



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“RE-DISEÑO DEL CONVERTOR AC-AC DEL CAÑÓN BRENDA
DE LA ARMADA DEL ECUADOR”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

VÍCTOR HUGO HIDALGO GÓMEZ

ANDRÉS GIOVANNI SALAZAR ORELLANA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Mi total gratitud a mis padres, Joel Hidalgo y Sonia Gómez que nunca dejaron de apoyarme en mis años de estudio, a Daniela Pazmiño quien con mucho cariño me acompañó en la mayor parte de la carrera y a todos mis maestros que me guiaron con sus enseñanzas para mi desarrollo profesional.

Víctor Hugo Hidalgo Gómez

Agradezco a mis padres Yolanda Orellana y Giovanni Salazar, por su apoyo constante y dedicación. Mis más sinceros agradecimientos para la ESPOL y los maestros que me formaron profesionalmente, a mis amigos que siempre estuvieron a mi lado y compañeros universitarios en estos largos años de estudio.

Andrés Giovanni Salazar Orellana

DEDICATORIA

La investigación y el trabajo desarrollado se la dedico a Dios por acompañarme y guiarme siempre, a mis padres Joel Hidalgo y Sonia Gómez por enseñarme el valor del conocimiento, a mi hermana Adela Hidalgo por estar conmigo ayudándome y con amor a mi tía Marilú, quien no pudo estar presente en este momento, pero que siempre estará acompañándonos en nuestros corazones.

Víctor Hugo Hidalgo Gómez

El presente proyecto lo dedico a Dios por sus grandes bendiciones en mi vida, se lo dedico a mis padres Giovanni Salazar y Yolanda Orellana que con su lucha constante han podido ayudarme a cumplir una meta más en mi vida, a mi familia y amigos por su apoyo diario.

Andrés Giovanni Salazar Orellana

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Ing. Damián Larco. MSc.

PROFESOR EVALUADOR

.....
Ing. Carolina Godoy. MSc.

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Víctor Hugo Hidalgo Gómez

.....
Andrés Giovanni Salazar Orellana

RESUMEN

El presente estudio se basa en el análisis del funcionamiento del cañón Breda perteneciente a la Armada Nacional del Ecuador, específicamente en el gabinete de potencia del equipo. El objetivo de este estudio es buscar una solución a futuro para el mejoramiento del funcionamiento de la parte eléctrica del cañón.

Mediante observación del comportamiento del cañón en situaciones normales se comenzó a analizar cada parte funcional del sistema de conversión de energía AC-AC. El sistema se divide en cuatro partes fundamentales: el rectificador trifásico, el variador trifásico, las placas de control y el grupo convertido. Además se realizaron investigaciones de aspecto técnico de los elementos que conforman el gabinete.

Se levantó información sobre cada una de las placas de control del convertidor AC-AC con la finalidad de realizar un correcto análisis del funcionamiento y situación actual del equipo. A partir de toda la información recolectada se escoge una solución eficaz para optimizar el funcionamiento del cañón. Posteriormente se selecciona un variador moderno SINAMICS G120 para suplir todos los cambios al nivel del variador de potencia AC-AC.

Se comparó el sistema antiguo con la solución propuesta para determinar si el cambio del equipo es recomendable y presenta beneficios en comparación con la situación actual del cañón, también se realiza un estudio de los armónicos presentes en el sistema y cómo actúa el SINAMATICS G120 en la generación de armónico que se inyectan a la red. Finalmente se realizó un breve estudio económico sobre la instalación del nuevo equipo en relación con el mantenimiento correctivo del sistema actual.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
CAPÍTULO 1	1
1. Delimitación del problema	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación	2
1.5 Alcance del proyecto	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. Estado del Arte.....	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 Marco Teórico.....	5
2.2.1 Descripción del Cañón Breda.....	5
2.2.2 Rectificador trifásico	10
2.2.3 Variador trifásico.....	12
2.2.4 Grupo convertidor.....	15
2.2.5 Placas de control	18
CAPÍTULO 3.....	19
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	19
3.1 Estudio Técnico del Cañón Breda	19
3.2 Simulación del convertidor AC-AC	22
3.3 Sistema Variador de velocidad.....	28

3.4	Resumen de la selección.....	29
3.5	Descripción de los elementos a utilizar	30
CAPÍTULO 4.....		34
4.	RESULTADOS	34
4.1	Comparación entre el sistema antiguo de variador con SCR y el variador Siemens SINAMICS G120.....	34
4.2	Problemas comunes.....	37
4.3	Ventajas.....	39
4.4	Reducción de armónicos en el sistema	41
4.5	Montaje.....	45
4.6	Cotización del sistema antiguo de variador con SCR.....	48
4.7	Solución Propuesta: Variador SINAMICS G120	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		51
BIBLIOGRAFÍA.....		53
ANEXOS.....		55

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se define el problema presente en la mayoría de las embarcaciones de la Armada Nacional del Ecuador que es la utilización de equipos antiguos, y la necesidad de encontrar una solución para tener los equipos con tecnología de punta.

1.1 Planteamiento del problema

A bordo de las corbetas de la Armada Nacional del Ecuador se encuentra ubicado el cañón Breda, un equipo italiano actualmente en funcionamiento, pero con tecnología electrónica de los años 70 la cual resulta obsoleta en comparación con la electrónica moderna por lo que presenta varios inconvenientes.

El problema más frecuente al momento de trabajar con estos equipos es la falta de soporte técnico y de repuestos siendo mucho más caro el mantenimiento de un equipo viejo en comparación a uno moderno que cumpla las mismas funciones. Otro problema importante que se presenta es el excesivo espacio que ocupan los elementos de potencia dentro de los paneles eléctricos. Por estas razones sobresale la necesidad de encontrar una solución que sea práctica, de fácil implementación y que presente un ahorro al momento de realizar el mantenimiento respectivo.

