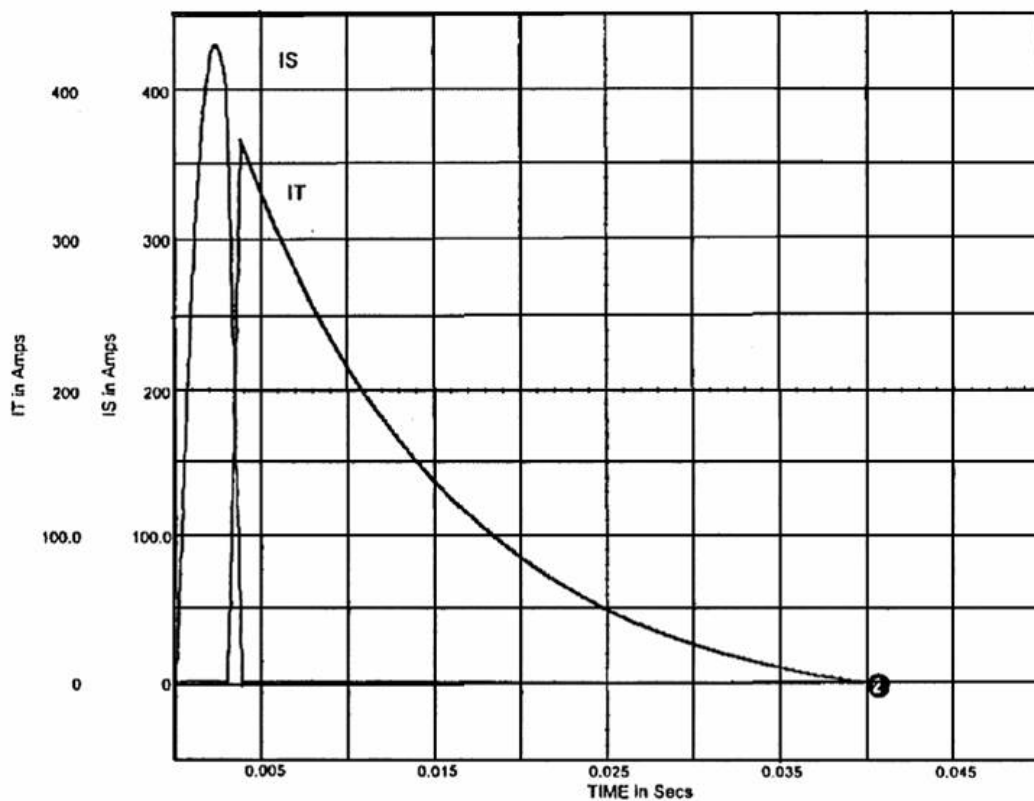


Figura 5.3. Encendido del circuito existente. IS- corriente de carga del tercer riel, IT- corriente del modulo supresor de transitorios.

Los parámetros ITSM de los semiconductores del modulo son:

Diodos 85HFL100S05 ITSM=1800 A

Tiristor 16RIA100 ITSM=395 A

El cálculo exacto de incremento de temperatura es difícil, pero es evidente que múltiples encendidos con estos parámetros de línea y en malas condiciones de línea sobrecalentarían los semiconductores como se ha venido observando.

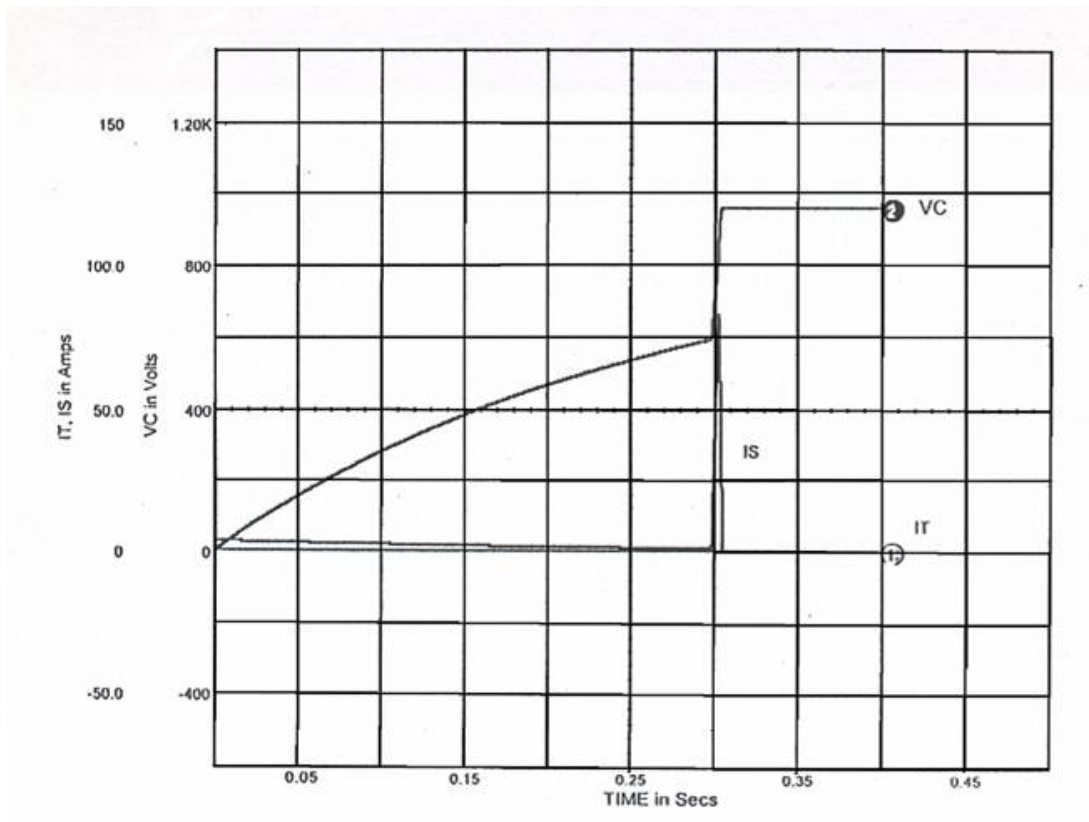


Figura 5.4 Encendido con el limitador de corriente de carga. IS- corriente del tercer riel, IT-corriente del modulo supresor de transitorios.

5.5. Resumen.

Se han propuesto las siguientes soluciones:

1. Inspección de las resistencias y desoldado de las mismas, inspección y cambio de los conectores Fast-on.



Figura 5.5. Conectores Fast-on

Medidas:

Cod: CNT6. 2,8 mm.

Cod: CNT7. 4,8 mm.

Cod: CNT8. 6,3 mm.



Figura 5.6. Terminales fast-on macho

Cod: CNT9. Terminal macho enchufable 6,3mm, vertical para circuito impreso, latón con baño de plata, paso entre patas: 5mm.

Cod: CNT10. Terminal macho enchufable de 6,3 mm, en ángulo de 135°, taladro de 3,2 mm.



Figura 5.7. Conectores Fast-on Hembra

2. El circuito supresor de la corriente de carga el cual elimina la necesidad de disparar al modulo supresor de transitorios durante el encendido.
3. Adición de disipadores de calor locales.
4. Cambio del tiristor por uno de mayor capacidad (25RIA100).



Figura 5.8. Tiristor 25RIA100

Outline Table

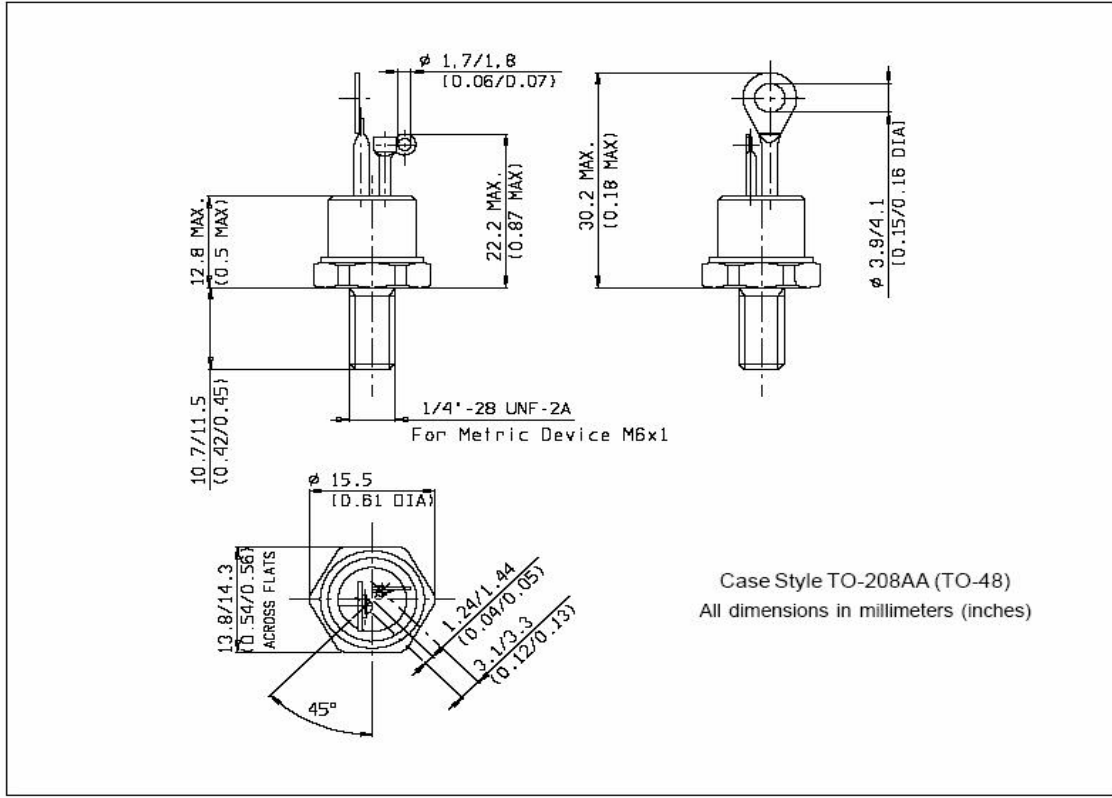


Figura 5.9. Diagrama del Tiristor.

Aun cuando en nuestra opinión la realización del punto 2 es suficiente para solucionar el problema, los puntos 3 y 4 serán adicionados para tener un margen adicional de seguridad.

5.6. Pruebas de temperatura.

Una de las soluciones es incrementar la capacidad de disipación de temperatura del modulo agregando disipadores de calor en el lugar adecuado.

Si se modificaran los módulos, por ejemplo: en un modulo se instalan 8 disipadores de calor (4 en la parte inferior del modulo y 4 en la parte superior del modulo). El otro seria un modulo supresor de transitorios estándar sin disipadores de calor se



registraría la temperatura en ambos módulos supresores de transitorios. Se proporcionarían los siguientes resultados en la tabla y en la figura.

Tiempo (hrs.)	Corriente (Amps)	Temperatura en el modulo con los disipadores de calor (°C)	Temperatura en el modulo sin los disipadores de calor (°C)
0	0	50	50
0.5	15	85	100
1	15	90	111
2	15	114	124
3	15	114	134
4	15	114	144
5	15	114	150

Tabla 5.1. Temperatura vs. Tiempo.

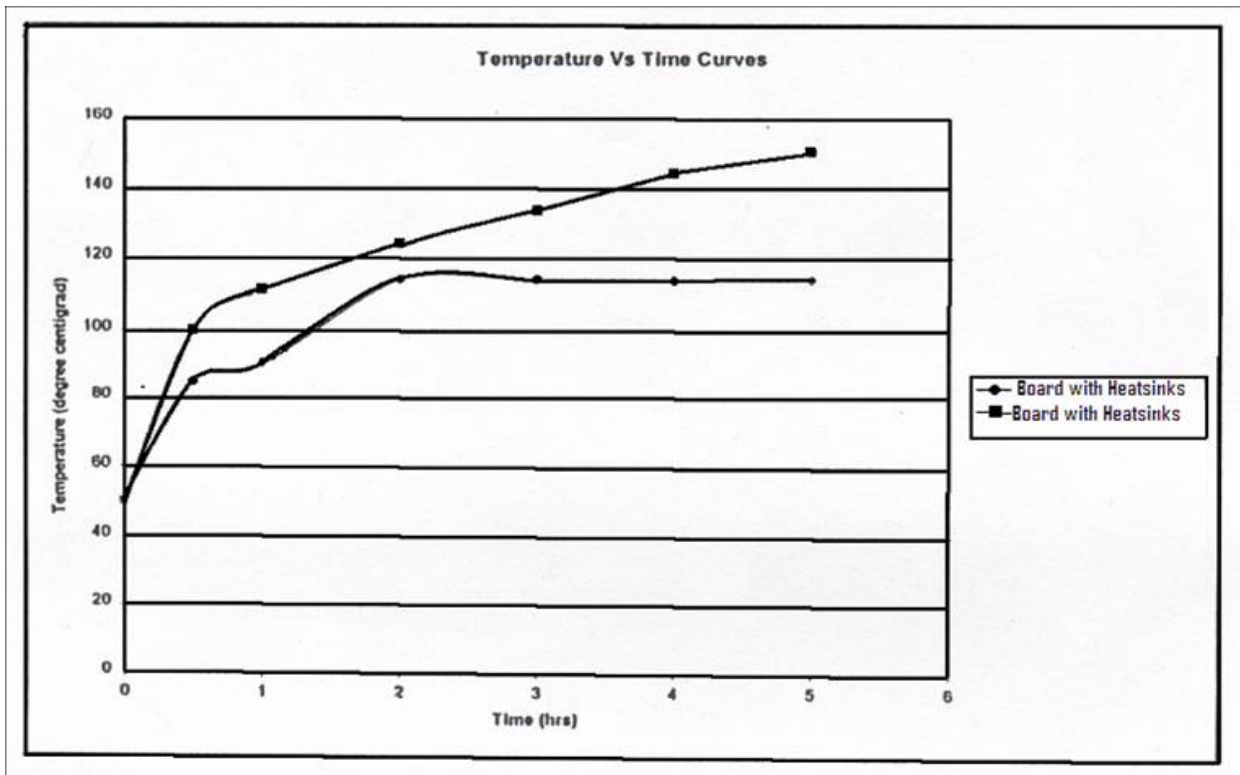


Figura 5.10. Curvas de temperatura Vd. tiempo.



5.7 Diseño para los semiconductores del módulo supresor de transitorios.

Para este diseño se propone la utilización de fibra óptica en sus siguientes características:

Fibra óptica plástica de 1mm de diámetro en dos grados: estándar de bajo costo con atenuación típica de .22 dB/m o alto rendimiento de pérdida baja extra con atenuación típica de .19 db/m.

Fibra de revestimiento duro de sílica de 200 μ m de diámetro con atenuación típica 8 db/km , para fundas de rango elevado o de derivación de resistencia mecánica superior. La serie de cables de fibra óptica plástica, están contruidos por una fibra de índice de pasos simples incrustada en una funda de polietileno negro la fibra duplex consiste de dos fibras simplex unida por una maya atravesada.

Los cables de atenuación estándar y los de muy poca pérdida, son idénticos excepto por las especificaciones de atenuación

La potencia es disipada en los semiconductores del módulo supresor de transitorios sólo cuando el contacto con el tercer riel es perdido temporalmente, o cuando el voltaje del tercer riel disminuye rápidamente y la energía acumulada en el inductor es descargada mediante el tiristor en el modulo supresor de transitorios el cual se enciende siempre que la diferencia de voltaje entre el voltaje del capacitor y voltaje del tercer riel excede del umbral seleccionado (130 V).

La corriente de carga que se suministraría previamente al inversor, es derivada al tiristor y a los diodos y la energía es disipada en las resistencias del circuito. La magnitud de esta corriente no excede de la corriente nominal del inversor (cerca de 20 A) y el proceso de descarga dura cerca de 50 milisegundos por evento.



Se asume:

Corriente de carga de 20 A CD

Tiempo para descargar la energía en el inductor- 50 milisegundos (verificar por las simulaciones).

Frecuencia de descarga- número de interrupciones de voltaje-una cada segundo.

Corriente del módulo supresor de transitorios: (corriente disminuyendo exponencialmente aproximada por una forma triangular, iniciando en 20 A y yendo linealmente a cero dentro de 50 milisegundos).

Demostraremos la operación del circuito y la reducción de la corriente de carga.

Se realizaran dos pruebas:

Adquisición de la corriente de carga en un inversor estándar sin el módulo instalado.

Adquisición de la corriente de carga en un inversor modificado con el módulo instalado.

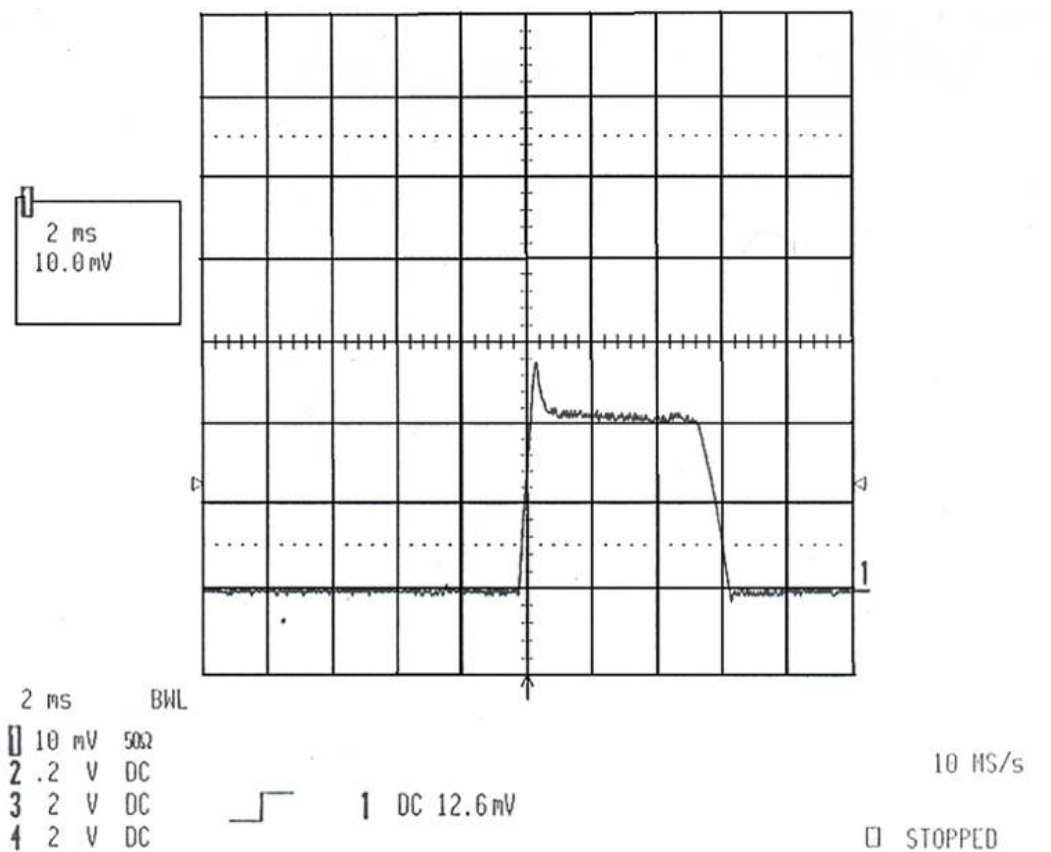


Figura 5.11. Encendido sin el modulo limitador de la corriente de carga
(vertical=50 A/div)

Gracias a la utilización de la fibra óptica, la frecuencia ya no varia y las corrientes ahora son iguales.

NOTA:

Debido a la limitante de la sonda de corriente, las mediciones de la corriente de carga sin el modulo limitado de corriente no son correctas. La sonda de corriente esta nominada para 150 A, en altas corrientes se satura. Esto se puede observar en el diagrama anterior como una sección plana de la curva. La curva de corriente debería tener una forma senoidal y por nuestras estimaciones ir aproximadamente 450 A.