Actualmente se encuentran muchos de los cañones Breda que posee la Armada Nacional fuera de servicio, algunos averiados en la parte del panel de potencia, dado a que no se encuentra repuestos en el mercado nacional para su reparación se los tiene fuera de servicio hasta realizar un nuevo diseño de los circuitos.

La Armada del Ecuador desea mantener sus equipos y armamentos en un estado funcional óptimo, teniendo sus flotas siempre disponibles para cualquier conflicto bélico, sin embargo, los elementos que forman parte del armamento son obsoletos presentando bastantes inconvenientes para el personal técnico encargado del mantenimiento.

Es necesario disponer de equipos que sean de fácil mantenimiento preventivo y correctivo, esto es tener materiales disponibles en bodegas o en inventario y a su vez poseer documentación técnica sobre los dispositivos, situación que no se presenta en la actualidad.

Además, es preciso levantar información acerca del funcionamiento de los equipos como de realizar un nuevo redimensionamiento del panel de potencia de los cañones para mejorar la situación de las lanchas de guerra que posee Ecuador.

1.2 Objetivo general

Rediseñar la electrónica de potencia del convertidor AC-AC del cañón Breda que presenta la Armada Nacional del Ecuador, utilizando elementos de electrónica modernos y que sean de fácil acceso.

1.3 Objetivos específicos

Realizar el levantamiento de datos acerca del funcionamiento del Panel de Potencia del cañón Breda, para de esta manera analizar las ventajas y desventajas que presenta la utilización de equipos obsoletos sobre equipos modernos comerciales.

Simular el conversor AC-AC del gabinete de potencia para tener un estudio técnico de su funcionamiento y de los armónicos producidos.

1.4 Justificación

Los navíos pertenecientes a la Armada Nacional poseen una tecnología demasiado obsoleta para los estándares actuales, como es el cañón Breda 40/70 el cual es de origen italiano de los años 60, enfocándonos en este proyecto, en la parte de potencia del motor asíncrono encargado de mover a los generadores que entregan energía a los circuitos de disparo y movimiento del cañón, elevación y rotación.

Esta investigación se va a realizar con el fin de mejorar la situación actual de los equipos a bordo de las corbetas los cuales presentan inconvenientes al momento

de efectuar el mantenimiento tales como; ausencia de repuestos en el mercado y falta de soporte técnico.

En la última década se han tenido cuantiosos inconvenientes con los equipos a bordo, debido a fallas y el retardo que lleva solucionar estos problemas, usualmente se ha tenido que utilizar partes de equipos de otros navíos, dejándolos inoperativos para mantener a las otras pocas corbetas en funcionamiento.

Es importante para la seguridad nacional disponer los navíos en un estado cien por ciento funcional, lo que significa tener repuestos a la mano ante cualquier inconveniente, siendo necesario trabajar con tecnología que sea comercial actualmente.

1.5 Alcance del proyecto

El presente proyecto será desarrollado con la finalidad de mejorar la parte electrónica del equipo de artillería naval, además se hará un levantamiento de información sobre el funcionamiento eléctrico del cañón Breda.

También se buscará un correcto reemplazo de la electrónica obsoleta con elementos comerciales, de fácil adquisición dentro del mercado ecuatoriano incluyendo un estudio físico de los equipos para su correcta implementación.

El proyecto servirá de base para futuras mejoras que se implementarán dentro de los mecanismos a bordo permitiendo así reducir la cantidad de equipos que actualmente se encuentran inoperativos, en su mayoría a causa de la falta de repuestos.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo describe el Cañón Breda y su funcionamiento interno, mediante los diagramas de bloques, indicando el funcionamiento de cada etapa. De esta manera se puede identificar cada una de las diferentes fases para la conversión de energía de un nivel de tensión a otro con frecuencia variable.

2.1 Antecedentes

La fuerza naval, que junto a los militares aéreos y terrestres que integran Las Fuerzas Armadas Del Ecuador en el año 2012 empezó el proceso de modernización de tres corbetas de más de 30 años de antigüedad. Una llamada Los Ríos, otra Manabí y una tercera llamada Loja.

El proyecto Júpiter el cual trata de la recuperación de la movilidad de las corbetas misileras, permitirá que la Armada del Ecuador disponga de 3 unidades navales por un periodo de 15 a 20 años más, fortaleciendo así la presencia y soberanía de los espacios marítimos del país [1].

De acuerdo con el comandante de Operaciones Navales, el contralmirante Luis Alfredo Santiago; “Los equipos si funcionan, pero necesitan ser modernizados con tecnología”. En las corbetas se reemplazará las máquinas y sistemas eléctricos tales como equipos de comunicación, radares, sensores entre otros artefactos [2].

Actualmente, la corbeta Los Ríos, está casi lista, faltando la instalación de un sistema para la gestión de recursos, involucrando consolas de operación del sistema de vigilancia, de armas y de detección.

La inversión total para las corbetas en recuperación es de 700 millones de dólares. Las otras dos también se encuentran previstas para su entrega este año. Con esta modernización, la vida útil de estas embarcaciones se extenderá hasta 20 años más [1].

2.2 Marco Teórico

El presente subcapítulo será de utilidad para conocer las diferentes secciones que está formado el cañón y el funcionamiento interno del gabinete de potencia y los conceptos básicos de las etapas del convertidor AC-AC.

2.2.1 Descripción del Cañón Breda

El cañón Breda es un equipo de artillería naval perteneciente a la Armada Nacional del Ecuador que se encuentra montado en tres diferentes corbetas; Los Ríos, Manabí y Loja. El cañón, sobre el cual se realizó el análisis se encuentra en la corbeta Los Ríos y se divide en varios sub-bloques como se observa en la figura 2.1 donde cada uno realizará una función específica, los bloques se nombran en la tabla 1:

1	40/70 compact twin-mount.
2	Gabinete de potencia
3	Panel de control local
4	Grupo convertidor
5	Panel de aire y agua
6	Microswitches de seguridad de las escotillas de carga

Tabla 1: Sub-bloques del Cañón Breda.