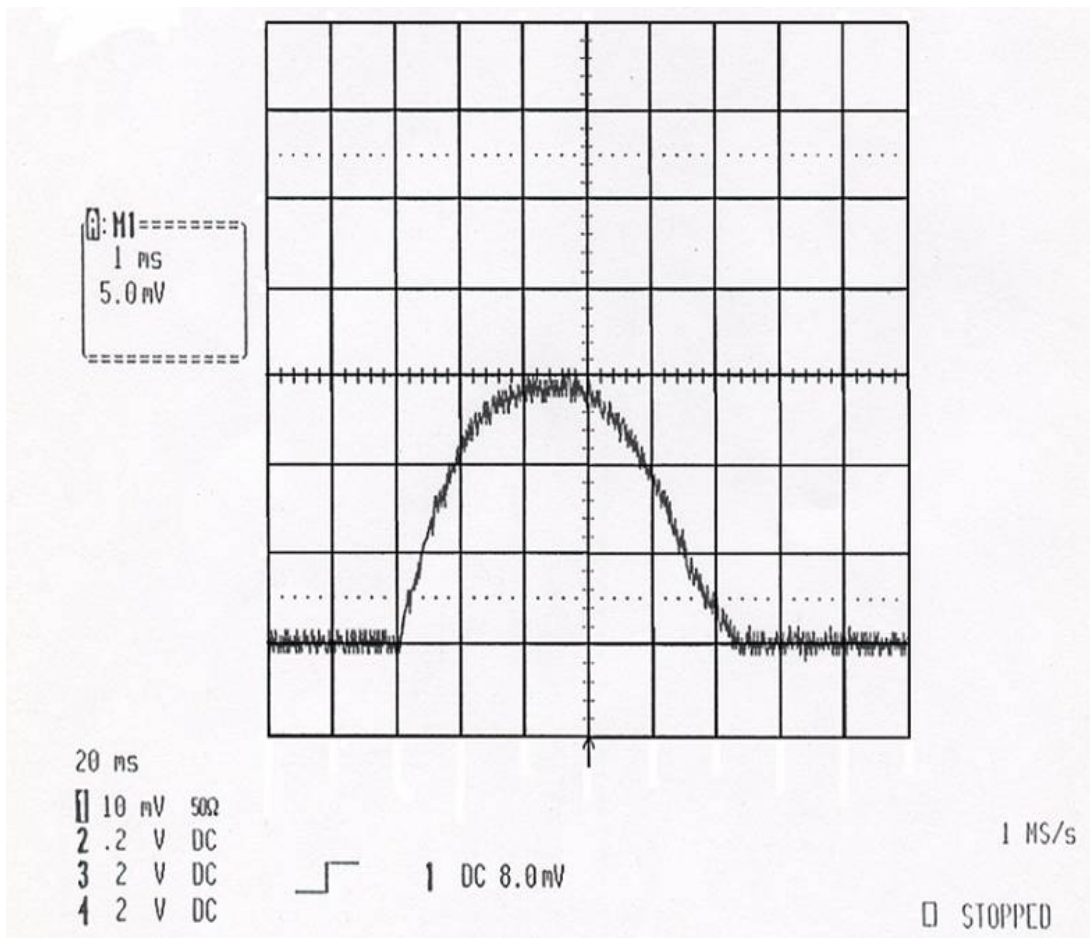


Figura 5.12. Encendido con el modulo limitador de la corriente de carga (vertical=25 A/div)

La curva con el módulo limitador de la corriente de carga tiene una magnitud de aproximadamente 75 A, el cual constituye una mejora de 6 tantos.

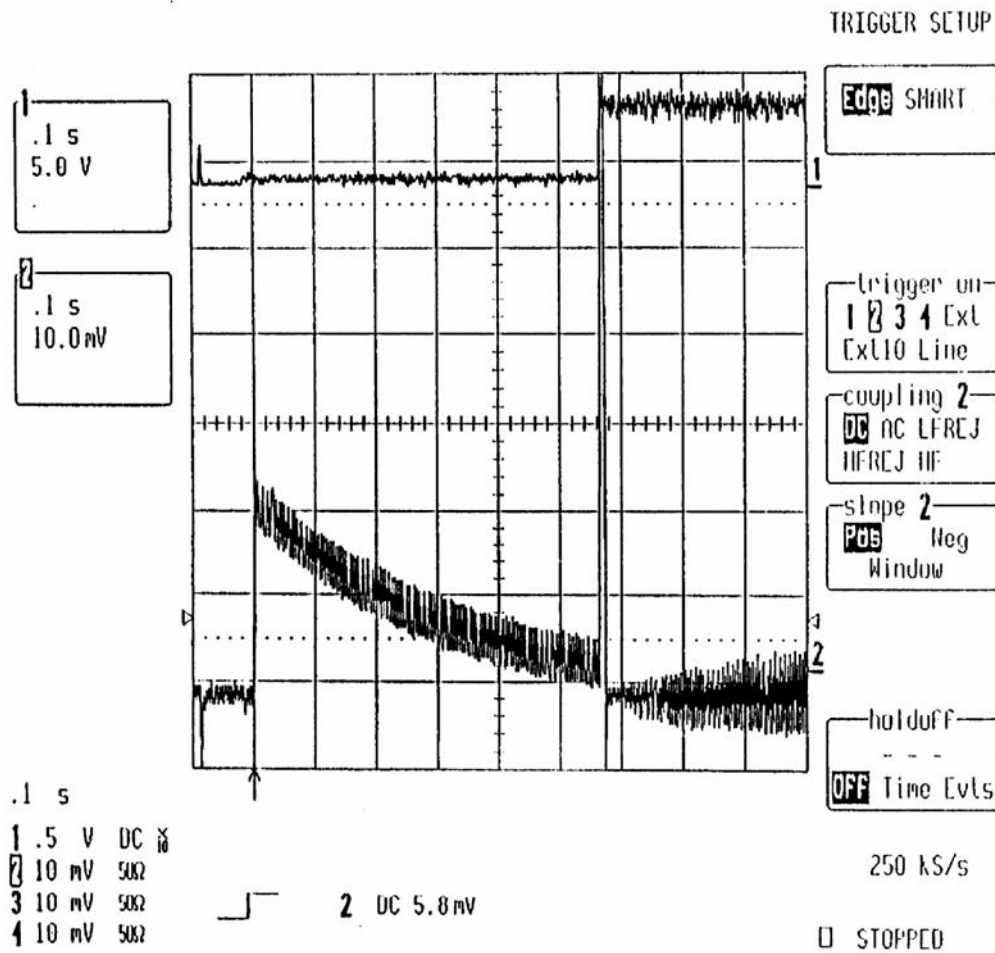


Figura 5.13. Encendido con el módulo limitador de la corriente de carga-transitorio de precarga, (vertical=10 A/div)

El diagrama anterior presenta la secuencia de encendido incluyendo el periodo de PRE-carga y la corriente de carga.



CONCLUSIÓN:

El módulo es capaz de reducir la corriente de carga al nivel aceptable.

5.8. Modificación del circuito de entrada del tiristor d1 dv/dt.

La modificación consiste en las adiciones de los capacitores C.V. (ver Fig. 5.1).

Operación del circuito de entrada sin la modificación.

Sin el capacitor CV, la operación del circuito es como sigue:

Cuando los 750 volts son aplicados repentinamente a la entrada del inversor, se crea un circuito el cual consiste de la capacitancia ánodo- cátodo del tiristor D1, el inductor L1 en paralelo con los capacitares del módulo supresor de transitorios más los diodos, los capacitores principales C6-C8, la inductancia parásita del inversor al tercer riel (cableado).

Dado que los capacitares principales se descargan, estos no participan inicialmente en los transitorios.

El voltaje en las terminales del tiristor no conductor es el voltaje que resulta de la división de la entrada a través de la capacitancia del tiristor y las capacitancias del módulo supresor de transitorios, detenido por la inductancia parásita.

Si el voltaje en el tiristor aumenta muy rápido, el tiristor puede encenderse por sí mismo, con el capacitor principal aún no cargado y una gran corriente transitoria resultará. La reducción de la corriente de carga la cual supone que sucede debido al circuito de control de la corriente de precarga, no ocurrirá.

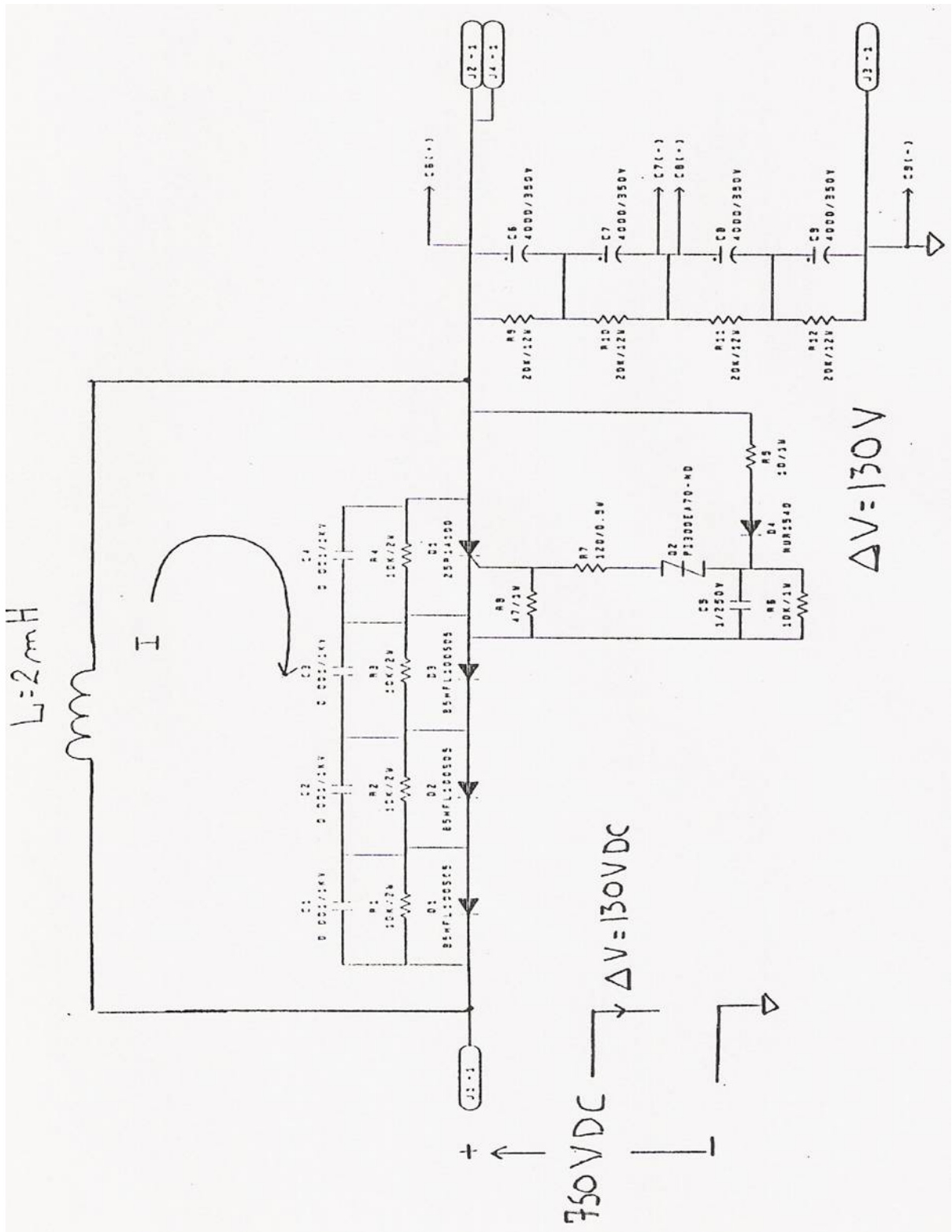


Figura 5.14. Capacitores de entrada-Modulo supresor de transitorios (actual).



Esto ocasiona la abertura de los fusibles y también el calentamiento excesivo de los circuitos del módulo supresor de transitorios los cuales tienen que conducir la corriente de carga completa.

El incremento del voltaje del tiristor sin el capacitor C.v. puede determinarse mediante:

$C_t = 1.5 \text{ nF}$ ----- la capacitancia del tiristor

$C_s = 0.3 \text{ nF}$ ----- la capacitancia del módulo supresor de transitorios

$L_p = 20 \text{ microhenrios}$ ----- la capacitancia parasita de la línea de entrada

$dv/dt = C_s / (C_s + C_t) * V_{cd} / \sqrt{L_p * C_s} = 1600 \text{ V/microseg}$

$dv/dt = .3 \times 10^{-9} / (.3 \times 10^{-9} + 1.5 \times 10^{-9}) * 750 / \sqrt{(20 \times 10^{-6} * .3 \times 10^{-9})}$

El crítico dv/dt para MCD162-18i01 a 1200 V es igual a 1000 V/microseg. y a 750 V es 1600 V/microseg. (Especificaciones dadas por el fabricante para el modelo utilizado para el tiristor).

dv/dt : Velocidad de elevación de voltaje

El tiristor puede encenderse por sí mismo.

5.9. Operación del circuito modificado.

La adición del capacitor C.v. aumenta efectivamente la capacitancia del tiristor por un factor de 7. Por lo tanto, el nuevo dv/dt será 7 veces más pequeño, resultando en $dv/dt = 230 \text{ V/microseg}$.

El dv/dt de encendido es evitado y el tiristor encenderá cuando se le solicite por el controlador de la corriente de pre carga cuando el capacitor de entrada principal esté cargado

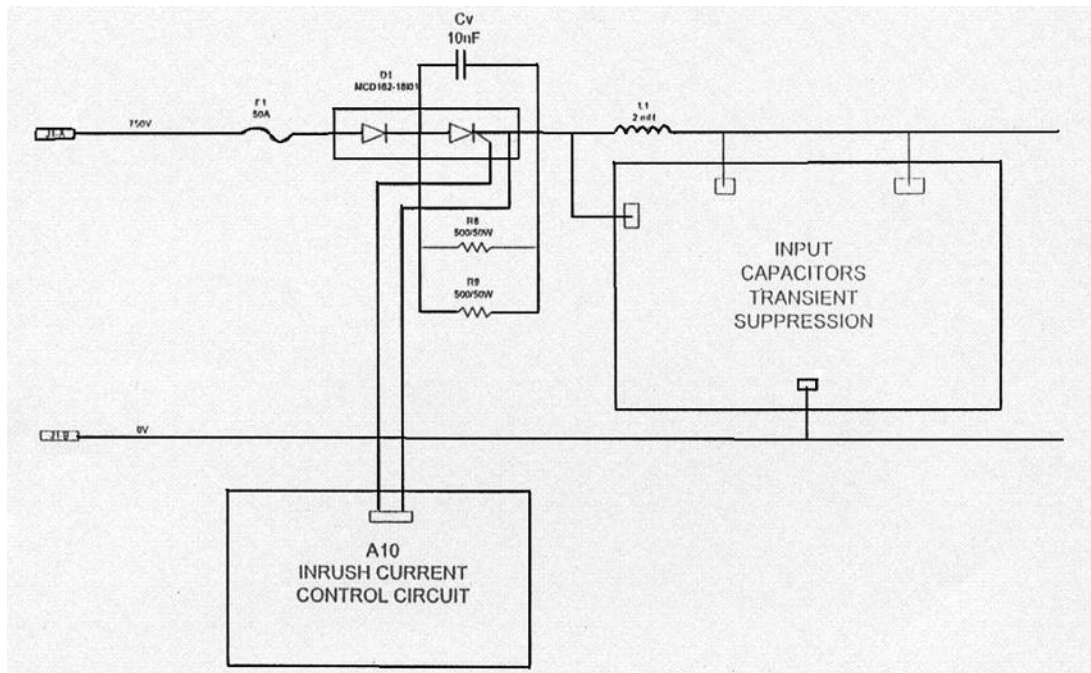


Figura 5.15. Circuitos de entrada del inversor (anterior).

5.9.1. Protección de interfase EMI³.

La siguiente lista identifica los tipos de señal y el método empleado para prevenir el problema potencial EMI³:

Tipo I/O	Característica eléctrica	Característica de cable
Contactos discretos	37.5 VCD, 0/20 mA	16 AWG estándar
Entrada de alimentación de energía	600 VCD	12AWG estándar
FTT-10 ^a	78 kbps, 4/20 Ma	Par trenzado apantallado
Salida de alimentación de energía	230 VCA, 30	12 AWG estándar

Tabla 5.2. Tipos de señal.



Todas las fuentes de poder están aisladas del bus de alimentación de 37.5 VCD por medio de transformadores de aislamiento.

La supresión EMI³ es proporcionada también por filtros.

Señales no críticas estarán filtradas en la salida.

Todas las entradas están protegidas contra picos y transitorios, usando MOV's, supresores de picos, diodos supresores de transitorios de voltaje o diodos rectificadores conectados al bus de energía.

5.9.2. Aterrizamiento.

Todo el equipo estará aterrizado al metal del chasis. Las pantallas de los cables estarán unidos al chasis del transmisor de señal y dejando sin conectar en el otro extremo. En los casos donde una pantalla adicional sea requerida, puede ser conectada a la tierra del chasis en el otro extremo o ambos extremos del cable.

5.9.3. Prácticas comunes EMC².

El EMC² será diseñado en términos de emisión e inmunidad, conducción y radiación. Las precauciones EMC² han sido tomadas y las reglas siguientes han sido aplicadas:

- Los lazos han sido minimizados; las conexiones son tan cortas como sea posible.
- La tierra y el plano VCC son usados mediante el diseño de PCB's¹⁰, el diseño de cuatro capas será usado en todo los módulos.



- Es usada fibra óptica entre la electrónica de control y el control de energía. Los beneficios son: bastante inmunidad al ruido y menor distancia entre el dispositivo de cambio de alta energía y los controles.
- Serán usados supresores de transitorios en líneas de entrada y de salida.
- El arnés de alimentación de entrada es dirigido lejos del arnés de alimentación de salida.
- Todos los arneses corren cerca de la pared de metal.
- Las longitudes de cable para el porta cable de alto di/dt tales como transformadores de energía y bobinas son minimizados.
- Los cables de diferentes categorías no son mezclados en el mismo arnés o conector.
- La distribución de energía de salida usara un estrategia de distribución de energía usando el principio estrella eliminado así el acoplamiento de impedancia común.



CAPITULO 6

CONTROL DEL ESPECTRO DE FRECUENCIA Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Las interferencias electromagnéticas frecuentemente son debidas a la proximidad entre circuitos sensibles y de disturbio. Así la solución más eficiente para evitar los problemas EMI³, es mantener el circuito emisor potenciales lejos de las víctimas potenciales. Eso debe ser hecho dentro de cada uno de los aparatos, y al nivel de componentes y cables.

- Los circuitos deben de ser divididos en 6 categorías (en orden descendente de sensibilidad para las primeras cinco categorías. La sexta categoría es especial):

Clase 1:

Circuitos analógicos de audio y video

Circuitos críticos de seguridad tales como señales de cabina y ATC¹⁷, detector de EMI³.

Clase 2:

Circuitos digitales

Circuitos transductores



Clase 3:

Circuitos semiconductores de control de disparo

Clase 4:

Circuitos referenciados a baterías

Fuente de alimentación

Lógica de relevadores entrada/salida

Clase 5:

Circuitos especiales

Alto voltaje

Cables de motor de tracción

Circuitos de potencia auxiliar

Clase 6:

Circuitos especiales

Circuitos de transmisión/recepción de radio

60v/24khz

- Todos los componentes deben de ser separados en diferentes áreas de acuerdo a esta clasificación. Su distribución e interfaces serán definidas de tal forma que se asegure esta separación a nivel de cables.
- Cables de diferentes categorías, nunca deben de ser mezclados en el mismo arnés o conector sin el aislamiento adecuado entre ellos.



- Los arneses de cables para diferentes clases deben de ser separados. La distancia de separación depende del tipo de clase:

Sólo unos cuantos centímetros (3-6) serán necesarios entre las clases 1,2,3 y 6.

Alrededor de 10 cm entre la clases 4 y las anteriores.

Al menos 15-20 cm entre la clase 5 y las demás clases

Estos requerimientos serán respetados tanto como sea posible, de acuerdo al espacio disponible.

- Dentro de la clase, puede ser requerida una separación entre diferentes cables. De esta manera:

-Cables de seguridad critica deben de ser separados de todos los conductores de clase 1.

-En la clase 5, los cables de alto voltaje (entre pantógrafo y transformador) no deben correr con todos los otros cables de esta clase (cables del bloque de conexiones transformador-motor, cables del motor....).

Donde sea necesario que crucen arneses de cable, eso debe de hacerse en ángulos rectos.

Se hará tierra con el objetivo es minimizar los voltajes de disturbio originados por las corrientes parasitas de alta frecuencia, que corren (internamente) en los 0V de referencia de los cubículos electrónicos (esto no concierne a los 0 (72)V). La regla siguiente no aplica para los circuitos analógicos de audio.

El sistema de tierra de puno único (tierra tipo estrella), en el cual cada modulo de circuito tiene su propia conexión a un punto de tierra sencillo debe



de ser prohibido debido a que esto representa conexiones muy largas de tierra y por lo tanto esto significa que los potenciales de modo común entre circuitos inicie a desarrollarse a medida que la frecuencia aumenta.

- Una rejilla de tierra o un plano de tierra se usara para unir los a los módulos y circuitos de la misma unidad de control electrónico, para minimizar la impedancia de tierra y voltajes de modo común.
- Para circuitos lógicos, se deben de usar módulos multicapas.
- Se deben de usar conexiones de fibra óptica, entre la tarjeta controladora y la tarjeta de accionamiento para evitar disparos falsos de los interruptores de poder.

Es necesario tener uniones adecuadas en los diferentes equipos de rodamiento, módulos electrónicos, pantallas, filtros, etc., al chasis de metal para así de esta manera limitar los voltajes de modo común entre los circuitos y asegurar que las corrientes de fuga sean dirigidas a la tierra, sin pasar por o unir a otros circuitos. Así que:

- La tierra de los carros y locomotoras estará formada por su chasis de metal.
- El gabinete de metal del inversor estará unido al chasis, con una conexión de baja impedancia. El aterrizamiento a través de la unión mecánica, si obedece a la regla siguiente, permite cumplir con este requerimiento. De esta manera todos los tonillos de sujeción de las tarjetas de circuito impreso, deben de ser atornillados.