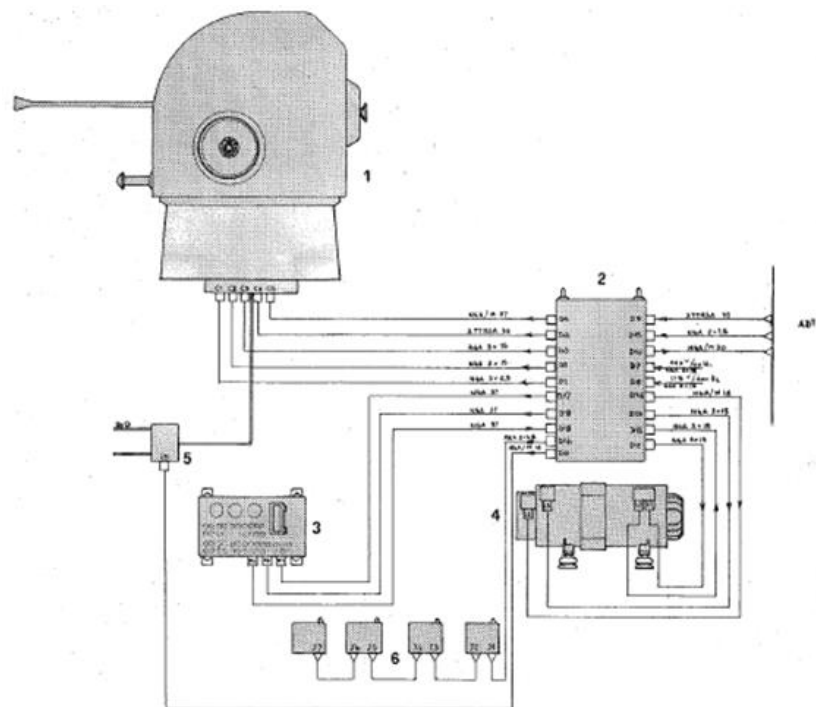


Figura 2.1: Diagrama de los bloques del sistema eléctrico.

La modernización del cañón se centra en el gabinete de potencia ya que la alimentación para el resto del cañón parte desde este equipo y muchos de sus elementos se encuentran descontinuados.

El gabinete de potencia del cañón Breda representa la interfaz del sistema eléctrico del arma con respecto a la línea de alimentación del barco, de donde se recibe una línea de poder (440V-60HZ) y una línea de referencia síncrona (115V-400HZ); el gabinete de potencia también recibe las señales y controles entregados por la estación de control de disparo.

El gabinete de potencia consiste en una cabina metálica equipada con una puerta frontal que puede abrir hasta 140 grados Figura 2.2.

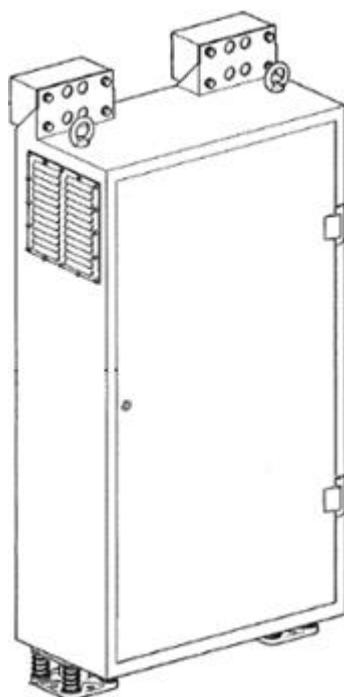


Figura 2.2 Vista exterior del gabinete de potencia.

Dentro del gabinete de potencia, se encuentra montado un panel frontal y dos paneles laterales, como se muestra en la Figura 2.3 y está formado por varios elementos como se tiene en la tabla 2:

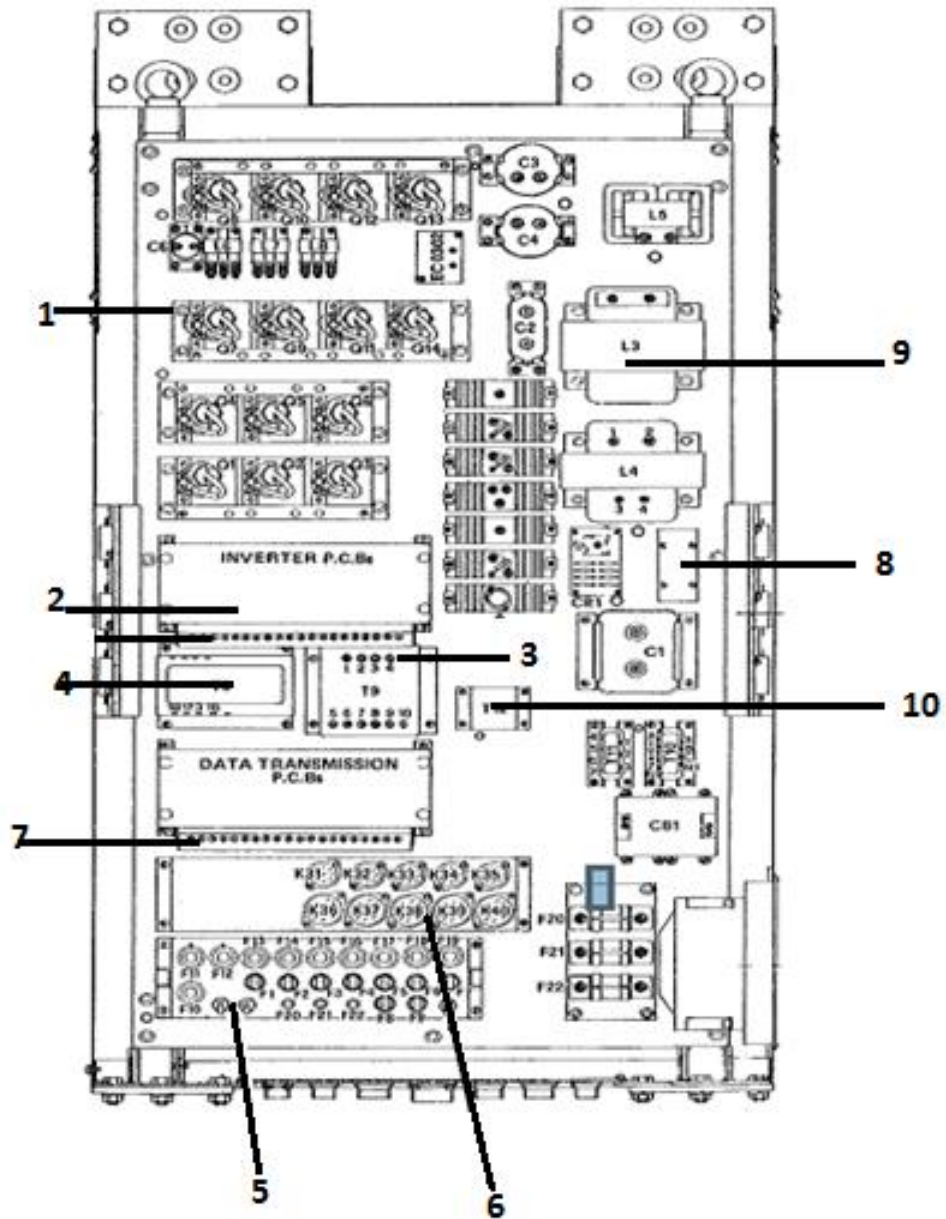


Figura 2.3: Diagrama interno del gabinete de potencia.

1	Grupo de tiristores (Q1-Q6) perteneciente a la etapa de rectificación. Junto a los tiristores (Q7-Q13) perteneciente a la etapa de inversión.
2	Circuitos impresos de control de la sección de inversor
3	Trasformador trifásico.
4	Trasformador monofásico, dirigido a las placas de control
5	Panel de fusibles.
6	Panel de relays.
7	Circuito impreso de la sección de datos de trasmisión.
8	Microswitch de seguridad.
9	Grupo de capacitores (C1, C2, C3, C4) e inductores (L3, L4, L5, L6, L7, L8).
10	Trasformador monofásico, que genera 400hz de posición de la línea síncrona de referencia.

Tabla 2: Elementos que componen el gabinete de potencia del Cañón Breda.

El circuito de regulación de potencia está diseñado para limitar la corriente de carga en la línea de alimentación del barco hasta un valor máximo de 10KVA.

En la Figura 2.4 se muestra el principio del funcionamiento del regulador de potencia, donde es claramente visible que la velocidad del motor asíncrono es controlada por medio de una señal de frecuencia variable. Este se divide en cuatro partes fundamentales:

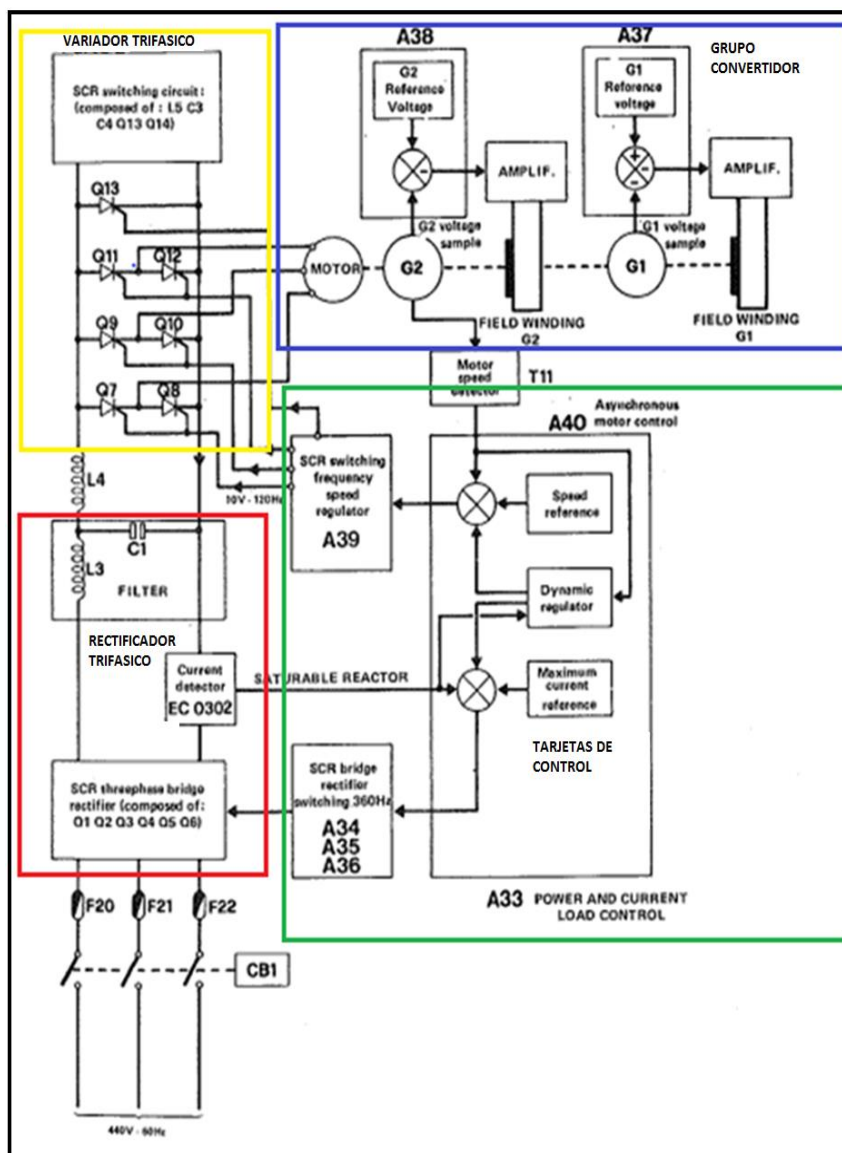


Figura 2.4: Diagrama de bloque funcional del circuito regulador de potencia.