- Todas las conexiones deben de asegurar una buena continuidad electrónica (tornillos, soldadura, ninguna superficie pintada o aislante, protección para evitar la corrosión,....).
- La impedancia (inductancia) de la conexión entre la tierra electrónica (0V) y la estructura metálica también será minimizada (para cumplir realmente con esta regla, se sugiere conectar la tierra electrónica al chasis dentro del equipo).
- Las conexiones para aterrizar las pantallas (pigtailes) serán evitados y sustituidos preferiblemente por conexiones directas y periféricas al chasis de metal (por ej. Con una abrazadera conductora), la cual tiene la impedancia mas baja posible.

Las conexiones para aterrizar las pantallas (pigtailes) solo deben de ser usados como ultimo recurso y solo si la conexión a realizar es lo mas corta posible.

6.1. Filtro.

Con el propósito de proteger las unidades de control electrónico contra perturbaciones externas, así como limitar su propia emisión de perturbaciones, son necesarios filtros para alimentación de batería. Estos están diseñados para reducir ambos modos diferenciales y comunes.

- Un filtro completo (para modo diferencial y común) será instalado dentro de las unidades electrónicas de control en su entrada de alimentación de batería.
- Los filtros de modo común serán instalados antes de los filtros diferenciales (lado electrónico).



- Los componentes de filtros de modo común, serán escogidos con una frecuencia de corte alto.
- Los filtros serán colocados en orden para evitar cualquier acoplamiento con los cables filtrados.
- Las puntas de entrada y de salida deberán de estar bien separados el uno del otro.
- La longitud (así como la inductancia) de las puntas de los capacitores de modo común, deberán de ser minimizados.
- Las puntas de tierra deberán de satisfacer las reglas anteriores relacionadas a la impedancia de las uniones de tierra.

6.2. Temas de diseño específicos del EMC².

Los temas de diseño del EMC², abarca los siguientes temas:

- Filtrado en modo de entrada diferencial
- Filtrado en modo de entrada modo común
- Filtrado de salida
- Supresión del EMC² en las líneas de control/comunicación



Cuando hablamos de "filtrado" nos referimos a un proceso lineal diseñado para alterar el contenido espectral de una señal de entrada (o una secuencia de datos) de un modo específico. El filtrado es realizado por FILTROS, cuya magnitud y/o fase satisfacen ciertas especificaciones en el dominio de la frecuencia. El término "FILTRADO ADAPTATIVO" implica que los parámetros que caracterizan al filtro, tales como ancho de banda, frecuencias de los ceros.... cambian con el tiempo, esto es, los coeficientes, también llamados PESOS, de los filtros adaptivos cambian con el tiempo, en contraposición a los coeficientes de los filtros fijos que son invariantes con el tiempo.

El filtro digital adaptivo podría perfectamente implementarse mediante un filtro IIR (respuesta impulsional infinita), pero los filtros FIR son mucho menos susceptibles que los IIR de ser INESTABLES. Hay que recordar que los filtros IIR tienen tanto polos como ceros, y, sin más que observar directamente la ecuación de entrada-salida del filtro en el dominio del tiempo (n), no se sabe dónde están los polos ni los ceros, con lo que puede que los polos queden fuera de la circunferencia de radio unidad haciendo que el filtro sea inestable. Además, aunque supiésemos teóricamente los coeficientes a utilizar para tener los polos y ceros donde se necesitan, y consiguiendo siempre la estabilidad del filtro, dado que estamos trabajando con filtros digitales, también los coeficientes (pesos) del filtro están cuantificados y codificados en forma binaria, con lo que es posible que por problemas de cuantificación los polos queden desplazados respecto del lugar teórico donde debieran estar, pudiendo salirse de la circunferencia de radio unidad, haciendo el filtro inestable. Ello no quiere decir que los filtros FIR sean siempre estables, de hecho, su estabilidad depende del algoritmo que se use para ajustar sus coeficientes. Sin embargo, se utilizan generalmente filtros FIR porque su estabilidad/inestabilidad es más controlable que en los IIR.

Existen muchos criterios que pueden adoptarse para llevar a cabo la adaptación de los pesos del filtro a las variaciones de la señal/señales de entrada. Vamos a

centrarnos aquí en el criterio de optimización de los coeficientes M.S.E. (mean-square-error), error cuadrático medio mínimo. Este criterio conduce a una superficie N-dimensional (con N el número de coeficientes del filtro) que posee un único mínimo, que es al que se pretende llegar.

APLICACIONES

- CANCELACIÓN DE RUIDO

6.3. Modelado / identificación de sistemas.

Nos referimos aquí a la utilización de un sistema adaptativo para encontrar el filtro FIR que mejor reproduce la respuesta de otro sistema cuya respuesta frecuencial es desconocida a priori.

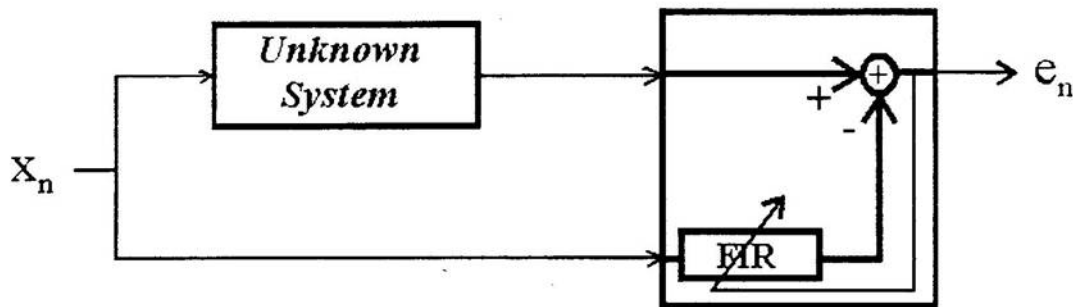


Figura 6.1. Descripción del Filtro Fir.

Cuando la salida del sistema conjunto, e_n , es nula, el filtro fir, de coeficientes los resultantes del proceso adaptativo, está dando la misma salida que el sistema desconocido para la misma entrada, con lo que está reproduciendo el comportamiento de éste. Esto funciona perfectamente únicamente en el caso en que el sistema desconocido tenga la respuesta frecuencial de un FIR, pero, si por ejemplo, es un filtro todo-polos o tiene polos y ceros (en lugar de sólo ceros como un



FIR), el sistema no será capaz de dar salida cero porque la respuesta frecuencial del FIR no será exactamente igual a la del sistema desconocido, pero se conseguirá la mejor aproximación del sistema a modelar que un filtro fir puede dar. A más coeficientes tenga el filtro, mejor será la aproximación.

El sistema arriba descrito se usa hoy día en muchos equipos HI-FI, donde puedes simular música en distintos entornos (una iglesia, un estadio de fútbol...). La música se pasa por un filtro digital que emula la respuesta frecuencial de ese entorno elegido. Para conseguir el fir que emula dicho entorno, previamente se ha realizado el modelado del mismo tal y como se ha descrito, utilizando como entrada al conjunto un ruido blanco, a fin de cubrir todas las frecuencias (recuérdese que el ruido blanco tiene espectro plano).

- **CONTROL DE RUIDO ACTIVO**

Se trata de emplear un algoritmo más complejo que el comúnmente usado en filtrado adaptativo, que se denomina XLMS.

6.4. Fuente de ruido.

El ruido generado por el inversor es debido a los cambios rápidos de corrientes y de voltajes, durante el cambio de los dispositivos de alimentación. La frecuencia fundamental de cambio es igual a 15kHz y por lo tanto la frecuencias por debajo de este valor, no se espera que aparezcan.

La actividad de cambio de la unidad inversora, puede inducir ruido de voltajes/corrientes en los siguientes circuitos:

- Entrada de la línea de 750 VCD
- Entrada de la línea de 72 VCD de la batería
- La línea de salida de 3x460 VCA que alimenta al motor
- Línea de comunicación de entrada/salida

- Entrada de la línea de control (ARRANQUE/PARO)

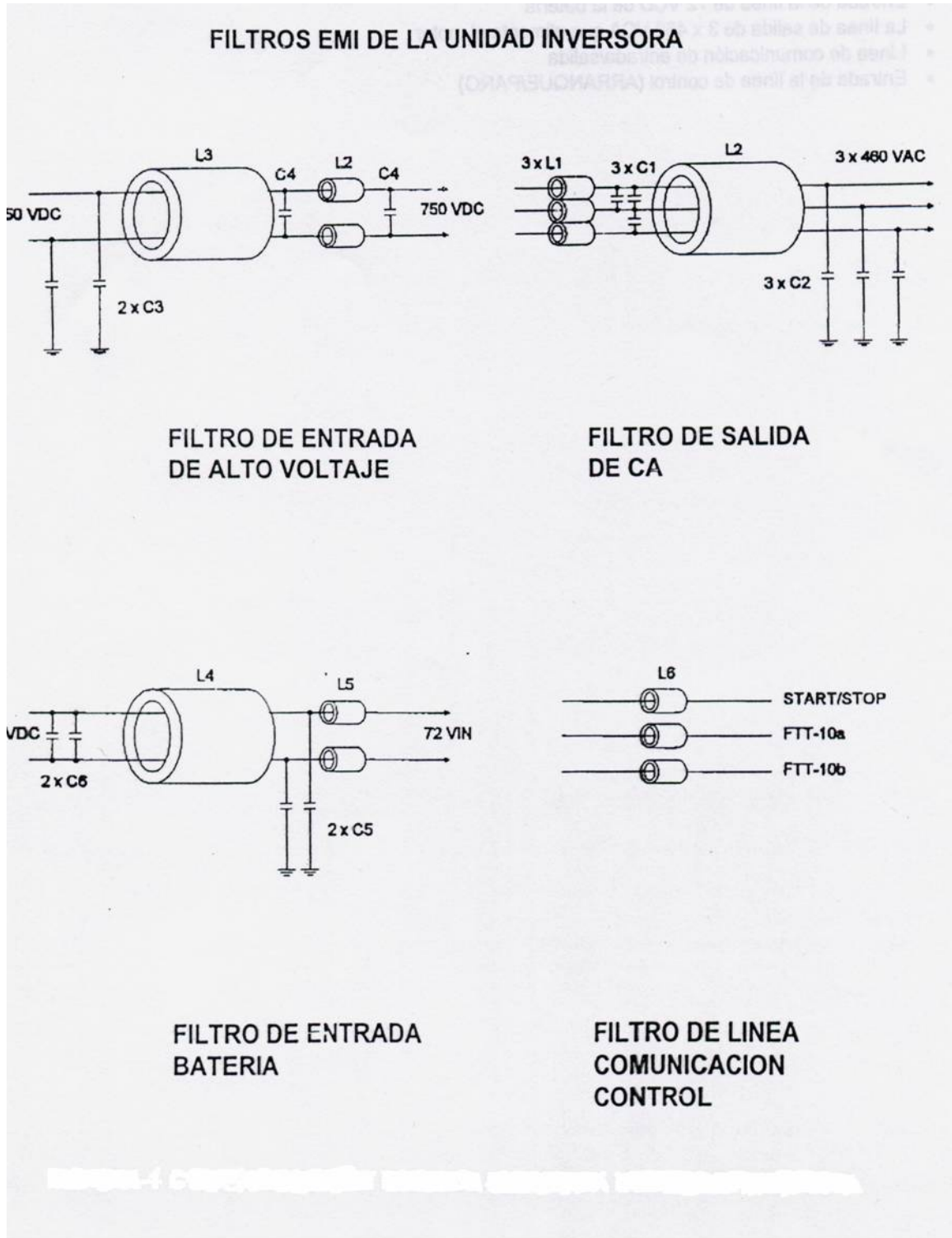


Figura 6.2. Esquema de Configuración del Filtro de Interfase Electromagnética



6.4.1 Filtros de entrada de 750 VCD.

La entrada del inversor estará equipada con filtro LC pasa bajo, diseñado para suprimir los transitorios de entrada y el ruido generado por el inversor.

La frecuencia de corte de este filtro tiene un valor de 100Hz, por lo cual este filtro, será capaz de suprimir el ruido diferencial EMC, en el rango de baja frecuencia (hasta 1MHz). Arriba de este rango, el filtrado de alta frecuencia, debe utilizar capas de alambre de ferrita junto con capacitores EMC. La configuración del filtro de entrada, adecuado para la supresión EMC de modo común y diferencial se muestra en la figura 6.2.

6.4.2. Filtros de salida de 460 volts CA.

Filtros de salida de pasa bajo son utilizados para remover el componente de cambio de la salida de voltaje de tres fases que alimenta al motor.

La frecuencia de corte, del filtro de salida esta seleccionada a 5kHz y atenuara en un rango hasta de 1Mhz.

El rango de supresión de alta frecuencia de la EMI, es lograda utilizando filtros de salida para CA mostrado en la figura 6.2.

6.4.3. Filtros de entrada para batería.

La línea de alimentación de la batería, no tiene conexión directa con los componentes de cambio de alimentación, debido a esta razón no importa, que los voltajes/corrientes del componente de baja frecuencia, sean inyectados en este circuito.

Los componentes de alta frecuencia del ruido generado por los cambios, que pueden ser inducidos en los circuitos de entrada de batería, son filtrados utilizando los filtros mostrados en la figura 6.2.

6.4.4. Filtros de líneas de comunicación y control.

Los componentes de alta frecuencia inducidos en las líneas son filtrados utilizando filtros inductivos, colocados en todos los conductores que entran y salen en la unidad, esto se muestra en la figura 6.2.



6.4.5. Caracterización de filtros EMI³.

Salida de filtro de modo diferencial 460 VCA

Corriente nominal de salida 72 amperes 3 fases

Voltaje nominal de salida 3 x 460 V línea a línea

El filtro de modo diferencial consiste en 3 inductores de línea y 3 capacitores de línea a línea

(1) Inductores de supresión en modo diferencial EMI³, L1 (Salida)

Seleccionados considerando una corriente de saturación de $1.41 \cdot 19A = 27 A$

(2) Inductores de supresión en modo común EMI³ L2, L5 (Entrada)

Impedancia a 10 Mhz Impedancia 25 Mhz Impedancia 100 Mhz

100 Ohm 116 Ohm 235 Ohm

Inductores de supresión en modo diferencial EMI³ L3, L4 (Entrada)

Protección aislante por Fair-Rite

Impedancia a 25 Mhz Impedancia a 100 Mhz

46 Ohm 108 Ohm

Capacitores de supresión EMI³ (C1, C2, C5, C6)

Capacitores de disco cerámico.

4700 pF

Capacitores de supresión EMI³ (C3 y C4)

4700pF Tres capacitores en serie para cada uno



6.5. IGBTs.

El Transistor Bipolar de Puerta Aislada (IGBT) es el miembro más joven de la familia de conmutadores para alta tensión. El flujo de corriente a través del dispositivo es cómodamente controlado por una fuente de tensión de alta impedancia de 15V, permitiendo así controlar intensidades elevadas con una potencia de control muy baja.

Los IGBTs pueden emplearse sin necesidad de circuitos protectores de sobre tensiones/sobre intensidades (“snubbers”), lo cual permite implementar topologías de sistemas muy sencillas. El precio de esta simplicidad es que en el silicio se disipa una mayor parte de las pérdidas del sistema, reduciendo de este modo la potencia de conmutación máxima debido a limitaciones térmicas.

Una característica singular de todos los IGBTs es su resistencia a cortocircuitos (paso de una corriente elevada y tensión elevadas simultáneamente a través del dispositivo). En un cortocircuito, la corriente que circula a través del IGBT permanece limitada a un nivel dado por el diseño del dispositivo y es posible desconectar de manera segura el cortocircuito antes de transcurridos 10 microsegundos con el control normal de puerta y sin daños permanentes al dispositivo. Los IGBTs se fabrican en forma de chips semiconductores compactos con un tamaño típico de 1 cm². Junto con sus diodos acompañantes, se montan en módulos de configuraciones eléctricas y mecánicas distintas y con diversas características eléctricas.

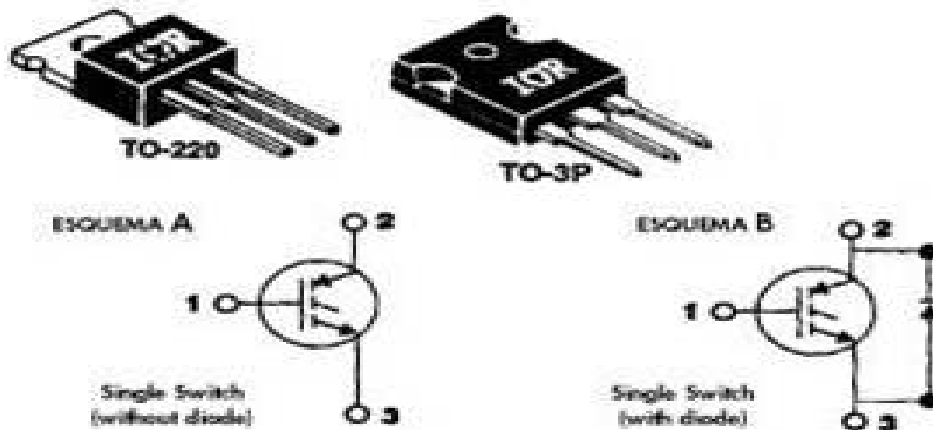


Figura 6.3. Transistor igt. Símbolos.

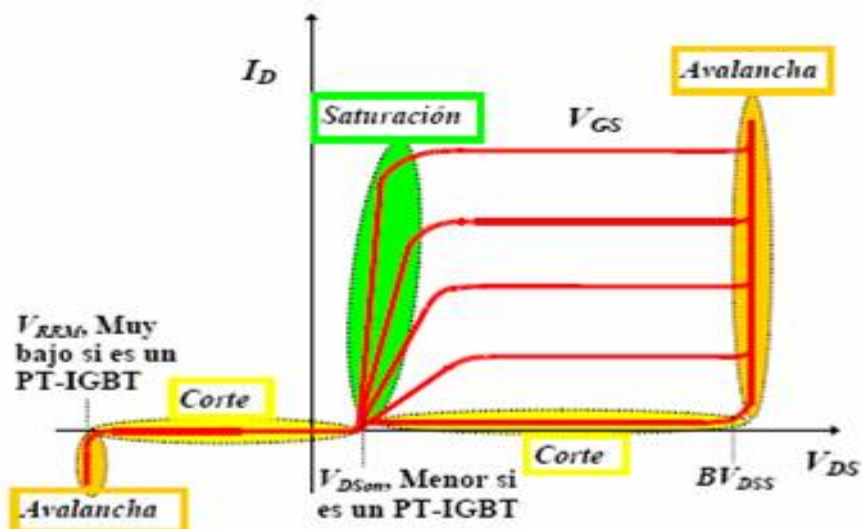


Figura 6.4. Curva Característica Estática de un Transistor *IGBT* de Canal *n*

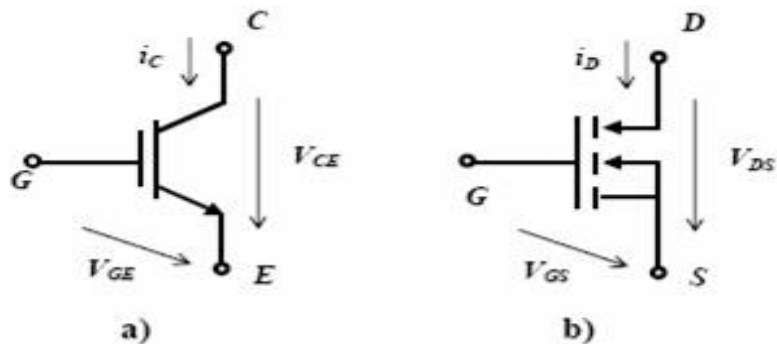


Figura 6.5. Representación Simbólica del Transistor *IGBT*. a) Como *BJT*,
b) Como *MOSFET*

6.5.1. Funcionamiento del transistor *IGBT*.

El comportamiento cortado es análogo al MOS cortado. En conducción será:

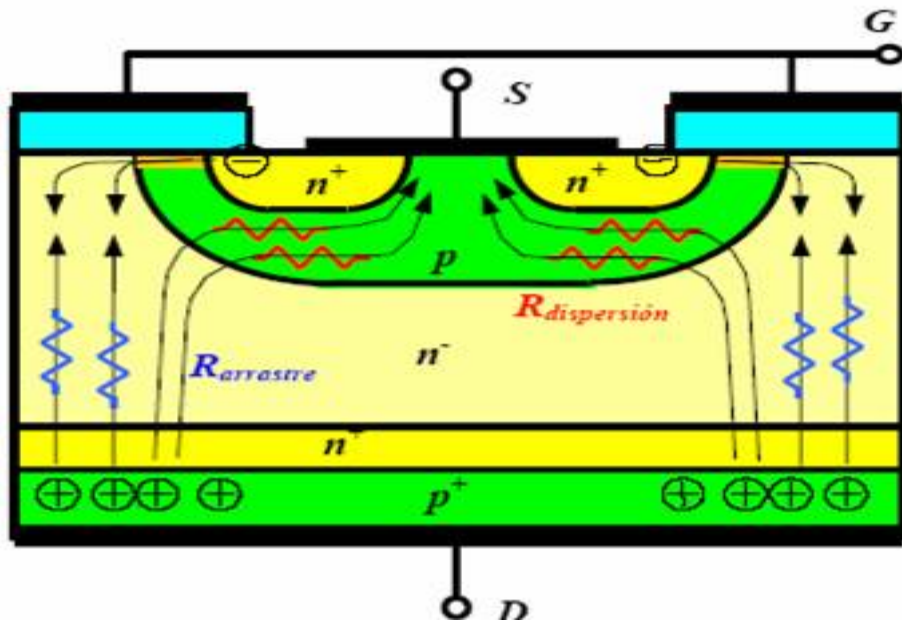


Figura 6.6. Sección Vertical de un *IGBT*. Caminos de Circulación de la Corriente en Estado de Conducción

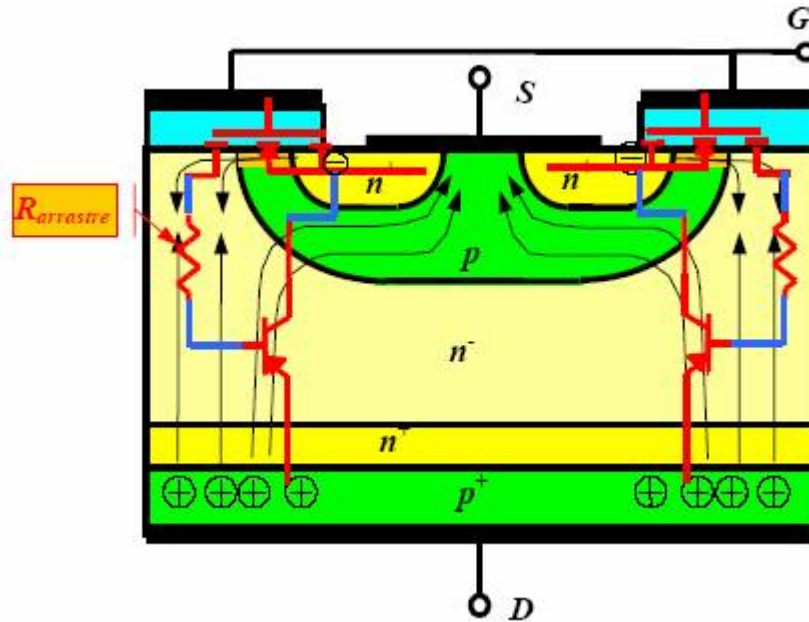


Figura 6.7. Sección Vertical de un IGBT. Transistores MOSFET y BJT Internos a la Estructura del IGBT

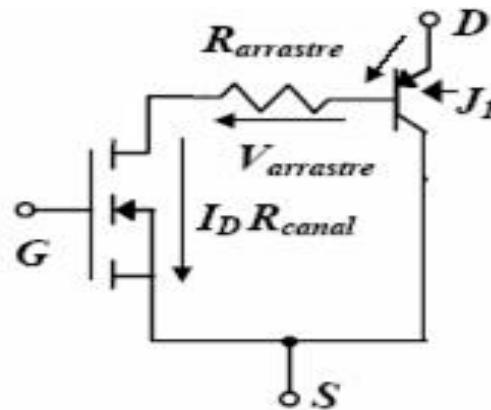


Figura 6.8. Circuito Equivalente aproximado del IGBT.