2.2.2 Rectificador trifásico

El circuito regulador de voltaje se encuentra diseñado para limitar la corriente de carga de la línea principal a un valor máximo equivalente a 10KVA.

La línea de 440V-60HZ trifásica entregada por el sistema de alimentación eléctrica del barco, a través del contacto del breaker automático CB1 y los

fusibles de F20, F21 Y F22, es enviada hacia un puente rectificador trifásico conformado por rectificadores controlados Q1, Q2, Q3, Q3, Q4, Q5 Y Q6 (figura 4). funcionando a una frecuencia constante de $3 \times 120 = 360$ Hz. El resultado del puente rectificado es aplicado a través de un filtro pasa bajo formado por un inductor L3 y un capacitor C1, donde los componentes de altas frecuencia son debidamente atenuados [3].

Rectificador Controlado de Silicio SCR

Son interruptores electrónicos con la característica que se puede controlar la activación del interruptor.

Para que el tiristor SCR empiece su conducción, es necesario que se aplique una corriente de compuerta, cuando la tensión entre el ánodo y el cátodo sea positiva. Una vez que el dispositivo ha entrado en conducción, la señal de compuerta deja de ser necesaria para mantener la corriente ánodo-cátodo. El SCR seguirá en conducción mientras la corriente de ánodo siga siendo positiva y se encuentre sobre un valor mínimo, llamado nivel de manteniendo.

Los tiristores son los interruptores de potencia predilectos debido a los altos niveles de tensión y de corriente que pueden soportar. En la actualidad aún son muy utilizados pero debido al desarrollo de los transistores de potencia, este último resulta mucho más conveniente para muchas aplicaciones [4].

Rectificadores controlados

Los circuitos rectificadores convierten la tensión alterna en continua. Si en los circuitos rectificadores con diodos se sustituyen total o parcialmente los diodos por tiristores, se obtendrán sistemas de “rectificación controlada” que permiten la regulación del valor medio de la tensión en la carga, en función del ángulo de disparo de los tiristores.

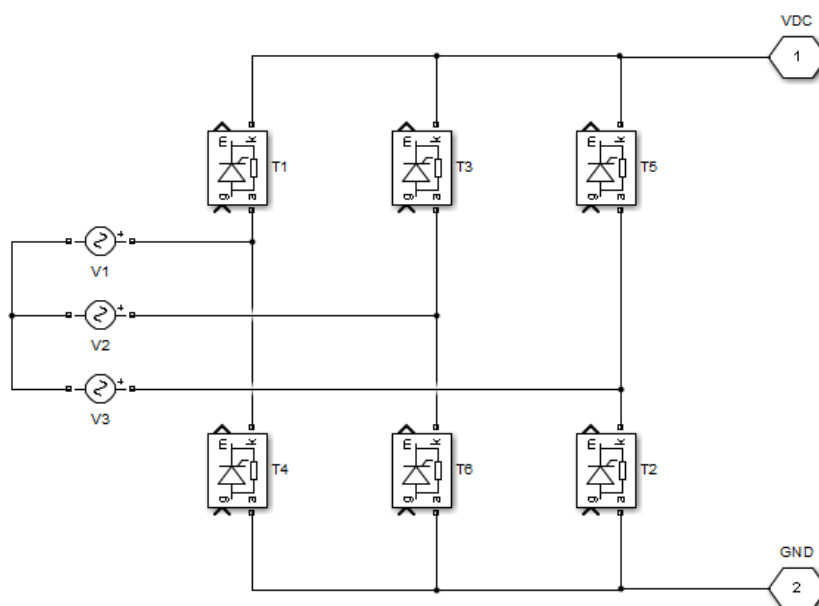


Figura 2.5: Rectificador trifásico totalmente controlado.

En la figura 2.5 se tiene el esquema de un rectificador trifásico totalmente controlado, considerando una corriente en la carga constante, por lo tanto, debe haber un tiristor del grupo superior (T1, T3, T5) y uno del grupo inferior (T4, T6, T2) en conducción todo momento. La secuencia de disparo de los tiristores corresponde a la numeración de estos en la figura. (1,2,3,4,5,6), disparándose los tiristores cada 60° y con un ángulo de retraso α respecto al punto de conmutación natural, que es aquel en el que empezarían a conducir los tiristores en un rectificador trifásico en puente completo.

2.2.3 Variador trifásico

La potencia disponible a un nivel de voltaje casi constante alimenta al motor asíncrono asociado al grupo convertidor, por medio del inversor trifásico formado por los tiristores Q7, Q8, Q9, Q10, Q11 y Q12 (figura 2.4), con una onda rectangular de frecuencia variable entre 10 y 120 Hz. Debido a los efectos de voltajes pulsantes aplicados al motor, la velocidad

incrementa y los alternadores G1 y G2 son impulsados como se requiere [3].

Desde Q7 hasta Q12 son alimentados por un voltaje DC y requieren de un circuito especial para inhibir los diodos en el orden requerido, se invalida la línea de alimentación en el momento adecuado y en el tiempo necesario para apagar totalmente los SCR en orden. Este circuito este compuesto por Q14, Q1, C3, C5 y L5 [5].