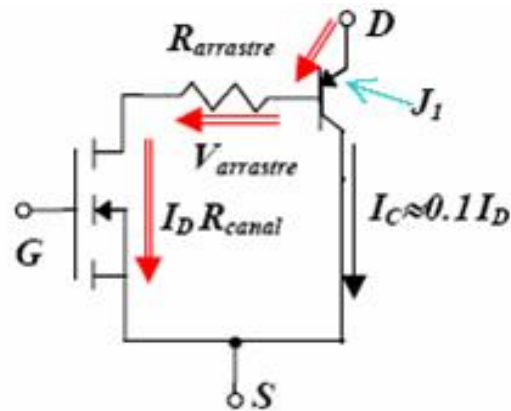


Figura 6.9. Circuito Equivalente aproximado del IGBT.

Comparación VDS (on) MOS-IGBT para la misma BVDSS

$$VDS(on) = V_{J1} + I_D R_{canal} + I_D R_{arrastre}$$

$$V_{J1} = 0.7 \div 1 \text{ Volt.}$$

$$R_{canal} = R_{canal} \text{ (MOS)}$$

$$R_{arrastre} \text{ (IGBT)} \ll R_{arrastre} \text{ (MOS)}$$

Debido a la inyección de huecos desde p+ Esta resistencia es menor aún si es PT-IGBT, ya que para soportar la misma tensión puede ser casi la mitad de ancha. (Además en los PT-IGBT la tensión V_{J1} es menor al estar más dopadas las capas que forman la unión)

- La caída total es menor en el IGBT para tensiones a partir de 600V. (1.6V para 1.200 Voltios)
- En el mercado existen IGBTs de 600, 1.200, 1.700, 2.200 y 3.300 Voltios
- Hay anunciados IGBTs de 6.500 Voltios

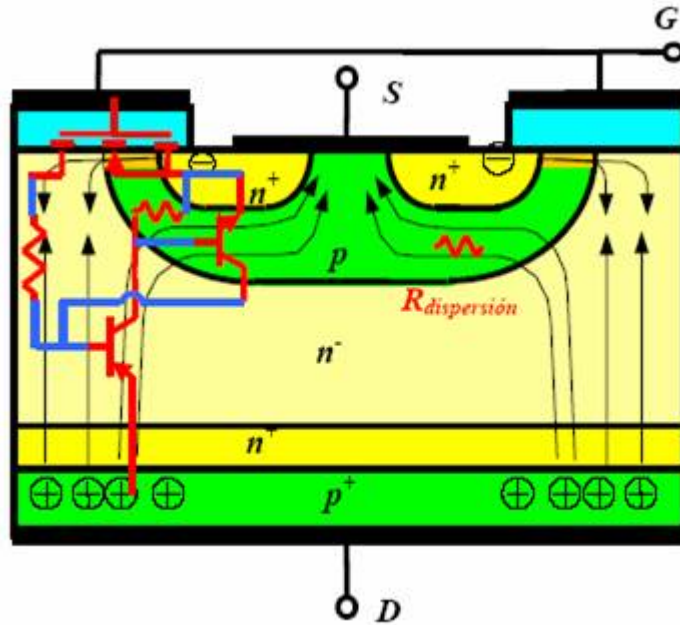


Figura 6.10. Sección Vertical de un IGBT. Transistores MOSFET y BJT Internos a la Estructura del IGBT

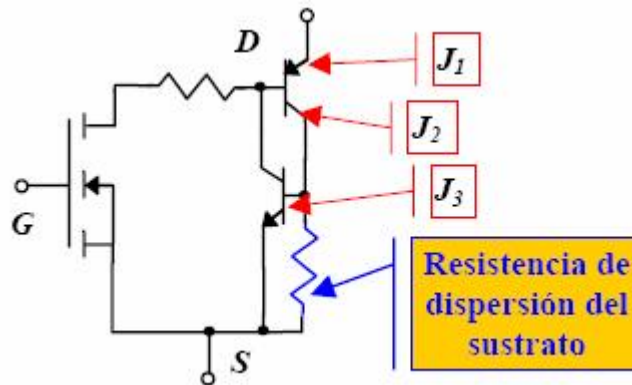


Figura 6.11. Circuito Equivalente del IGBT que Contempla el Tiristor Parásito

6.5.2. Características de conmutación.

El encendido es análogo al del MOS, en el apagado destaca la corriente de “cola”:

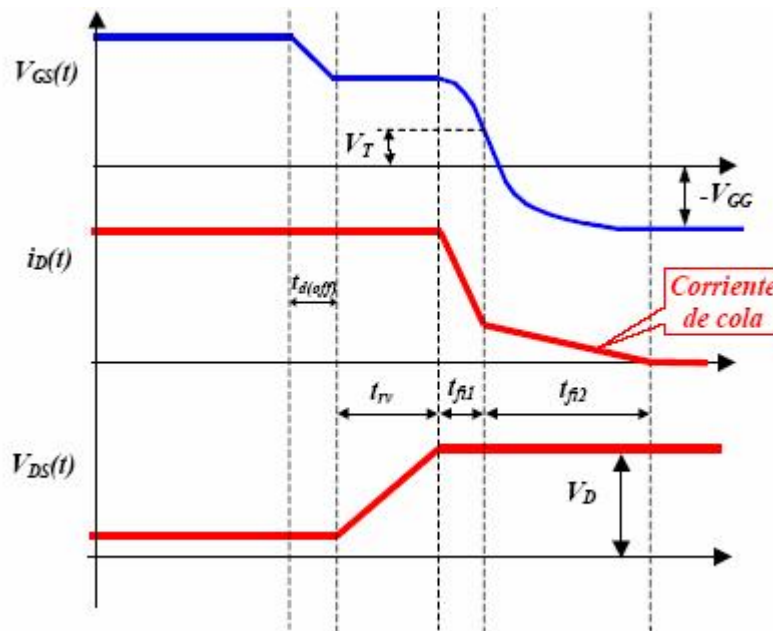


Figura 6.12. Formas de Onda Características de la Tensión y Corriente en el Apagado de un

Transistor *IGBT* conmutando una carga inductiva (no comienza a bajar I_d hasta que no sube completamente V_d)

La corriente de cola se debe a la conmutación más lenta del *BJT*, debido a la carga almacenada en su base (huecos en la región *n*-).

- Provoca pérdidas importantes (corriente relativamente alta y tensión muy elevada) y limita la frecuencia de funcionamiento.
- La corriente de cola, al estar compuesta por huecos que circulan por la resistencia de dispersión, es la causa del “latch up” dinámico.
- Se puede acelerar la conmutación del *BJT* disminuyendo la vida media de los



huecos en dicha capa (creando centros de recombinación). Tiene el inconveniente de producir más pérdidas en conducción. \Rightarrow Es necesario un compromiso.

- En los *PT-IGBT* la capa $n+$ se puede construir con una vida media corta y la n con una vida media larga, así el exceso de huecos en $n-$ se difunde hacia la capa $n+$ donde se recombinan (efecto sumidero), disminuyendo más rápido la corriente.

6.5.3. Características y valores límite del IGBT.

- I_{Dmax} Limitada por efecto Latch-up.
- V_{GSmax} Limitada por el espesor del óxido de silicio.
- Se diseña para que cuando $V_{GS} = V_{GSmax}$ la corriente de cortocircuito sea entre 4 a 10 veces la nominal (zona activa con $V_{DS}=V_{max}$) y pueda soportarla durante unos 5 a 10 μs . y pueda actuar una protección electrónica cortando desde unos 5 a 10 μs . y pueda actuar una protección electrónica cortando desde puerta.
- V_{DSmax} es la tensión de ruptura del transistor pnp. Como α es muy baja, será $V_{DSmax}=BV_{CB0}$ Existen en el mercado IGBTs con valores de 600, 1.200, 1.700, 2.100 y 3.300 voltios. (anunciados de 6.5 kV).
- La temperatura máxima de la unión suele ser de 150°C (con SiC se esperan valores mayores)
- Existen en el mercado IGBTs encapsulados que soportan hasta 400 o 600 Amp.
- La tensión V_{DS} apenas varía con la temperatura \Rightarrow Se pueden conectar en paralelo fácilmente \Rightarrow Se pueden conseguir grandes corrientes con facilidad, p.ej. 1.200 o 1.600 Amperios. En la actualidad es el dispositivo mas usado para potencias entre varios kW y un par de MW, trabajando a frecuencias desde 5 kHz a 40kHz.

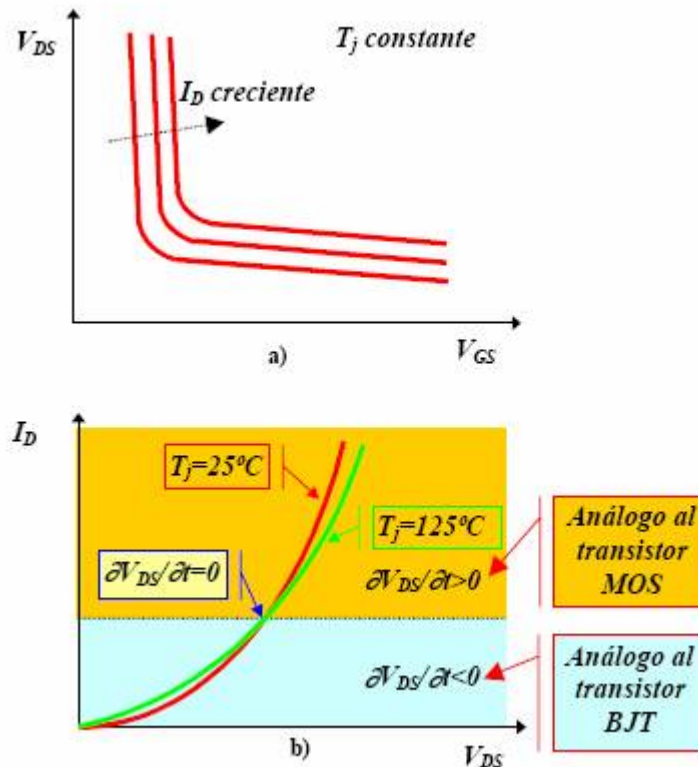


Figura 6.13. Efecto VGS

- a) Efecto de VGS y la corriente de drenador sobre la caída en conducción (Pérdidas en conducción). \Rightarrow Uso de VGS máximo (normalmente=15V).
- b) Efecto de la corriente de drenador sobre la derivada de la caída en conducción respecto a la temperatura.
- Derivadas positivas permiten conexión en paralelo.
 - Para funcionamiento de dispositivos aislados es preferible una derivada negativa, ya que al subir la corriente, sube la temperatura disminuyendo la caída de potencial (suben menos las pérdidas).
 - En los PT-IGBT, la corriente nominal suele quedar por debajo del límite (siempre derivadas negativas) en los NPT-IGBT, se suele trabajar en zona de derivada positiva.

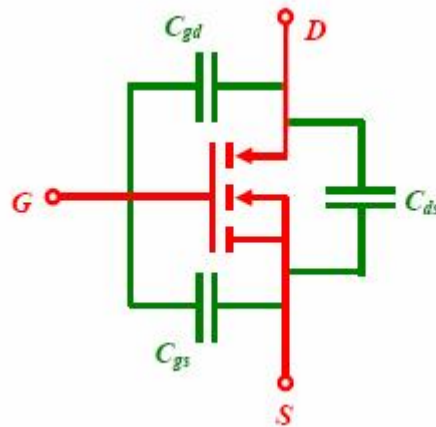


Figura 6.14. Capacidades NPT

Las capacidades que aparecen en los catálogos suelen ser:

- *Cre* o *Cmiller* : es la *Cgd*.
- *Ci*, Capacidad de entrada: es la capacidad suma de *Cgd* y *Cgs*. (Medida manteniendo *VDS* a tensión constante).
- *Co*, Capacidad de salida: es la capacidad suma de *Cgd* y *Cds*. (Medida manteniendo *VGS* a tensión constante).

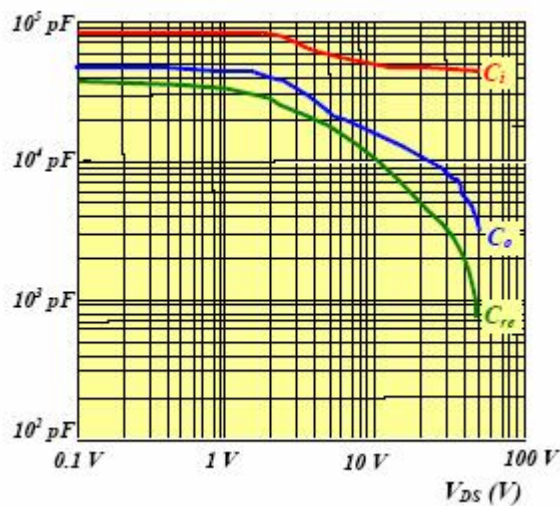


Figura 6.15 Efecto de la tensión *VDS* sobre las capacidades medidas en un transistor IGBT.

Puede observarse que cuando está cortado son mucho menores que cuando está conduciendo

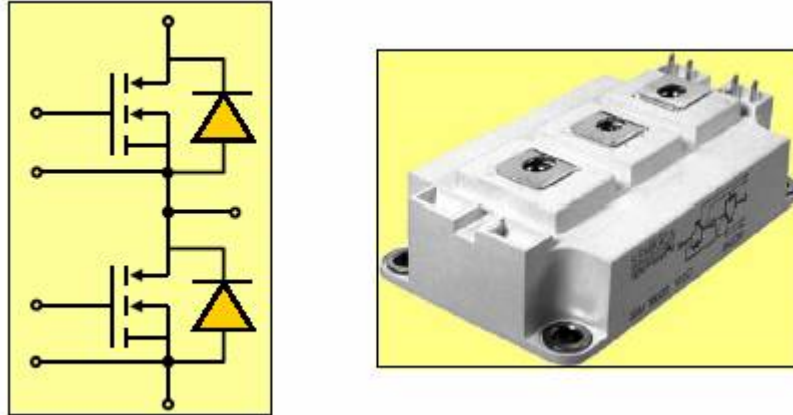
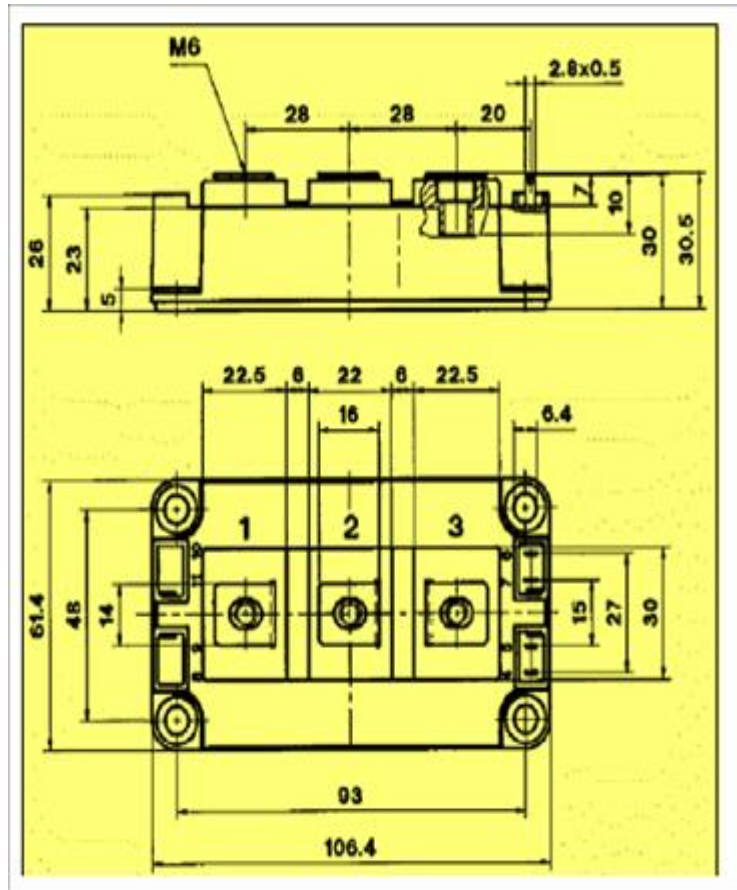


Figura 6.16 Módulo Semipunte 1200V, 400Amp



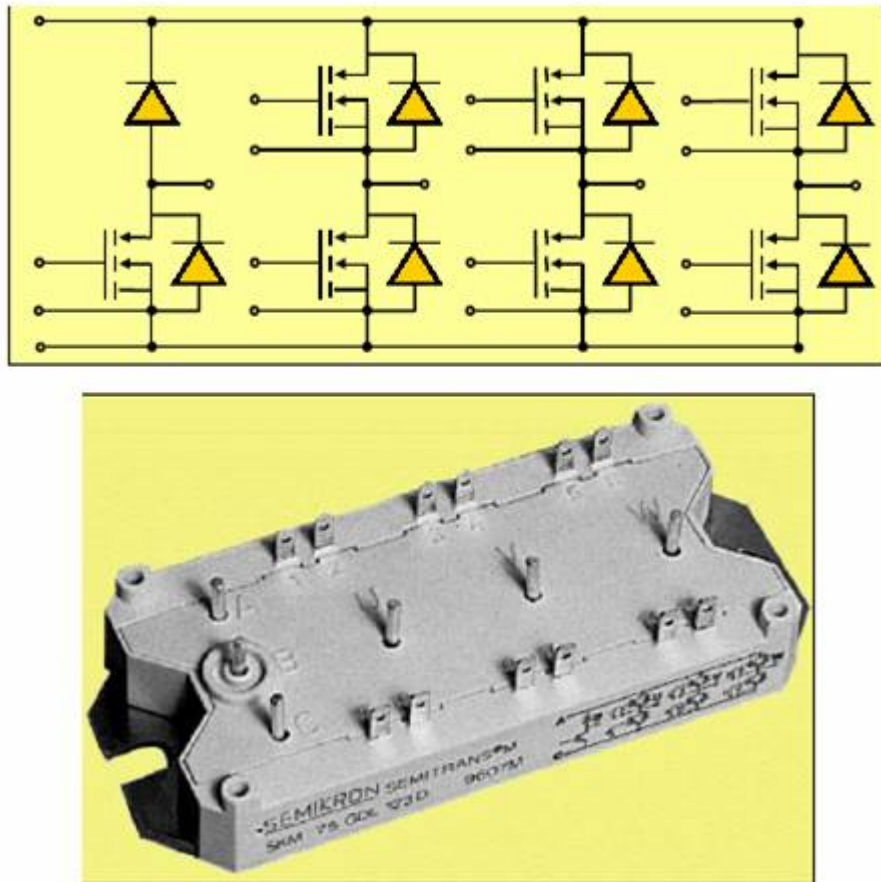


Figura 6.17 Módulo con 7 IGBT's encapsulados.1200V, 75Amp
105x45x18mm



CAPITULO 7:

CRITERIOS DE CABLES, CABLEADO Y RUTAS DE CABLEADO.

El objetivo de esta regla, es reducir el acoplamiento magnético de cables con campos locales o externos y la radicación de bucles diferenciales (bucles entre líneas de señal o de energía y sus retornos) y bucles de modo común (bucles entre los cables activos y el chasis).

- Los cables de “ida” y “vuelta” deben de mantenerse juntos dentro del mismo arnés. Cables de pares trenzados eran usados muy probablemente.
- Cables de alimentación auxiliar (red de 460 VCA de tres fases), serán trenzados.
- En medida de lo posible los cables tipo AON (“Todo o Nada”) correrán con su potencial de referencia.
- Donde sea necesario que un solo hilo lleve el retorna de varios hilos, todos los hilos serán tejidos juntos o formar parte de un cable multiconductor.
- Los cables deberán correr lo más cerca posible de la estructura metálica.
- Los soportes para los arneses, deberán ser metálicos y conectados con puntas cortas (baja independencia) a la estructura, a intervalos frecuentes.
- La longitud de los cables debe de ser minimizada (la partición previa de aparatos, subsistemas, componentes y la definición de interfaces, ayudara a reducir las diferencias entre los puerto).

- Cuando se logre alcanzar la distancia mínima de separación, definida previamente, los bucles entre los circuitos de señal y su alimentación serán limitados.
- Las áreas de bucles en circuitos de alta di/dt, serán minimizados.

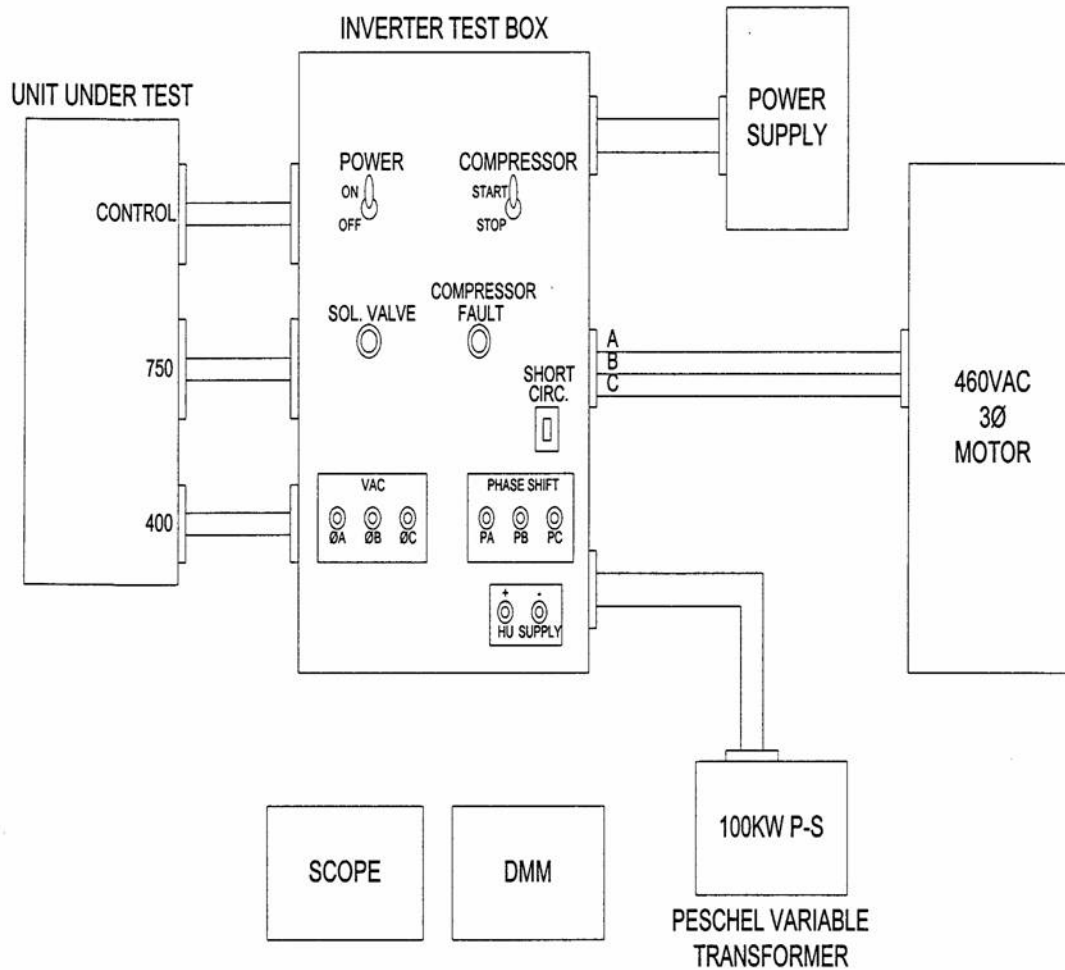


Figura 7.1. Arreglo de prueba funcional del controlador del inversor.



7.1. Protección de cables sensibles.

El propósito de este aparato es el de evitar la radiación de cables y en especial la unión de cables con campos externos e internos.

- Se utilizan cables blindados, para circuitos sensibles pertenecientes a las clases 1,2 y 3.

NOTA: los cables de alimentación no necesitan blindajes, debido a que pueden ser filtrados adecuadamente.

- Los blindajes, serán aterrizados preferiblemente en ambos extremos, en el caso de cables entre aparatos que se encuentran en el mismo carro o locomotora.
- Preferentemente los blindajes deberán estar aterrizados solo en un extremo.
- Los blindajes, no deberán de entrar en los aparatos.
- La continuidad de los blindajes deberá de asegurarse a la entrada del inversor.

7.2. Especificaciones del cable utilizado en el inversor.

7.2.1. Alcance.

Esta especificación cubre el cable para transporte de conductor sencillo, clasificado para 600 volts o 2000 volts, CA o CD, aislado con exane, una cubierta térmica (cruzada) retardante de llama polyolefin para operación normal a 110 °C

7.2.2. Aislamiento.

El aislamiento debe de ser de pared extruida de EXANE con un grosor promedio mínimo. El grosor del aislamiento es estándar de la asociación de ingenieros de cable de energía aislado (IPCEA) el aislamiento debe cubrir largos periodos de prueba de inmersión de agua (26 semanas, 90°C).

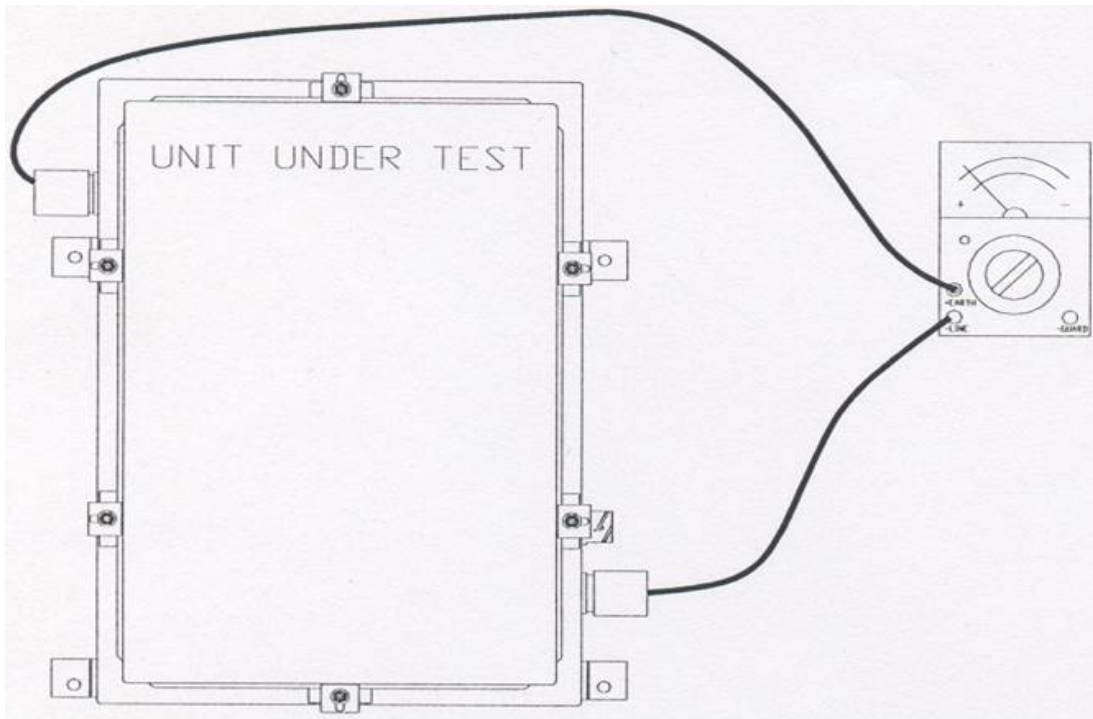


Figura 7.2. Arreglo de prueba aislamiento

7.2.2.1. Valores garantizados de propiedades físicas.

1. Original

Esfuerzo a tensión, min. , PSI 1800

Elongación en ruptura, Min. , porcentaje 250

2. Requerimientos de tiempo de vida

Después de un horneado al aire durante 7 días a 158°C +/- °C para 168 horas.

Esfuerzo a tensión, Min. Porcentaje de un valor del tiempo de vida 90%

Elongación mínimo porcentaje de un valor del tiempo de vida	50%
3. Distorsión de calor, 150 °C +/- 2°C, MAX. Porcentaje de un valor del tiempo de vida 4/0 AWG y mas pequeño	20%
Mayor de 4/0 AWG	10%

7.2.2.2. Prueba eléctrica.

1. Constante de resistencia de aislamiento a 15.6 °C
2. Pruebas de voltaje.

Los conductores aislados deben de soportar los voltajes de prueba CA o CD por 5 minutos después de 6 horas de inmersión en agua o deben de soportar pruebas de impulsos dieléctricos usando un voltaje de prueba de impulso de 18.0 KV. Los aparatos de prueba deben de consistir de un probador de ionización de pulsos.



Figura 7.3. Cable 4/0 AWG.



7.2.2.3. Corrosividad.

El espécimen de prueba debe de ser aproximadamente 0.4 gramos del aislamiento cortado en partes pequeñas.

Después de un periodo de prueba de 16 horas $175\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$, el remover mas del 5% de una película de cobre constituye una falla.

7.2.2.4. Resistencia al aceite caliente.

Después de 96 horas de inmersión en aceite a $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ el incremento del diámetro del cable no debe de exceder 40%. El aislamiento no debe de mostrar grietas, rupturas o separaciones.

Los conductores deben de consistir de un cobre suave delgado desnudo. El trenzado de los conductores debe de ser de acuerdo con la tabla del 12 construcción sencilla puede ser usada a opción del fabricante.

7.2.3. Acabado.

Cada cable debe de ser identificado por las marcas de hilo coloreadas del fabricante aplicadas bajo del aislamiento o deben de estar impresas en la superficie exterior la identificación del fabricante, el tamaño del conductor y el rango del voltaje.

El conductor sencillo y multiconductor esta clasificado de 600 a 2000 volts y tienen un rango de temperatura del conductor de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. estos cables están disponibles con trenzado flexible, conductores de cobre delgado, el aislamiento es un retardante de flama de compuesto de polyolefin cruzado el cual combina excelente resistencia al aceite con propiedades térmicas, eléctricas y físicas superiores.



7.3. Aislamiento exane.

El aislamiento es una irradiación de un compuesto de polyolefin cruzado el cual es termo ajustable en naturaleza con tan excelente balance de propiedades que el cable no necesita cubierta externa. EXANE ofrece las ventajas siguientes sobre los tipos antiguos de cables para carro y locomotoras.

Rangos altos de temperatura.

Diámetros pequeños.

Peso ligero.

Resistencia mejorada al aceite.

Sin cubiertas.

Robustes mecánica.

Sobrecargas mecánicas altas.

Resistencia a la humedad mejorada.

Mejorado eléctricamente.

7.3.1. Aplicación.

El cable de transporte rápido EXANE esta diseñado para el uso en energía y circuitos de control en trenes ligeros, trenes subterráneos y carros de conmutación. Debe ser considerado para puntas de motor, para ya sea CA o CD, u otras aplicaciones rudas donde los conductores flexibles trenzados y un balance de propiedades excelentes son requeridas.

7.3.2. Construcción.

Los cables EXANE tienen conductores de cobre delgados trenzados. El aislamiento es un compuesto de irradiación especial cruzado, termo ajustable, polyolefin de alta temperatura cuyo ingrediente principal esta mezclado con rellenadotes reforzados cuidadosamente seleccionados para proporcionar



excelentes propiedades eléctricas combinadas con estabilidad térmica sobresaliente, resistencia a la flama y propiedades mecánicas. El aislamiento no es afectado por el ozono en cualquier prueba estándar de ozono.

7.3.3. Rangos de temperatura.

La tabla 7.1 compara el rango de temperatura relativa del conductor de cables EXANE a los rangos de otros aislamientos de acuerdo con los rangos publicados para aplicaciones de transporte rápido. Los cables EXANE tienen rangos comunes altos que cualquier cable de transporte de propósito general en uso hoy. Este rango mejorado indica mayor capacidad para el mismo tamaño del cable o conductores del tamaño más pequeño para una carga dada.

90 C	90 C	75 C	90 C	90 C	110 C
EPR/Hyp	Hyp	Hule/Neo	XLPVC	XLPE	EXANE

TABLA 7.1. Rangos de temperatura.

7.3.4 Doblado en frío (flexibilidad baja temperatura).

Muchas aplicaciones de la industria del transporte incluyen temperaturas ambientales tan bajas como -70 °F (-58°C) y necesitan un hilo que sea flexible a esta temperatura. La prueba del doblado en frío referenciada MIL-W-22759, usada por el departamento de defensa, es particularmente valido para pruebas de baja temperatura debido a que requiere que el hilo sea doblado en una caja fría a la temperatura de exposición. Un peso de tres libras es sujeto a un extremo de una muestra de cable giratorio en una cámara fría y condicionada a -65 °C (-85 °F) durante cuatro horas. Al final de este periodo el espécimen es envuelto 20 vueltas alrededor del Madrid sin abrir la cámara. Al final las muestras son examinadas por grietas, luego probadas dielectricamente en agua durante 5 minutos a 2500 volts RMS la tabla 2 da los resultados típicos para los aislamientos seleccionados.

EXANE		PASO
Hule/Neopreno	(AAR 581.3)	FALLO
EPR/Hypalon	(AAR 591)	FALLO
Hypalon	(AAR 589)	FALLO

TABLA 7.2. Prueba de doblado en frío -65 °C (-85 °F)

7.3.5. Corte dinámico.

La tabla 7.3. muestra datos típicos para la resistencia al corte del cable EXANE (Ver figura 43) en comparación con otros cables. Las muestras de cables en un probador montado en un probador tipo Instron con el eje del espécimen perpendicular al extremo de corte (herramienta de corte 1/16 de pulgada de radio). Cuando un circuito eléctrico detecta un corte, la máxima fuerza en libras en el lado de corte es registrado. Esta prueba es similar a la prueba de baja compresión UL para el material de cableado de línea blanca y la prueba de pinchado SAE para el hilo primario automotriz.

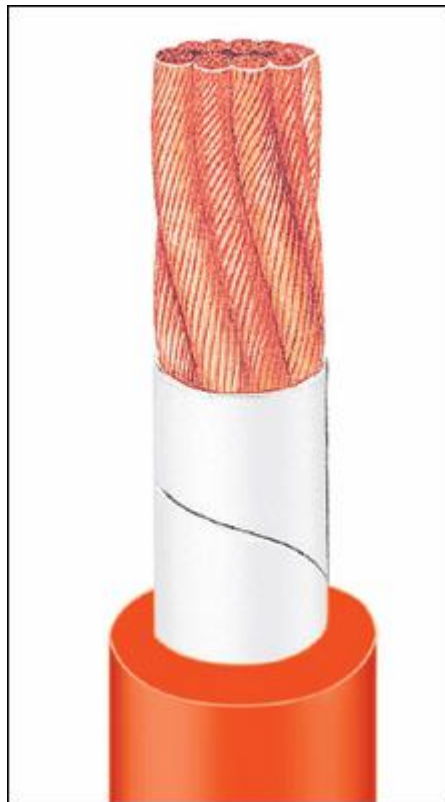


Figura 7.4. Ejemplo del cable EXANE



Hule/Neopreno (AAR 581.3)	81
EPR/Hypalon (aar 591)	141
Hypalon (AAR589)	111
XLPVC	108
EXANE	373

TABLA 7.3. Resultados de corte dinámico

7.3.6. Resistencia a los aplastamientos.

Una prueba a la resistencia de los aplastamientos de una placa plana UL es usada para simular el daño ocasionado por una fuerza de compresión, en un área grande es aplicada repentinamente al hilo durante la instalación o durante el servicio subsecuente. Este tipo de prueba simula el abuso que un hilo experimenta cuando es directamente expuesto al tráfico vehicular y peatonal. Ver la tabla 7.4 para resultados típicos. EXANE muestra dos veces más la resistencia a los aplastamientos que todos los demás compuestos.

Hule/Neopreno (AAR 581.3)	2450
EPR/Hypalon (AAR 591)	3268
Hypalon (AAR589)	2790
XLPVC	2138
EXANE	6748

TABLA 7.4 Resultados de resistencia a los aplastamientos (libras que provocan la falla)

7.3.7. Flexibilidad.

EXANE es un sistema de aislamiento flexible tanto mecánicamente fuerte. La tabla 7.5 muestra los datos típicos para la flexibilidad comparativa de EXANE a otros sistemas de aislamiento, comparando al cable 4/0 AWG con 550/24 AAR trenzado.



Aislamiento	Grosor nominal de la pared (pulgadas)	Fuerza (PSI)
ECTFE (HALAR)	.050	408
XLPVC	.055	403
FEP (TEFLON)	.050	385
ETFE (TEFZEL 280)	.050	365
ETFE (TEFZEL 200)	.050	301
EXANE	.055	174
HULE/NEOPRENO	.185	126

TABLA 7.5. Resultados de flexibilidad

7.3.8 Resistencia a la flama.

El aislamiento EXANE, debido a los materiales usados cuidadosamente seleccionados en el compuesto y su naturaleza termo ajustable, tiene excelente resistencia a la flama y fácilmente pasa la prueba de flama horizontal y la más difícil prueba de flama vertical VW-1.

7.3.9 Sobrecarga térmica (conductor sencillo).

Muchos ingenieros de la industria del transporte han reportado que las situaciones de sobrecarga eléctrica masiva son uno de los principales problemas en servicio encontrados a lo largo de los años con el cableado existente. Las características de sobrecarga térmica del EXANE son probadas por un procedimiento el cual aplica una corriente de 145 amperes continuos a una longitud conocida de hilo aislado de 12 AWG (37/27). Una corriente eléctrica pequeña con un potencial de 1000 volts es mantenida entre el espécimen de prueba y un hilo de cobre desnudo de 18 AWG envuelto suavemente alrededor de la superficie de aislamiento externa. La falla ocurre en esta prueba cuando se ocasiona un cortocircuito entre el hilo de cobre desnudo exterior y el espécimen de prueba. Ver la tabla 7.6 para resultados típicos.

Aislamiento	Grosor (pulgadas)	Tiempo promedio (min,seg)
Hule/Neopreno (AAR 581.3)	.077	4:18
Hypalon (AAR 591)	.075	2:02
EPR/Hypalon (AAR 589)	.047	5:0
XLPVC	.030	1:42
EXANE	.047	4:15
ECTFE (HALAR)	.030	1:25

TABLA 7.6. Resultados de sobrecarga térmica en un conductor sencillo



Figura 7.5. Tipo de conductor utilizado en el inversor (4/0 AWG)

7.3.10. Resistencia al aceite.

Un cambio en dimensiones de un material aislante después de la exposición a un fluido es una indicación de que un cambio ya sea físico o químico se ha realizado en el material. En la adición a los cambios de propiedades posibles, hinchado no usual del interior del aislamiento, un conductor lleno puede llevar a una migración indeseable del conductor o esfuerzo excesivo en las conexiones eléctricas y conectores. Aceite de peso ligero, tal como el diesel, tendrá generalmente un mayor efecto perjudicial que los aceites mas pesados. Para los resultados típicos mostrados en la tabla 7.7 muestra de hilos aislados de calibre 12 AWG fueron inmersos en aceite diesel a 60 °C.