Inversor Trifásico

Los inversores son convertidores estáticos de energía que convierten la corriente continua CC en corriente alterna AC, con la posibilidad de alimentar cargas en alterna, regular tensiones la frecuencia o bien ambas. En específico, los inversores transfieren potencia desde una fuente de continua a una carga alterna.

La aplicación típica de los inversores de potencia puede ser:

- Accionamiento de motores CA de velocidad ajustable.
- Sistemas de alimentación interrumpida.
- Dispositivos de corriente alterna que funcionan a partir de baterías.
- Hornos de inducción, etc.

La topología del convertidor trifásico como base de un sistema variador de velocidad se muestra en la Figura 2.6., este tipo de convertidor está comprendido por seis switches Q1-Q6. Estos elementos que se encuentran en antiparalelo con diodos usado para asegurar que la corriente inducida vaya a través de los switches que normalmente conducen mientras que los otros se encuentran apagados. El puente convertidor está dividido en tres ramales, uno por cada fase de la carga.

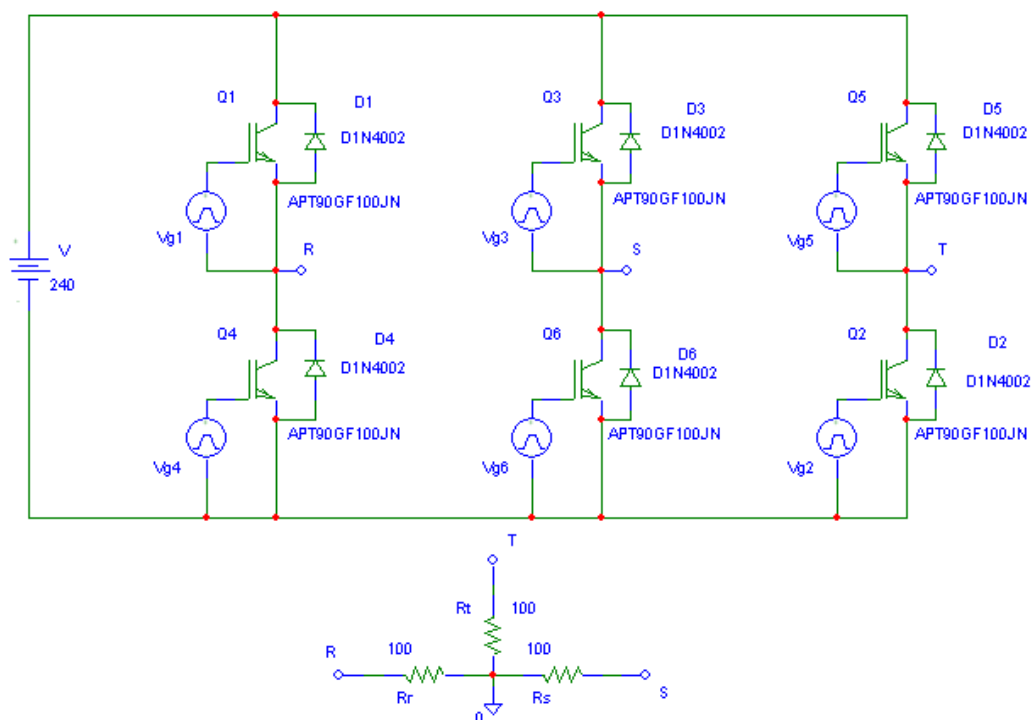


Figura 2.6: Topología del puente convertidor trifásico.

Se puede obtener una salida trifásica con una configuración de 6 transistores y 6 diodos. Se puede aplicar dos clases de señal de control de los transistores: conducción a 120° y conducción a 180° .

El método por utilizar es la conducción a 180° , porque es el que utiliza de manera eficiente los interruptores. Cada transistor conduce durante 180° , en cualquier momento hay tres transistores encendidos. Cuando se enciende el terminal Q1, la terminal a esta conectada con la terminal positiva con la terminal CD de entrada, cuando se enciende el transistor Q4, la terminal a se lleva a la terminal negativa de la fuente CD. Hay 6 modos de operación de un ciclo y la duración de cada módulo es de 60° . Los transistores se enumeran en el orden de sus señales de disparo (es decir, 123, 234, 345, 456, 561, 612) las señales de disparos están desplazada 60° entre sí, para obtener voltajes trifásicos balanceados.

Los interruptores de cualquier rama del inversor (S1 y S4, S3 y S6 o S5 y S2) no se pueden encender de forma simultánea, porque se produciría un corto a través del enlace con la fuente de voltaje CD de alimentaciones, de igual manera para evitar estados indefinidos y en consecuencia voltajes indefinidos de CA de salida, los interruptores de cualquier rama del inversor no pueden apagarse en forma simultánea, porque producirían voltajes que depende de la polaridad de la corriente de la línea correspondiente.

2.2.4 Grupo convertidor

El grupo convertidor formado por tres máquinas eléctricas representa un filtro pasa bajo, cuyo propósito es aislar eléctricamente la línea de 440V-60HZ trifásica eléctrica del barco al sistema eléctrico de los cañones.

La potencia disponible entregada casi siempre es un nivel de voltaje constante, es aplicada mediante motor asíncrono, asociado con el grupo convertidor, a través de SCR's controlados impulsados por etapas con una frecuencia que varía entre 10 y 120 HZ [6].

El sistema de control de frecuencia variable entrega al motor asíncrono una potencia correspondiente a 10KVA con carga a 440V-60HZ de alimentación, siempre que el grupo convertidor (figura 2.7) se encuentra corriendo a baja velocidad con respecto a la máxima velocidad permitida. Mientras que, por el otro lado, los dos generadores trabajan a máxima velocidad, el control regulador de poder previene sobre pasar el valor de la máxima velocidad permisible [6].

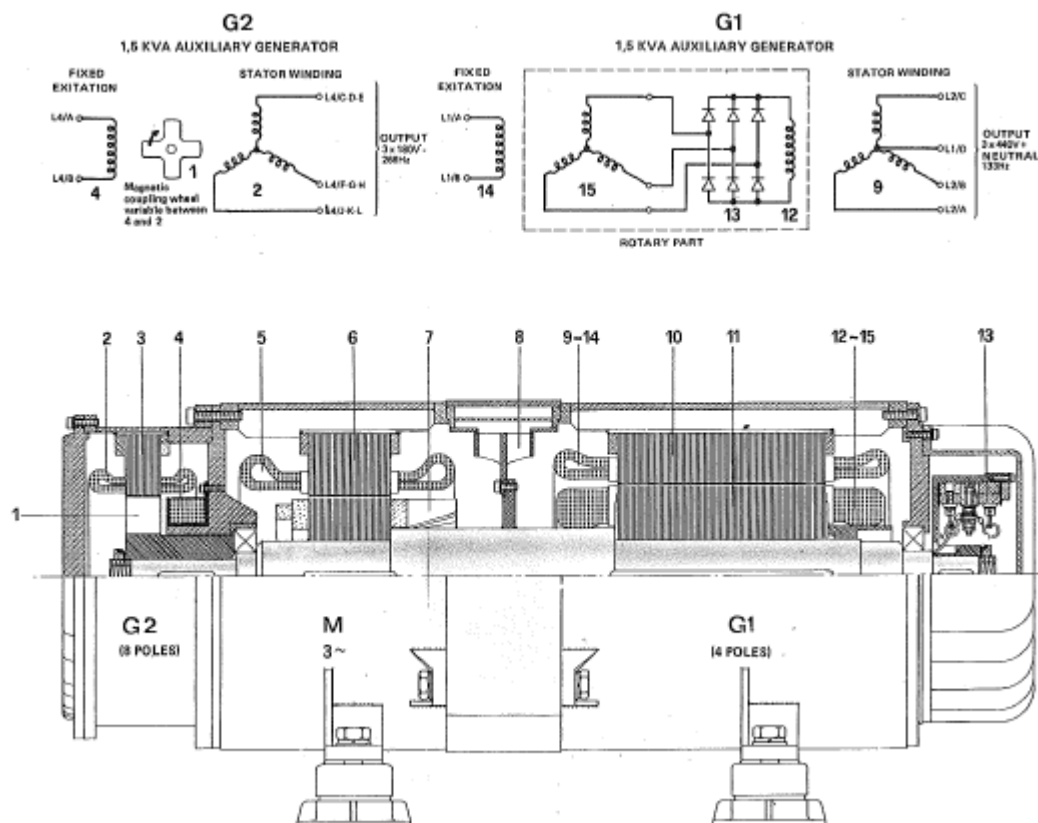


Figura 2.7: Grupo convertidor.

El generador uno, se encarga principalmente de la alimentación de los motores de elevación y ronza, mientras que el generador dos se encarga de alimentar casi la mayoría de los circuitos de control, de frenado y enfriamiento.

Motor Asíncrono.

Un motor asíncrono (de inducción) consiste en varias partes, siendo el rotor y el estator la base de subsistemas en la máquina. En la figura 2.8 se tiene una vista expandida del motor jaula de ardilla junto con la tabla 3 las partes del motor de inducción.

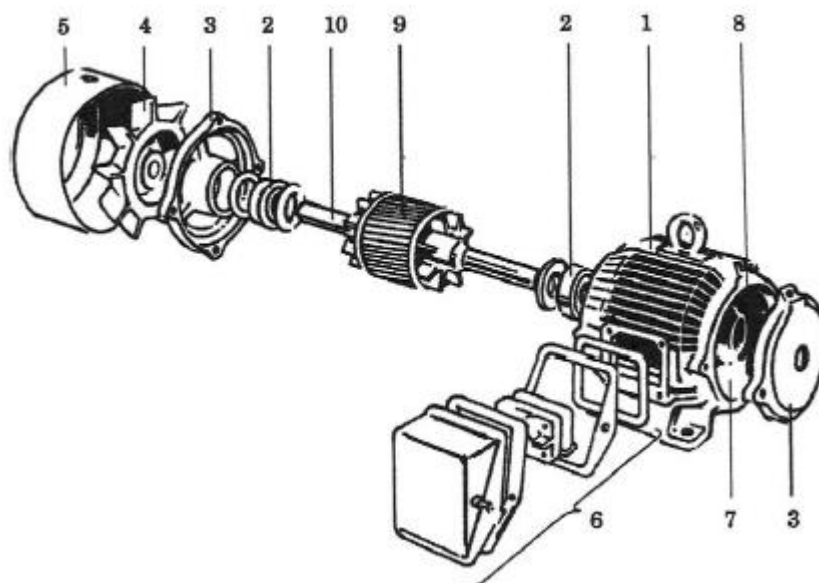


Figura 2.8. Vista expandida de un motor de inducción [7].

1	Carcasa del motor
2	Rodamientos
3	Soportes para los rodamientos
4	Ventilador de enfriamiento
5	Cobertor de ventilador
6	Caja de conexiones
7	Núcleo del estator
8	Devanado del estator
9	Rotor
10	Eje del rotor

Tabla 3: Partes del motor de inducción jaula de ardilla.

El devanado trifásico del estator produce un campo magnético rotatorio, el cual constituye una propiedad importante no solo con los motores de inducción, sino también con los motores síncronos. Las bobinas se encuentran separadas en espacio por 120° entre cada una. Estas pueden estar conectadas en estrella o delta.

La FEM es proporcional a la razón de cambio del flujo magnético, si el rotor se encuentra estacionario respecto al campo, esto es, si el rotor

girara a la velocidad sincrónica, no experimentaría cambios en el flujo magnético [7].