EXANE lo hace mejor después de la inmersión en diesel que otros cables comúnmente usados en los carros y locomotoras. En adición a la resistencia



sobresaliente al aceite, EXANE tiene excelente resistencia a los químicos tales como ácidos, alcalinos y solventes.

Aislamiento	% Hinchamiento
Hule/Neopreno (AAR 581.3)	24 %
EPR/Hypalon (AAR 589)	29 %
Hypalon (AAR591)	20 %
EXANE	16 %

TABLA 7.7. Resultados de resistencia al aceite (60 °C Aceite Diesel).

7.4 Purificación de gases corrosivos.

Bajo altas temperaturas y condiciones de flama todos los materiales se descompondrán. La liberación de gases corrosivos del aislamiento del hilo ocurrirá bajo ambas condiciones con corrosión resultante al equipo y posible riesgo de salud. Un procedimiento de prueba especializado mide la cantidad de gas acido en un aislamiento calentando una muestra de material y recogiendo el gas en un indicador sujeto a un extremo del tubo detector después de que el gas es llevado al tubo por la bomba de vacío. La longitud del indicador que ha cambiado de color determina el contenido del gas acido en partes por millón (ppm) en un miligramo (mg) de compuesto quemado. La tabla 7.8 muestra resultados típicos de esta prueba en muestras de diferente aislamiento y materiales de funda.

EXANE	250
Hypalon	1000
ETFE	1000
Neopreno	1500
ECTFE	1500

TABLA 7.8 Resultados de generación de gas acido (ppm).



7.5. Generación de humo.

Características de la emisión de humo (densidad óptica) del hilo y del cable para vehículos de transporte rápido han estado bajo considerable escrutinio. Aun cuando varios métodos de prueba han sido observados, la cámara de humo NBS con flama (F) y sin flama (N) fuentes de calor es el mas popular. Los especimenes de hilos son bobinados alrededor de un banco de metal, para calibre 12 AWG (37/27). La tabla 7.9 muestra los resultados típicos para una variedad de tipos de hilos.

	Pared (pulgadas)	Modo	D _s (1.5)	D _s (4.0)	D _M
ETFE(Tefzel)	0.017	F	50	200	310
		N	0	10	16
ECTFE(Halar)	0.017	F	50	150	367
		N	5	10	17
EPR/Hypalon	0.045	F	200	400	676
		N	100	250	460
Hypalon	0.050	F	100	300	420
		N	50	250	370
Hule/neopreno	0.074	F	100	275	354
		N	50	300	383
XLPVC	0.030	F	200	300	330
		N	100	250	328
EXANE	0.045	F	100	200	400
		N	10	50	150
PTFE(Teflón)		F	0	10	15
		N	0	5	5

TABLA 7.9. Resultados de generación de humo (Densidad óptica).

D_M= máxima Densidad óptica Especificada

D_s(4.0)= Densidad óptica Especifica después de 4 minutos

D_s(1.5)= Densidad óptica Especifica después de 1 ½ minutos



CAPITULO 8

ANÁLISIS SISTEMÁTICO Y DE CONTROL CON PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL CONJUNTO MOTOCOMPRESOR.

8.1. Análisis de fiabilidad para la unidad inversora.

El análisis de fiabilidad ha sido realizado usando las cuentas del método de predicción de fiabilidad descrito en MIL-HDBK-217F noticia 2. El análisis ha sido realizado usando un modo de ambiente móvil de bases. Los factores de calidad usados son para componentes industriales con pantalla y componentes militares donde sea aplicable.

8.1.1. MIL-HDBK-217 .

El análisis de sistemas electrónicos y mecánicos esta basado en el hecho de asumir de que el sistema funcionara en un ambiente particular y puede fallar en cualquier momento aleatoriamente.

En un momento, una falla en un sistema puede causar al usuario algún inconveniente, pero en otros momentos el impacto puede ser mayor causando la perdida de vidas humanas.

El manual original de la predicción de la confiabilidad era Mil-hdbk-217, el manual militar para la "predicción de la confiabilidad del equipo electrónico". Mil-hdbk-217 es publicado por el departamento de la defensa, basada en el trabajo hecho por el centro de análisis de la confiabilidad y el laboratorio de Roma en Griffiss AFB, NY.

El manual Mil-hdbk-217 contiene los modelos del porcentaje de averías para los



varios tipos de la parte usados en sistemas electrónicos, tales como ICs, transistores, diodos, resistores, condensadores, relays, interruptores, conectadores, etc. Estos modelos del porcentaje de averías se basan en los mejores datos del campo que se podrían obtener para una variedad amplia de piezas y de sistemas; estos datos después se analizan y se dan masajes, con muchas asunciones de simplificación lanzadas adentro, para crear modelos usables.

Para IGBT's, los datos del fabricante han sido usados.

Para facilitar el cálculo, la unidad inversora ha sido dividida en sus componentes operacionales, típicamente unidades reemplazables de línea cuyos rangos de falla inherente pueden ser establecidos.

8.2. Resultados.

El MTBF¹⁵ calculado de la unidad inversora es 104,841 horas, las cuales corresponden a un MDBF¹⁶ de 1,404,869 millas usando un promedio de 13.4 mph.

8.3. Reducción del régimen nominal de componentes.

Todos los semiconductores serán operados al menos del 50 % del rango de corriente continua máxima o 50 % del rango de energía continua máxima.

Resistencias de baja energía (menor de 1 W) serán operadas al menos del 25 % de su rango máximo de energía.

Capacitor electrolítico de Alto Voltaje, tipo aluminio son reducidos de su régimen nominal al 20 %. Capacitor de tantalio solidó son reducidos de su régimen nominal al 40 %. Todos los otros tipos son reducidos de su régimen nominal al 50 %.

Transformadores e inductora son reducidos de su régimen nominal al 20 % para picos de corriente.



Basado en los resultados y considerando que la parte de análisis de cuenta es siempre inferior que el análisis detallado, el objetivo de 1,400,000 millas por carro será excedido.

Descripción	Relación de Falla falla/10 ⁶ horas	Cantidad	Relación de Falla Total falla/10 ⁶ horas	MTBF ¹⁵ (horas)
Gabinete	0.64596	1	0.64596	1,548,083
Disipador de calor	0.6409	1	0.6409	1,560,305
Módulo fuente de poder	1.2744	1	1.2744	74 682
Interrupción suave	0.6111	3	1.8333	545,553
Protección de picos/transitorios	0.6228	1	0.6228	1,605,651
Módulo de poder	0.8064	3	2.4192	41 3,359
Filtro de salida	0.4513	1	0.4513	2,215,820
Módulo controlador	1.6503	1	1.6503	605,950

Tabla 8.1. Resumen de la predicción de fiabilidad.

$b = 9.5382 \text{ falla} / 10^6 \text{ horas}$

$MTBF^{15} = 104,841 \text{ HORAS}$

$MDBF^{16} = (13.4 \text{ mph}) \text{ MDBF}^{16} = 1,404,869 \text{ millas}$



Descripción	Cantidad (N)	Relación de falla por 106 horas (GM)	Π_Q	$(0.7) N_{GM} \Pi_Q$
Semiconductores	1 4 0.039		1	0.1092
CI Lineal				
CI CMOS, digital	8	0.027	1	0.1512
Reloj de tiempo Real	1	0.080	1	0.0560
EPROM (512 kb)	1	0.071	1	0.0497
ADS 1206	1	0.240	1	0.1680
Oscilador de Cristal	- 1	0.32	1	0.2240
Transistor NPN	4	0.0017	55	0.0262
Transistor PNP	4	0.0017	5.5	0.0262
Transistor Mosfet	2	0.050	1	0.070
Diodos de Switcheo	5	0.013	1	0.0455
Diodos Zener	2	0.039	1	0.0546
Supresor de transitorios	4	0.040	1	0.1120
Receptor Opto	10	0.013	1	0.0910
Salida Opto	12	0.0056	1	0.0470
LEDS	10	0.0056	1	0.0392
Capacitores Cerámica CKR	10	0.064	0.1	0.0448
Tantalio, CSR sólido	6	0.037	0.3	0.0466
Resistencias Película, RNC	20	0.070	0.1	0.0980
Potencia, 2W,RWR	2	0.160	0.1	0.0224
Conector PCB	3	0.027	1	0.0567
PWB,4 capas	1	0.160	1	0.112

Tabla 8.2. Tarjeta Controladora



$b = 1.6503 \text{ falla} / 10^6 \text{ horas}$ $MTBF^{15} = 605,595 \text{ horas}$

Descripción	Cantidad	Relación de falla por 10^6 horas	$11Q$	$(0.7) N_{GM} 11Q$
IGBT	3	0.05	5	0.525
Capacitor amortiguador CRH	1	0.018	3	0.0378
Rectificador de Entrada	2	0.013	1	0.0182
interrupción de temperatura (3 transistores + 4 resistencias - hall)	1	0.0856	1	0.0590

Tabla 8.3 Ensamble Disipador de Calor del Inversor

$MTBF^{15} = 1,560,257 \text{ horas}$

$b = 0.6409 \text{ Falla} / 10^6 \text{ horas}$

Descripción	Cantidad N	Relación de Falla GM por 10^6 horas	$11Q$	$(0.7) N_{GM} 11Q$
SCR	1	0.034	5.5	0.1309
Capac. Electrolítico (CU)(alud)	2	0.047	3.0	0.1974
Resistencia de balance (RWR)	2	0.078	1	0.1092
Fusible	1	0.04	1	0.0280
Bloque de terminales	1	0.1766	1	0.1236
Sensor de corriente	2	0.059	1	0.0826
Bobina de entrada	1	0.00032	10	0.0022

Tabla 8.4. Gabinete

$b = 0.64596 \text{ falla} / 10^6 \text{ horas}$ $MTBF^{15} = 1,548,083 \text{ horas}$



8.4. Análisis y pruebas de la unidad inversora en condiciones extremas.

	COMENTARIOS
<p>1 Segregación de circuitos</p> <p>1.1 Categorización de circuitos (6 tipos)</p> <p>1.2 Mantener alejados los circuitos emisores lejos de los circuitos victima en todos los niveles (aparatos, conectores, cables). Cumplir con la separación mínima de distancia entre cables.....</p> <p>1.3 Cruce entre diferentes tipos de cables en ángulos rectos.....</p>	<p>-Circuitaria analógica, sensor de corriente PWM¹⁷</p> <p>-Microprocesador y lógica</p> <p>-Fuente de poder aislada de la batería</p> <p>-Circuito de batería referenciado: señal de control para la válvula de desfogue, parada, señales de arranque para el compresor</p> <p>-IGBT, entrada de 600 VCD, diodo de protección de entrada</p> <p>-Circuitos especiales: fibra óptica y controlador de fibra óptica</p>
<p>2- Lazos mínimos</p> <p>2.1 Mantener juntos cables de “ida” y “retorno” en el mismo arnés.....</p> <p>2.2 Los cables de alimentación auxiliares (480V trifásicos) están trenzados</p> <p>2.3 Cables “todo o nada” van con su potencial de referencia.....</p> <p>2.4 Los cables corren cerca de la estructura de</p>	<p>-Dentro de la unidad</p> <p>-Todos los cables corren cerca del fondo del gabinete</p> <p>-Las varillas son usadas para la</p>



<p>metal.....</p> <p>2.5 Los soportes del arnés son metálicos y conectados por puntas cortas a la estructura a intervalos frecuentes.....</p> <p>2.6 Longitudes de cable minimizadas (la distribución de las paredes componentes y la definición de interfases deben de permitir eso).....</p> <p>2.7 Los lazos entre circuitos de señales y sus cables de alimentación están limitados.....</p> <p>2.8 Las áreas de lazo en circuitos de alto di/dt son minimizados.....</p>	<p>fijación del arnés.</p> <p>-Los módulos están cerca del interruptor de encendido. Los cables de CD son más largos pero relativamente cortos.</p> <p>-El encendido es realizado cerca de los filtros principales.</p>
<p>3-Minimizar la impedancia de las uniones de tierra</p> <p>3.1 No aterrizado “estrella”. Uso del chasis de metal del vehiculo como plano de tierra.....</p> <p>3.2 Puntas de con longitudes cortas y suficiente ancho.....</p> <p>3.3 Las conexiones aseguran una buena continuidad eléctrica (tornillos, sin pintura o superficie aislante).....</p> <p>3.4 La impedancia de la conexión “chasis/OV electrónico) es minimizado.....</p> <p>3.5 Las colas de cochino para las pantallas de cable</p>	<p>-Terminal de tierra (Terminal de acero inoxidable)</p> <p>-Se usa solamente cable apantallado por CIN</p>



<p>de tierra son evitadas y preferiblemente remplazadas por conexiones directas y periféricas</p>	
<p>4 Minimizar la impedancia electrónica de tierra 4.1 No aterrizado “estrella”. Use una tierra de rejilla o un plano de tierra..... 4.2 Use tarjetas multinivel para circuitos lógicos....</p>	<p>-Planos de tierra se usan en PCB¹⁰ -Todas las tarjetas son de 4 capas con planos de tierra</p>
<p>5-Filtrado 5.1 Modo de filtrado diferencial y común en la alimentación de entrada por batería de las unidades de control electrónico..... 5.2 Filtros de modo común colocados bajo filtros diferenciales (lado electrónico)..... 5.3 Uso de componentes de filtrado con frecuencia de corte alta 5.4 Filtro cerca del equipo I/O..... 5.5 Conductores filtrados no regresan a áreas disturbadas. Puntas de filtros de entrada y salida están separadas..... 5.6 La impedancia de las puntas de los capacitares de modo común son minimizadas..... 5.7 Proporcionar una localidad para la instalación eventual de una inductancia HF en el techo y debajo del VCB.....</p>	<p>-Filtrado en nivel de modulo no necesario a nivel frontera de equipo</p>

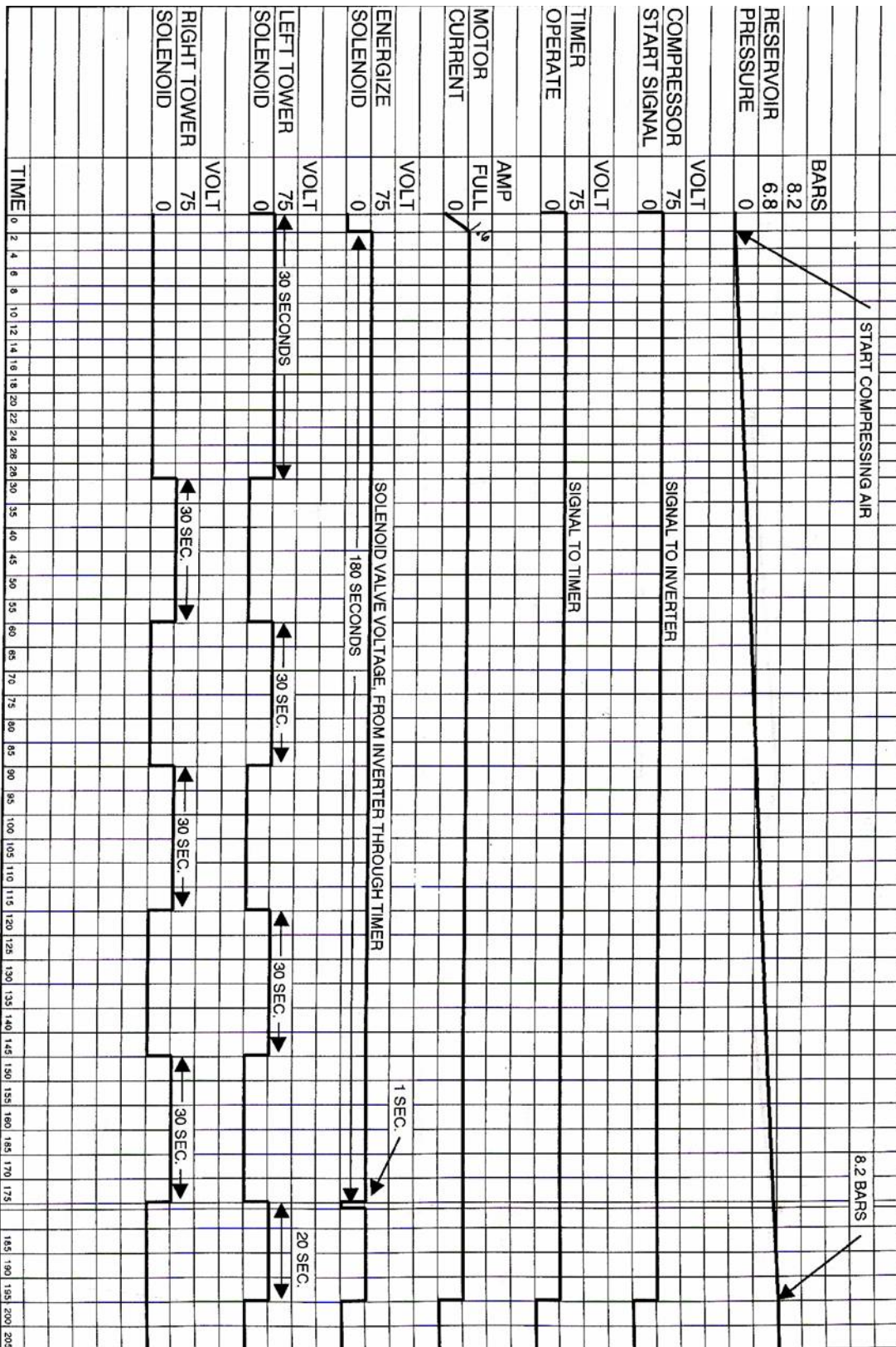


Figura 8.1. Grafica.



8.5. Pruebas de desarrollo.

La prueba de desarrollo fue conducida para revisar las características de voltaje-frecuencia del inversor.

8.5.1. Pruebas de arranque-suave.

El procedimiento de arranque suave fue probado en varios voltajes de CD:

Voltaje aplicado	600V	750V	850V
Tiempo para alcanzar el 90% de la velocidad final	1.2 seg.	1.4 seg.	1.5 seg.
Corriente máxima de CA	20 A	20 A	20 A
Corriente máxima de CD	20 A	19 A	18 A

Tabla 8.5. Prueba de arranque.

8.5.2. Pruebas de funcionalidad.

Se realizo pruebas de la circuiteria de desagrupamiento en operación de múltiple arranque-paro (aprobado).

Operación de la válvula solenoide (aprobado).

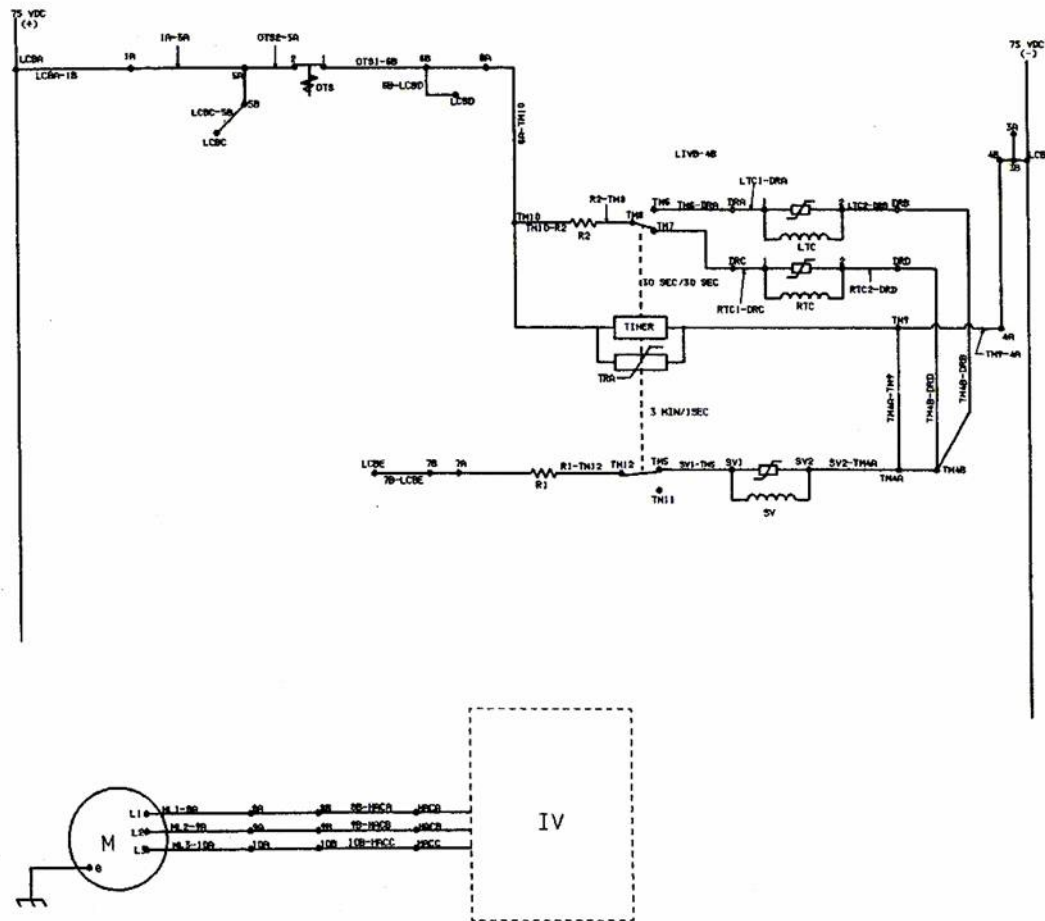


Figura 8.2. Diagrama eléctrico del motor.

8.5.3. Pruebas de bajo voltaje.

Detección del umbral de bajo voltaje con el inversor operando

(Voltaje de entrada disminuyendo)

500 V

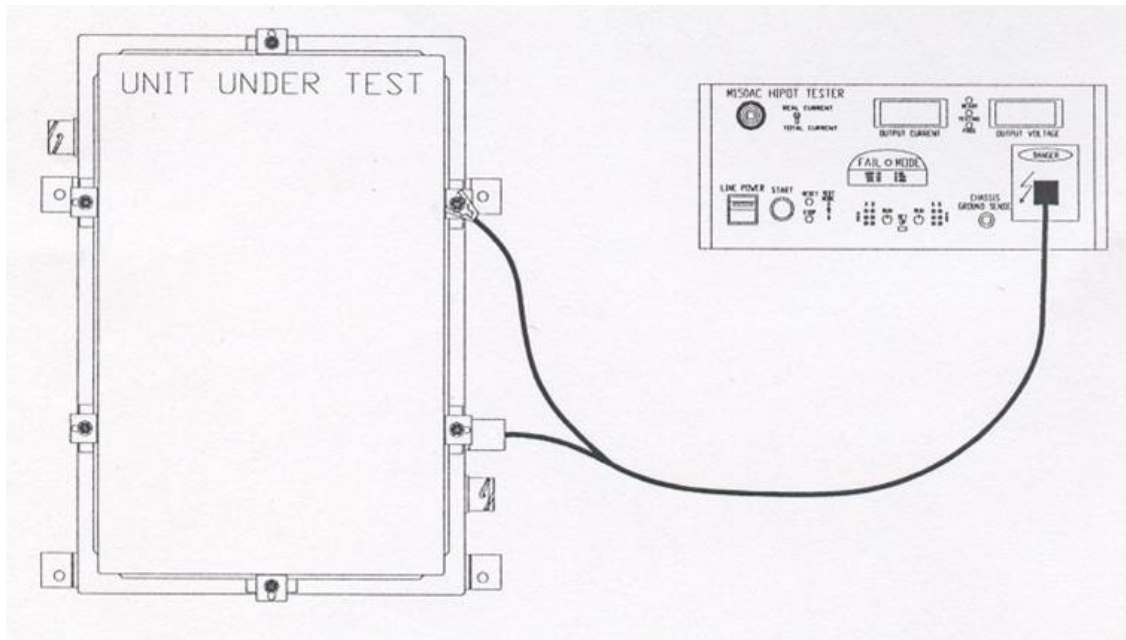


Figura 8.3. Lado bajo voltaje arreglo de prueba alto potencial.

Umbral de liberación de bajo voltaje 560 V
(Rearranque cuando el voltaje de entrada aumenta)

Arranque suave cuando la condición de bajo voltaje se restablece. Aprobado

8.5.4. Pruebas de interrupción larga y corta.

Arranque suave con la entrada de alimentación de CD variando el en Aprobado
Intervalo de tiempo de más de 1 seg.

Operación continua para interrupción mas corta de 1 seg. Aprobado

8.5.5. Condición de sobre corriente.

Una condición de sobrecarga de 50 a de CA fue simulada

El inversor se apaga después de un retardo de tiempo de 0.5 seg. Aprobado

8.5.6. Condición de corto circuito.

Corto circuito de la salida de CA ha sido simulado.

El inversor se apaga después de 5 detecciones consecutivas de Aprobado



Corto circuito (total de 250 M s)

8.5.7. Distorsión del voltaje de salida.

La distorsión armónica total del voltaje del motor de CD ha sido probada en el rango completo del voltaje de CD de entrada.

Voltaje de entrada VCD	600	750	800
THD %	7.1	8.5	9.1

8.6. Pruebas térmicas.

Las pruebas térmicas fueron hechas a voltaje de entrada nominal de 750 VCD y carga de salida nominal (17.6 A CA).

8.6.1. Operación intermitente.

El incremento de temperatura durante operación con un periodo de dos minutos en un ciclo de trabajo de 60% (90 seg.-ENCENDIDO, 30 seg.- APAGADO) después de tres horas de operación.

Radiador del inversor	Tapa del inversor	Modulo controlador	Filtros de salida
20° C	14° C	35° C	50° C

8.6.2. Operación continúa.

Incremento de temperatura durante la operación continúa con un ciclo de trabajo del 100%, después de tres horas de operación.

Resultados del Inversor	Tapa del inversor	Modulo controlador	Filtros de salida
25° C	16°C	40°C	70°C

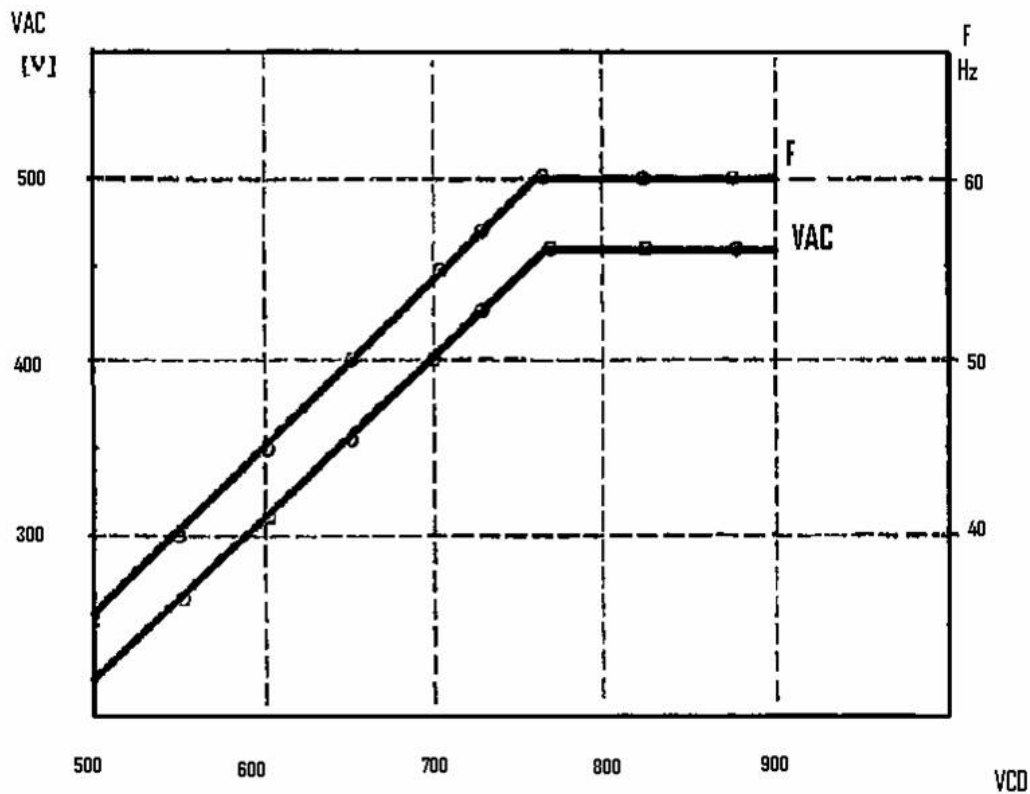


Figura 8.4. Voltaje de salida CA VCA y la frecuencia de salida F del inversor contra el voltaje de entrada de CD.

8.7. Objetivos de la prueba.

Este procedimiento de prueba de calificación es para que sirva como una base para calificar a las unidades de producción. Se requerirá una unidad de prueba para el programa de prueba de calificación. Esta, será completamente representativa de las unidades de producción. Los dibujos de producción, materiales, herramientas, métodos de fabricación, técnicas de ensamble y los acabados, serán usados en su fabricación. La unidad de prueba deberá tener número de serie y estar identificada como una unidad de calificación.

8.7.1. Descripción de las unidades de prueba.

El inversor proporcionara alimentación al motor del compresor del suministro de aire para el sistema de frenado. El compresor es directamente accionado por un motor de CA. El inversor convierte el voltaje de alimentación de CD del tercer riel a un voltaje



CA trifásico, 60 Hz, conectado directamente al motor de CA sin el uso de arrancadores o contactores de motor.

El inversor estará asegurado al chasis del compresor usando soportes de montaje soldados al gabinete del inversor.

El diagrama de bloques del inversor mostrado abajo, consiste de los siguientes elementos:

- Filtro de entrada: diseñado para proteger al inversor contra transitorios de alta y baja energía.
- Inversor: proporciona conversión de voltaje CD a voltaje CA trifásico de magnitud y frecuencia controlables usando la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM¹⁹).
- Filtro de salida: elimina los picos de voltaje que vienen de las conmutaciones del inversor que de otra manera pudieran dañar el aislamiento del motor.

8.7.2. Prueba de inspección visual.

Verifique que el inversor se encuentre libre de defectos físicos. Verifique que todos los ensamblajes y el cableado estén presentes y que estén adecuadamente fijos.

8.7.3. Verificación de dimensiones y tolerancias.

Verifique las dimensiones y tolerancias con el esquema:

- Largo, altura y ancho de la unidad
- Posición de los soportes de montaje
- Altura del disipador de calor

Verifique que el peso de la unidad completa sea inferior de 59 Kg.



8.8. Pruebas de temperatura.

8.8.1. Alcance de la prueba.

El equipo será posicionado como si estuviera montado en el vehículo y energizado como se describe en el siguiente paso. El equipo será colocado en una cámara ambiental y con ciclos continuos entre -25°C a $+50^{\circ}\text{C}$ de acuerdo con el perfil. La temperatura y el voltaje de salida del inversor serán continuamente monitoreados.

8.8.2. Equipo de prueba requerido.

- Fuente de alimentación
- Multímetro FLUKE 87 (dos piezas)
- Sonda de corriente TEKTRONIX
- Registrador de hoja circular (tres canales)
- Transformador de aislamiento
- Dispositivo medidor de temperatura por resistencia (seis piezas)

8.8.3. Equipo especial de prueba requerido.

- Cámara de temperatura

Limite máximo superior $+50^{\circ}\text{C}$

Limite mínimo inferior -25°C

Humedad: No controlada pero mantenida a un nivel sin Condensación y que no exceda de 98% equipado con un registrador de temperatura/humedad.



8.8.4. Consideración especial.

Se deberán de tener los cuidados adecuados para el manejo de tablillas de circuito impreso para evitar daño ESD¹².

8.8.5. Procedimiento de preparación.

8.8.5.1. Preparación.

Asegúrese de que este ensamble haya sido probado exitosamente a temperatura ambiente de acuerdo con el procedimiento de prueba.

Antes de iniciar la calificación de temperatura.

Instale un dispositivo medidor de temperatura por resistencia (RTD) en cada uno de los siguientes puntos.

- Cerca de Q1 (en el disipador de calor)
- Cerca de Q3 (en el disipador de calor)
- En la caja del capacitor de entrada
- En el modulo controlador principal
- L1
- L2
- Temperatura ambiente dentro de la unidad.

Coloque la unidad dentro de la cámara de temperatura de tal forma que esté posicionada de la misma manera como si estuviera montada en el vehiculo.



8.8.6. Metodología de la prueba.

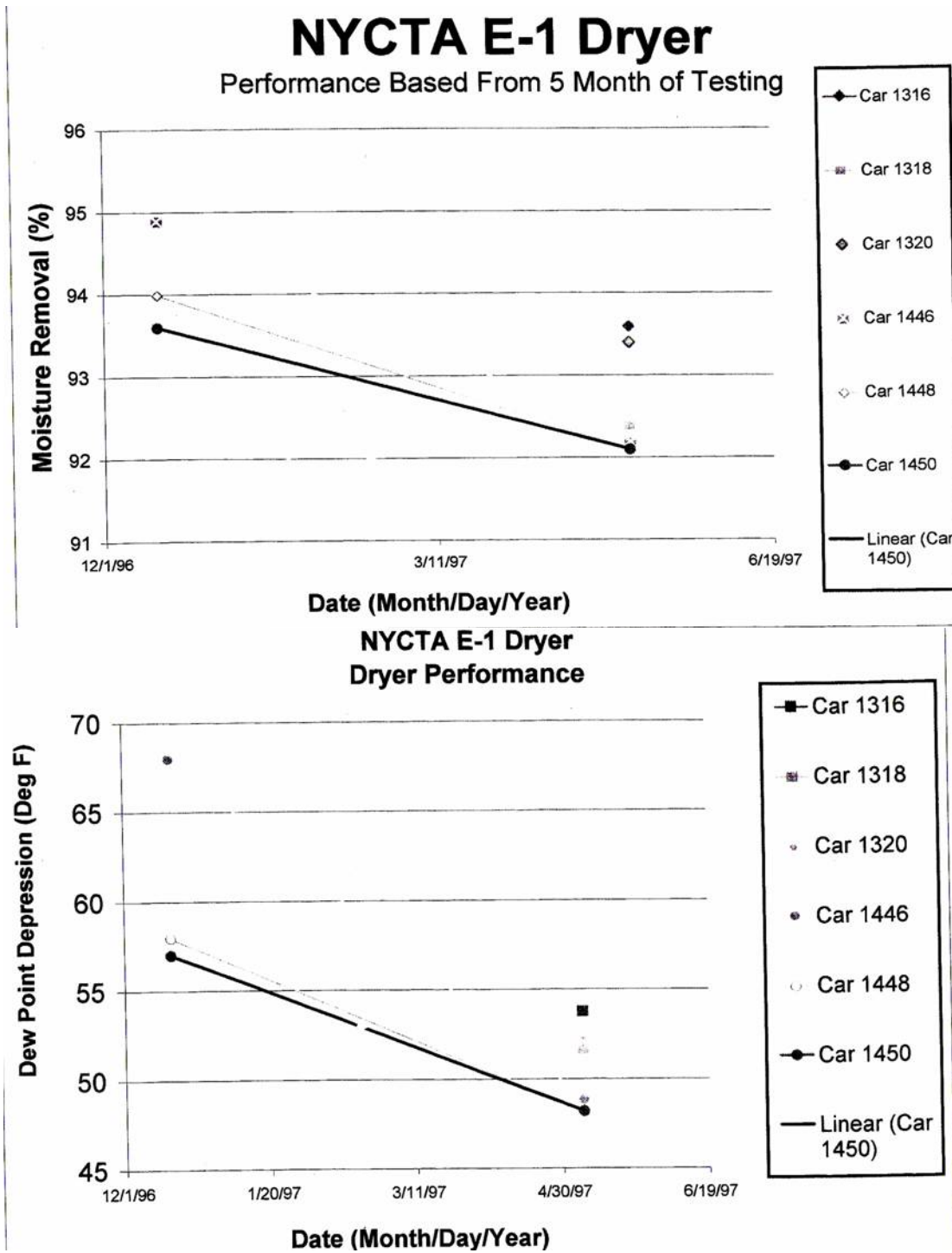


Figura 8.5. Graficas de prueba.



8.8.6.1. Arranque.

Ajuste la cámara de temperatura para trabajar con el siguiente perfil:

Ciclo de tiempo:

Temperatura baja:

Temperatura alta:

Transición máxima:

Tiempo (alto a bajo, bajo a alto)

Tiempo de impregnación a temperatura baja:

Tiempo de impregnación a temperatura alta:

8.8.6.2. Perfil de temperatura.

Etiquete la hoja en el registrador de hoja circular de la cámara de temperatura con el número de parte, número de serie y fecha de la unidad bajo prueba. Con el Inversor en la cámara de temperatura, inicie el perfil de temperatura. Con la salida APAGADA del Inversor, incremente la temperatura en la cámara hasta los 50°C. Cuando la temperatura en la cámara esté a 50 °C por un lapso de tiempo de una hora. ENCIENDA la salida del Inversor y déjela a esa temperatura durante 5 horas. Después de las 5 horas, anote el valor proporcionado por cada RTD instalado.

APAGUE luego la salida del Inversor y disminuya la temperatura a -25°C. Cuando la temperatura en la cámara esté a -25°C por un lapso de tiempo de una hora ENCIENDA la salida del Inversor y déjela a esa temperatura durante 5 horas.

Al final de la impregnación a temperatura BAJA, anote el valor dado por cada RTD instalado y aumente luego la temperatura en la cámara a 22°C. Esto completará el ciclo de calificación de temperatura.

NOTA: La temperatura y el voltaje de salida del Inversor deberán ser continuamente monitoreados con un registrador de hoja circular. La salida de corriente del Inversor



debe ser medida cada hora con un amperímetro de gancho y anotarla en la hoja circular.

8.8.7. Evaluación de datos.

Los resultados de la prueba son comparados sobre una base continua a los datos esperados. Los datos de prueba serán completados solo cuando los datos medidos no caigan dentro de los límites de los resultados esperados. Si ocurriera una falla, se deberán de llevar a cabo los siguientes procedimientos:

8.8.8. Categorías de falla.

8.8.8.1. Fallas inducidas por personal.

Las fallas inducidas por una acción inapropiada del personal de prueba no serán consideradas como una falla de prueba. En el caso de una falla inducida por el personal de prueba, se deberán tomar las siguientes acciones:

- La prueba será detenida inmediatamente.
- El personal que indujo la falla, será corregido.
- La prueba se reanudará en donde ocurrió la falla.

8.8.8.2. Fallas del equipo de prueba.

Una falla en el equipo de prueba usado en la prueba de calentamiento no se considerara como una falla de prueba. En el caso de una falla del equipo de prueba, se deberán tomar las siguientes acciones:

- La prueba será detenida inmediatamente.
- El equipo será reparado o sustituido.
- La prueba se reanudará en donde ocurrió la falla.



8.8.8.3. Falla en el sistema bajo prueba.

Una falla en el equipo bajo prueba, será considerada como una falla de prueba. En el caso de una falla del equipo bajo prueba, se deberán tomar las siguientes acciones:

- La prueba será detenida inmediatamente.
- Se llenará un reporte de inconformidad.
- El equipo será reparado de acuerdo a la sección de disposición en el reporte de inconformidad, o el equipo será sustituido.
- La prueba se reanudará al inicio de la prueba de calificación de temperatura.

8.9. Prueba de vibración e impacto.

8.9.1. Secuencia de prueba.

La prueba puede hacerse siguiendo la secuencia que se proporciona más adelante, o ser modificada en forma adecuada a discreción del Ingeniero de prueba.

- Vibración vertical
- Impacto vertical
- Vibración lateral
- Impacto lateral
- Vibración longitudinal
- Impacto longitudinal

8.9.2. Prueba de vibración.

El componente de prueba deberá estar seguro para la prueba de fijación, en un equipo de vibración adecuado y sometido a la prueba de vibración a lo largo de tres ejes mutuamente perpendiculares. Sus ejes son definidos por la orientación del componente de prueba cuando esta montado sobre el vehículo.



Una investigación de resonancia deberá ser realizada por aplicación de un nivel de vibración de 0.2g de pico sobre un rango de frecuencia de 1 a 100 a 1 Hz. El rango de barrido deberá ser de 1 octavo por 2 minutos. Existe una resonancia si un nivel de salida de 0.4g pico o mayor en el componente de prueba es producido por el pico de 0.2g del nivel de entrada.

El componente de prueba debe de ser realizado por la aplicación de una vibración de 0.2g de pico en el peor de los casos de frecuencia resonante, o 100 Hz, durante una hora.

8.9.3. Prueba de impacto.

El componente de prueba debe ser asegurado para la prueba de fijación, sobre un equipo adecuado de prueba de impacto y sometido a una serie de impactos a lo largo de tres ejes mutuamente perpendiculares.

Pulsos de impacto de diente de sierra aguda con una magnitud de 3g y una duración de 7-10 milisegundos serán aplicados al componente de prueba. El componente de prueba será sometido a 500 impactos positivos y a 500 impactos negativos para un total de 1000 impactos a lo largo del eje vertical. Repita luego la misma prueba con una magnitud de 2g en el eje horizontal. Finalmente repita i la prueba con una magnitud de 1 g a lo largo del eje transversal.

Se deberán aplicar a lo largo de los ejes correspondientes a la dirección vertical, 25 impactos positivos de diente de sierra aguda y 25 impactos negativos de diente de sierra aguda con una magnitud de 5g y una duración de 10-15 milisegundos.

8.9.4. Criterio de pasa/falla.

La estructura y la integridad mecánica del equipo no deberán ser alteradas por las pruebas de vibración e impacto. Sin embargo, daños internos o externos no deberán indicar una falla de la prueba a menos que no se pueda realizar una acción correctiva. Dependiendo de la severidad del daño al equipo, el Ingeniero de prueba y el



representante del cliente pueden solicitar una repetición de una parte o de toda la prueba.

Si durante la prueba el valor g de la partida de prueba cambia por un factor $2X$ o mayor, la prueba será interrumpida para inspección. Después de determinar la o las causas del cambio, acción correctiva y documentación, la prueba podrá ser reanudada.

La aceptabilidad del equipo para lograr el criterio de pasa/falla, será determinada al término de la prueba por el Ingeniero de prueba y por el representante del cliente.

8.10. Prueba de impermeabilidad.

8.10.1. Preparación para la prueba.

Antes de iniciar la prueba de impermeabilidad, realice una completa inspección visual del Inversor. La unidad no será energizada durante la prueba.

8.10.2. Procedimiento de impermeabilidad.

El siguiente procedimiento de prueba, proporciona las bases para obtener la información necesaria concerniente a la impermeabilidad del Inversor.

Coloque las boquillas como se indica en la norma.

Rocíe todas las superficies expuestas del aparato de prueba con agua durante 40 minutos por lado.

Después de cada periodo de rociado, inspeccione el interior del aparato bajo prueba por si hay evidencias de agua. Estime su volumen y su probable punto de entrada. Inspeccione visualmente el aparato bajo prueba por si hubiera evidencia de penetración de agua y documente.



8.10.3. Registros de datos de prueba.

La siguiente información se deberá anotar:

- => Identificación del Inversor, numero de parte, numero de serie y otra Información apropiada.
- => Los resultados de cada verificación de funcionamiento e inspección visual y Fotografías.

8.11. Equipo de prueba.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>IDENTIFICACIÓN</u>	<u>CANT</u>
Multimetro Digital (RMS real)	Fluye 87 o equivalente	2
Osciloscopio	Tektronix TDS320 o equivalente	2
Fuente Alimentación CD 0-150V, 7 ^a	Xantrex XKW150-7 o equivalente	1
Fuente Alimentación CD 0-1500V, 100KW	Transformador Variable Peschel Modelo D30A48P-150Y-6.5/IS o equivalente	1
Probador de Alto Potencial 0-5000 V (CA/CD)	Rod-L Electronics Inc. Modelo M150AC o equivalente	1
Matriz conmutable	Rod-L Electronics Inc. Modelo M650 o equivalente	1
Motor 10 HP 460 VCA 3Ø 60 Hz, Asincrono	Marathon Electric Modelo XVM215TTDR8675 O EQUIVALENTE	1
Megóhmetro 1000G52, 50V	Aemc, Modelo 1000N o equivalente	1
Transformador de Aislamiento 115 V	Magnetek Triad N-92MD o equivalente	1
Amplificador Sonda de Corriente	Tektronix AM 503 A o equivalente	1
Sonda de Corriente Máx 100 Amp	Tektronix A6303 o equivalente	1
Caja de Prueba de la Unidad Inversora	OV 101105	1
Simulador de Carga del Inversor	OV 101106	1
Matriz de Desplazamiento de Fase	OV 101107	1

Tabla 8.6. Equipo de prueba.



El Manual de Aseguramiento de Calidad prescribe las responsabilidades, sistemas y controles que deberán ser llevados a cabo en el cumplimiento de la política de Aseguramiento de Calidad de la División Transito de Pasajeros. Los métodos usados para asegurar que esta política es entendida, implementada y mantenida a todos los niveles esta cubierta en la serie de procedimientos HRD 1800. Los cuales están estructurados de acuerdo a la ultima revisión de la norma internacional ISO 9001Q9001.

CAJA DE PRUEBA DEL INVERSOR IDENTIFICACIÓN DE INTERRUPTORES	POSICIÓN
ENCENDIDO	APAGADO
ARRANQUE/PARO	PARO
SALIDA S. C.	SALIDA

Usando el Multímetro Digital, ajuste la fuente de alimentación de CD a 72 VCD \neq 0.2 VCD y ajuste el limite de corriente de la fuente de alimentación al máximo.

“Encienda” la fuente de alimentación y conecte el suministro a la entrada de CD en la caja de prueba. En la caja de prueba del Inversor, coloque el interruptor de encendido en la posición de “Encendido”.

En el modulo controlador, observe que el estado de los LED’s corresponde con la tabla siguiente:

IDENTIFICACIÓN DE LED’s	ESTADO
+12 VCD	ENCENDIDO
+5 VCD	ENCENDIDO
+VBAT	ENCENDIDO
INIC	ENCENDIDO
TERMINADO	ENCENDIDO
BAJO VOLTAJE	ENCENDIDO
SOBRECORRIENTE	APAGADO
COMPRESOR ARRANC.	APAGADO
VÁLVULA SOLENOIDE ENCENDIDA	APAGADO
EXT.#1	APAGADO
EXT.#2	APAGADO
EXT.#3	APAGADO



En los módulos accionadores, observe que el estado de los LED's corresponde a los proporcionados en la tabla siguiente:

IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
	ACCIONADOR #1	ACCIONADOR #2	ACCIONADOR #3
+12 VCD	ENCENDIDO	ENCENDIDO	ENCENDIDO
COMPUERTA #1	APAGADO	APAGADO	APAGADO
COMPUERTA #2	APAGADO	APAGADO	APAGADO

En los módulos de arranque suave, observe que el estado de los LED's corresponde a la siguiente tabla:

IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
	MODULO #1	MODULO #2	MODULO #3
+12 VCD	ENCENDIDO	ENCENDIDO	ENCENDIDO
COMPUERTA #1	ENCENDIDO	ENCENDIDO	ENCENDIDO
COMPUERTA #2	ENCENDIDO	ENCENDIDO	ENCENDIDO

En la caja de prueba del Inversor, observe que el estado de los LED's corresponde al mostrado en la tabla siguiente:

IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
FALLA COMPRESOR	APAGADO
VÁLVULA SOLENOIDE	APAGADO

En la caja de prueba del Inversor, coloque el interruptor PARO/ARRANQUE a la posición arranque y observe que el estado de los LED's corresponde al proporcionado en la tabla siguiente:



	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
MODULO CONTROLADOR	Compresor	ENCENDIDO
	Válvula Solenoide Encendida	ENCENDIDO
	Ext. #1	ENCENDIDO
CAJA DE PRUEBA	Falla Compresor	ENCENDIDO
	Válvula Solenoide	ENCENDIDO

Coloque el interruptor ARRANQUE / PARO en la posición de “PARO” y el interruptor de encendido de la Caja de pruebas del inversor en la posición de “APAGADO”.

8.11.1. Prueba de bajo voltaje.

Lentamente reduzca la alimentación de alto voltaje y observe el led de “BAJO Voltaje” en el modulo controlador.

Con el alto voltaje disminuyendo, anote el voltaje de CD donde los LED's de Bajo Voltaje se apagan y verifique que el estado de los LED'S corresponda con la tabla siguiente:

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
MODULO CONTROLADOR	+12 VCD	ENCENDIDO
	+5 VCD	ENCENDIDO
	+ VBAT	ENCENDIDO
	INIC.	ENCENDIDO
	TERMINADO	ENCENDIDO
	BAJO VOLTAJE	ENCENDIDO
	SOBRE VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE CORRIENTE	APAGADO
	ARRAN. COMPRESOR	ENCENDIDO
	VÁLVULA SOLENOIDE ENCENDIDA	ENCENDIDO
	EXT. #1	ENCENDIDO
	EXT. #2	APAGADO
	EXT. #3	APAGADO



UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		ACCIONA #1	ACCIONA #2	ACCIONA #3
MODULO ACCIONADOR	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	APAG.	APAG.	APAG.
	COMPUERTA #2	APAG.	APAG.	APAG.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		A. SUAV. #1	A. SUAV. #2	A. SUAV. #3
MODULO ARRANQUE SUAVE	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	APAG.	APAG.	APAG.
	COMPUERTA #2	APAG.	APAG.	APAG.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
CAJA PRUEBA INVERSOR	Falla Compresor	ENCENDIDO
	Solenoides	ENCENDIDO

Aumente lentamente el alto voltaje hasta que el LED DE BAJO VOLTAJE “ENCIENDA”. Anote el voltaje en las hojas de datos de prueba y verifique que el estado de los LED's corresponden con la tabla siguiente:

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
MODULO CONTROLADOR	+12 VCD	ENCENDIDO
	+5 VCD	ENCENDIDO
	+ VBAT	ENCENDIDO
	INIC.	ENCENDIDO
	TERMINADO	ENCENDIDO
	BAJO VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE CORRIENTE	APAGADO
	ARRAN. COMPRESOR	ENCENDIDO



VÁLVULA SOLENOIDE ENCENDIDO
 ENCENDIDA
 EXT. #1 APAGADO
 EXT. #2 APAGADO
 EXT. #3 APAGADO

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		ACCIONA #1	ACCIONA #2	ACCIONA #3
MODULO ACCIONADOR	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #2	ENC.	ENC.	ENC.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		A. SUAV. #1	A. SUAV. #2	A. SUAV. #3
MODULO ARRANQUE SUAVE	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #2	ENC.	ENC.	ENC.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
CAJA PRUEBA INVERSOR	Falla Compresor Solenoide	APAGADO ENCENDIDO

8.11.2. Prueba de sobrevoltaje.

En el transformador variable, aumente el voltaje gradualmente y cuando alcance 850 VCD, disminuya la relación de incremento y anote el voltaje en el cual el LED de “SOBRE VOLTAJE” se “ENCIENDE”.

También, observe que el estado de los LED's corresponde con la siguiente tabla:



UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
MODULO CONTROLADOR	+12 VCD	ENCENDIDO
	+5 VCD	ENCENDIDO
	+ VBAT	ENCENDIDO
	INIC.	ENCENDIDO
	TERMINADO	ENCENDIDO
	BAJO VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE VOLTAJE	ENCENDIDO
	SOBRE CORRIENTE	APAGADO
	ARRAN. COMPRESOR	ENCENDIDO
	VÁLVULA SOLENOIDE	ENCENDIDO
	ENCENDIDA	ENCENDIDO
EXT. #1	ENCENDIDO	
EXT. #2	APAGADO	
EXT. #3	APAGADO	

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		ACCIONA #1	ACCIONA #2	ACCIONA #3
MODULO ACCIONADOR	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	APAG.	APAG.	APAG.
	COMPUERTA #2	APAG.	APAG.	APAG.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		A. SUAV. #1	A. SUAV. #2	A. SUAV. #3
MODULO ARRANQUE SUAVE	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	APAG.	APAG.	APAG.
	COMPUERTA #2	APAG.	APAG.	APAG.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACION LED's	ESTADO
CAJA PRUEBA INVERSOR	Falla Compresor	ENCENDIDO
	Solenoides	ENCENDIDO



Disminuya lentamente el voltaje del transformador variable Peschel hasta que el LED de SOBRE VOLTAJE se APAGUE y anote ese voltaje. También observe que el estado de los LED's corresponde con la tabla siguiente.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
MODULO CONTROLADOR	+12 VCD	ENCENDIDO
	+5 VCD	ENCENDIDO
	+ VBAT	ENCENDIDO
	INIC.	ENCENDIDO
	TERMINADO	ENCENDIDO
	BAJO VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE VOLTAJE	APAGADO
	SOBRE CORRIENTE	APAGADO
	ARRAN. COMPRESOR	ENCENDIDO
	VÁLVULA SOLENOIDE	ENCENDIDO
	ENCENDIDA	
EXT. #1	APAGADO	
EXT. #2	APAGADO	
EXT. #3	APAGADO	

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		ACCIONA #1	ACCIONA #2	ACCIONA #3
MODULO ACCIONADOR	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #2	ENC.	ENC.	ENC.

UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO		
		A. SUAV. #1	A. SUAV. #2	A. SUAV. #3
MODULO ARRANQUE SUAVE	+12 VCD	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #1	ENC.	ENC.	ENC.
	COMPUERTA #2	ENC.	ENC.	ENC.



UBICACIÓN LED's	IDENTIFICACIÓN LED's	ESTADO
CAJA PRUEBA INVERSOR	Falla Compresor Solenoides	APAGADO ENCENDIDO

8.12. Sistemas de calidad.

Los requerimientos, métodos y estrategias del sistema de calidad de la División Transito de Pasajeros son delineados mas adelante a través de las instrucciones y procedimientos departamentales tal como esta cubierta por la lista de revisiones de este manual en la serie de procedimientos. El rango y detalle de esos procedimientos esta basado sobre la complejidad del trabajo, los métodos usados y las habilidades y entrenamiento necesitados por las personas que llevaran a cabo las actividades.

La planeación de los sistemas de calidad esta definida y documentada en la serie de procedimientos, los cuales dan consideración a las siguientes actividades, como apropiadas en conjunto a los requerimientos específicos para el producto, proyectos o contratos:

=> La preparación de planes de calidad.

=> La identificación y adquisición de cualquier control, proceso, equipo (incluyendo equipo de inspección y prueba), instalaciones fijas, recursos y habilidades que pudieran ser necesitadas para la ejecución de la calidad requerida.

=> Asegurar la compatibilidad de diseño, el proceso de producción, instalación, servicio, inspección y los procedimientos de prueba y la documentación aplicable.

=> La actualización, como sea necesaria, de los controles de calidad, de inspección y técnicas de prueba, incluyendo el desarrollo de nueva instrumentación.



=> La identificación de cualquier requerimiento de medición envolviendo la capacidad que exceda el estado actual del artículo, con tiempo suficiente para que la capacidad necesitada pueda ser desarrollada.

=> La identificación de una verificación adecuada de las etapas apropiadas en la realización del producto

=> La clasificación de normas de aceptabilidad para todas las características y requerimientos, incluyendo aquellas que contengan un elemento subjetivo.

El gerente de aseguramiento de calidad, promueve una comunicación y reportes de la calidad planeada y efectiva a través de sus reportes de aseguramiento de calidad, análisis de costos de la calidad total y comunicaciones generales empleadas.

Los requerimientos de entrada del diseño, incluyendo los aplicables por ley y requerimientos regulatorios, se identifican, documentan y su selección se revisa para adecuarse. Ellos toman en consideración los resultados de cualquier actividad de revisión de contrato. Los requerimientos en conflicto, ambiguos o incompletos se resuelven.

La salida del diseño es documentada y expresada en términos de requerimientos, cálculos y análisis los cuales son revisados antes de liberarse. La salida del diseño deberá:

=> Cumplir los requerimientos de entrada del diseño.

=> Criterio de aceptación, contenido o referencia.

=> Identificación de aquellas características del diseño que son cruciales para la seguridad y funcionamiento adecuado del producto.



Se planean revisiones al diseño y son conducidas con representantes de todas las funciones concernientes a la etapa que esta siendo revisada.

Las verificaciones al diseño se realizan, registran y aseguran de que la etapa de salida del diseño cumple con la etapa de entrada del diseño por:

=> Llevando cálculos de salida alternativos

=> Comparando el nuevo diseño con un diseño similar probado, cuando se tenga uno de ellos.

=> Llevando a cabo pruebas de calificación y demostraciones.

=> Revisando la documentación de la etapa de diseño antes de su liberación.

8.13. Control de proceso.

Toda la fabricación, armado, instalación y procesos de servicio son llevados a cabo bajo condiciones controladas, las cuales incluyen lo siguiente:

=> Procedimientos documentados, los cuales definen el método, el equipo, el ambiente, las normas e instrucciones de calidad.

=> Los monitores y control del producto o proceso durante su fabricación o armado.

=> Aprobación del proceso o equipo.

=> Mantenimiento concerniente de los equipos para asegurar la continuidad en la capacidad del proceso.



- => Normas de mano de obra, escritas o dadas por ejemplos representativos.
- => La ultima revisión de los dibujos.
- => Demostración y/o guía por el producto apropiado o del Ingeniero de manufactura.
- => De otras maneras, pero en todos los casos, como se especifico para el producto apropiado o el Ingeniero de manufactura.

Los procesos, en los cuales los resultados no pueden ser completamente verificados por inspección y prueba subsecuente, son monitoreados continuamente y/o en conjunto con los procedimientos específicos mencionados arriba, los cuales frecuentemente son llamados procesos especiales.

Se mantienen registros para los procesos cualificados, el equipo y el personal en el lugar adecuado indicado.



CONCLUSIONES:

Las terminales fast-on en los IGBT se desprenden con la vibración y provocan que algunos IGBT fallen en el campo.

Nosotros estamos cambiando las terminales fast-on por una tarjeta como parte del módulo FMI de precarga.

El inversor empleará el voltaje de tercer riel como su fuente de alimentación para operar el motor y la batería como su fuente de alimentación para los circuitos de control.

Este recibirá una señal desde el compresor que indique que la presión del tanque principal (MRP) es menor que el valor preseleccionado y que el motor del compresor debe de tener voltaje aplicado para que empiece a girar y que el compresor comprima aire y alimente a los tanques de almacenamiento. Esta señal está a nivel de batería cuando se solicita que el motor opere. Cuando esta señal es igual a 0 volts mediante un contacto abierto de presostato, el voltaje se desconecta del motor de compresor.

El inversor recibe una señal del compresor que indica que la presión del depósito principal (MRP) es inferior de la presión de arranque como es detectado por el presostato en la caja de control y el motor del compresor debe de ser arrancado para que el compresor suministre aire a los tanques.

Este dispositivo tiene una característica de “arranque suave” que permite arrancar al motor incrementando gradualmente su velocidad desde cero a plena velocidad, reduciendo así el esfuerzo mecánico y eléctrico del sistema. Tomó cerca de 1.6 segundos para lograr la plena velocidad.



Tiene la habilidad de discontinuar su operación si se detecta cualquier condición de operación anormal. Estos incluyen:

- Voltajes de entrada fuera del rango normal (menor de 500 V y mayor que 900V).
- Sobrecarga de la salida
- Salida cortocircuitada
- Sobre calentamiento
- Falla de aislamiento del motor

Tarjeta supresora de transitorios quemadas.

También estamos colocando disipadores de calor en la tarjeta supresora de transitorios para resolver la disipación de calor.

La fuente de alimentación del controlador reanuda la operación (indicado por un diodo led en el módulo controlador) y la inicialización de los componentes de control es realizada en una secuencia de arranque definida con precisión.

Es realizada la conexión al voltaje del tercer riel.

Control de precarga

En algunas de las pruebas realizadas muestra que las variaciones altas en la corriente a través del SCR, pueden provocar una sobre tensión.

Un capacitor en paralelo con el SCR, resuelve el problema

Los capacitores de entrada son cargados mediante el diodo de entrada y el inductor de entrada. La corriente de entrada es limitada por el inductor.



Es detectado el nivel de voltaje del capacitor principal. Si el voltaje está dentro del rango de operación normal (500 - 900), el inversor está listo para operar. Este hecho es indicado por las señales al nivel de módulo.

El inversor reanuda la operación generando un tren de pulsos de ancho de pulso modulado con la frecuencia fundamental aumentando gradualmente de 6 a 60 Hz. El incremento de la frecuencia dura alrededor de 1.6 segundos.

Después de que termina el incremento de la frecuencia, la válvula solenoide que controla a la válvula de drene del compresor se energiza e inicia el proceso de compresión. La válvula solenoide está ubicada en la caja de control.

Cualquier variación del voltaje del tercer riel es monitoreado en los capacitores de entrada que permanece en el rango de (500 -900) resulta en acciones correctivas del controlador. La magnitud del voltaje del motor permanece inalterable.

La señal de arranque es desactivada cuando la MPR alcanza la presión de corte y el contacto del presóstato en la caja de control abre.

Con esto podemos confirmar que en el traslado de operación del tren en donde necesite un sistema de frenado seguro neumático será confiable y no provocará ningún contratiempo en la llegada a las diferentes estaciones.



SIGLARIÓ DE TÉRMINOS:

1. PDR:	Revisión Preliminar de Diseño
2. EMC:	Compatibilidad Electromagnética
3. EMI:	Interfase Electromagnética
4. IEC:	Comisión Electromagnética Internacional
5. FCC:	Comisión Federal de Comunicaciones
6. RF:	Radiofrecuencia
7. LF:	Baja Frecuencia
8. HF:	Alta Frecuencia
9. Tr:	Tiempo de elevación
10. PCB:	Tarjeta de Circuito Impreso
11. EUT:	Equipo Bajo Prueba
12. ESD:	Descarga Electroestática
13. ECP:	Plan de Control EMC
14. FDR:	Revisión Final de Diseño



15. MTBF	Tiempo Medio Entre Fallas
16. MDBF	Distancia Media Entre Fallas
17. PWM	Modulación por ancho de pulso



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos
Robert Boylested
Ed. Pearson

- [2] Dispositivos Electrónicos
Floyd
Ed. Noriega Limusa

- [3] Circuitos Eléctricos para la Ingeniería
Antonio Conejo Navarro
Ed. McGrawHill

- [4] Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos
Jesús Fraile Mora
Ed. McGrawHill

- [5] Electrónica Industrial Moderna
Timothy Maloney
Ed. Pearson

- [6] Circuitos Eléctricos
James A. Suabada
Ed. Alfa Omega

- [7] Fundamentos de Electrónica Industrial
Paul Zbar
Ed. Alfa Omega

- [8] Manual de Especificaciones Técnicas
Marca TAURO.
2004

- [9] www.mkar.com/inversores/combidk.

- [10] <http://mitemcnologico.com/Main/ElectronicaDePotencia>

- [11] <http://usuarios.lycos.es/Marciano2000/electronica>

- [12] <http://www.solener.com/sm1500.html>



- [13] Arranque y control de un motor de corriente directa para trenes del sistema Metro.
Mario Alberto Lezama Estrada.
1982.
IPN ING. En Comunicaciones y Electrónica.

- [14] Manual de frenado y antideslizamiento de sistema de transporte ferroviario.
Metrorrey 2005 Bombardier Transportation.

- [15] www.metro.df.gob.mx