La FEM produce una corriente i , en el conductor. Esta interacción de corriente y campo magnético produce una fuerza electrodinámica, con la regla de la mano derecha, determina la dirección de la fuerza. Por esta razón el campo del estator provoca el movimiento de los conductores del rotor, el cual se va a mover con una velocidad menor que la velocidad sincrónica.

La relación requerida entre las revoluciones por minutos, el torque y la potencia de la carga de los motores síncronos son controlados por el circuito de regulación dinámica.

2.2.5 Placas de control

La corriente total de carga del motor asíncrono, y en consecuencia la potencia total, es medida a través de la bobina EC0302 y es comparada, dentro de la placa A33 con un nivel de referencia fija generado dentro de la misma placa A33 [3].

Si la corriente de la carga, y por consiguiente la potencia de la carga, es menor que la máxima corriente permitida y el motor requiere mayor energía que la energía actualmente entregada, los pulsos de control de los SCR son prevista por las placas A34, A35 y A36 entonces aumentara la corriente entregada [3].

Simultáneamente, y en concordancia con las características requeridas por el circuito de regulación dinámica, incrementa la frecuencia de encendido de los SCR Q7 hasta el Q12 resultan que determina la frecuencia de la onda entregada al motor por la placa A39 [5].

Las revoluciones por minutos son leídas por el transformador T11 y son comparadas con valores de referencia de velocidad requeridas en la placa A40. Si dos valores no coinciden, el voltaje error (diferencia de velocidad) se determina un incremento o decremento de la frecuencia de encendido de los SCR Q7 hasta Q12 [5].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se describe el procedimiento para determinar el camino a seguir en el convertidor AC-AC realizando mediciones de las señales de control dentro del gabinete, de la misma manera se realizaron simulaciones en la etapa rectificadora para estudiar los efectos de los armónicos del variador antiguo.

3.1 Estudio Técnico del Cañón Breda

Toma de mediciones dentro del panel de potencia del cañón Breda

Se realizaron mediciones dentro de la corbeta, con el cañón funcionado en modo remoto, es decir que el cañón está siendo controlado desde el sistema de control de disparo (F.C.S. por sus siglas en Inglés). El gabinete de potencia trabajando con el panel local de control, o con el F.C.S. siempre se encuentra operando dado que proporciona energía eléctrica a todo el sistema.

Para realizar un correcto análisis de cómo funciona el variador se realizaron mediciones del funcionamiento de las diferentes tarjetas ubicadas dentro del panel de potencia, realizando mediciones de las señales de entrada y salidas.

Tarjeta A33

La tarjeta A33 realiza la mayor parte del control del variador, a esta tarjeta le llegan señales analógicas como la reacción de velocidad, el límite de velocidad proveniente de la tarjeta A40 y del transformador T11. La tarjeta se encarga de acoplar las señales a un nivel de voltaje y corriente adecuado para ser distribuidas a las tarjetas A34, A35, y A36, las cuales controlan los disparos de grupo de tiristores del panel de potencia. Esta tarjeta también se encarga de acoplar el circuito de encendido y apagado del rectificador proveniente del panel de control por medio de la tarjeta A51.

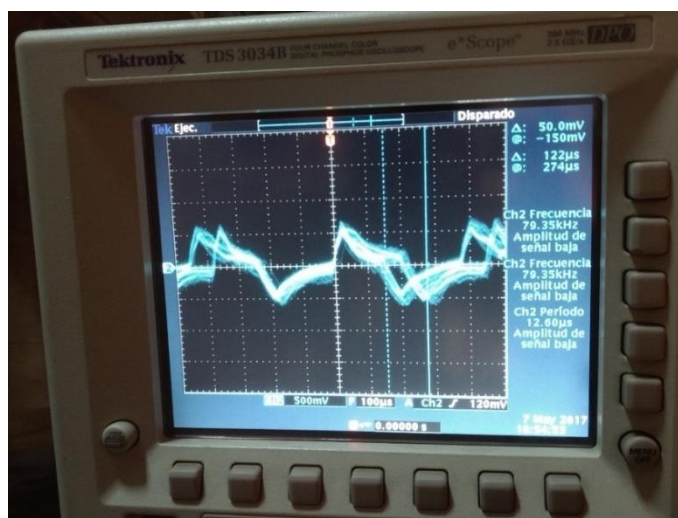


Figura 3.1: Reacción de velocidad señal del pin 16A de la tarjeta A33.

La figura 3.1 muestra la medición de la velocidad a la cual gira el motor del grupo convertidor. La señal mostrada son pulsos, los cuales se compara con una señal de referencia de velocidad.

A partir de la comparación de la señal de referencia con la señal de reacción de velocidad del motor, la placa A33 decide cuanto debe de variar la velocidad del motor o si esta debe mantenerse constante además debe de mantener una potencia constante por lo cual implica un control sobre la corriente del rectificador.

Tarjetas A34, A35, A36

Las tarjetas A34, A35 Y A36 realizan funciones similares. Son las encargadas del control de cada uno de los 3 ramales de rectificador del panel de potencia, a esta tarjeta llegan las señales procedentes de la A33, las que indicará cual ramal del rectificador se debe encontrar encendido para mantener una potencia de 10 KVA de este modo la tarjeta A34 realiza el control de los SCR Q1 y SCR Q4, la tarjeta A 35 de los SCR Q2 y Q5, y la tarjeta A36 de los SCR y Q6.



Figura 3.2: Señal de respuesta de corriente y velocidad proveniente de la tarjeta A33.

La señal que se ve en la figura 3.2 indica a las placas si entra en funcionamiento, debido a que cada una de las placas (A34, A35 y A36) controlan un ramal del rectificador del gabinete, permitiendo así el paso de la corriente por el mismo.

Realizando el control del encendido y apagado se puede controlar cuanta corriente maneja el sistema, manteniendo constante la potencia de salida hacia el motor.

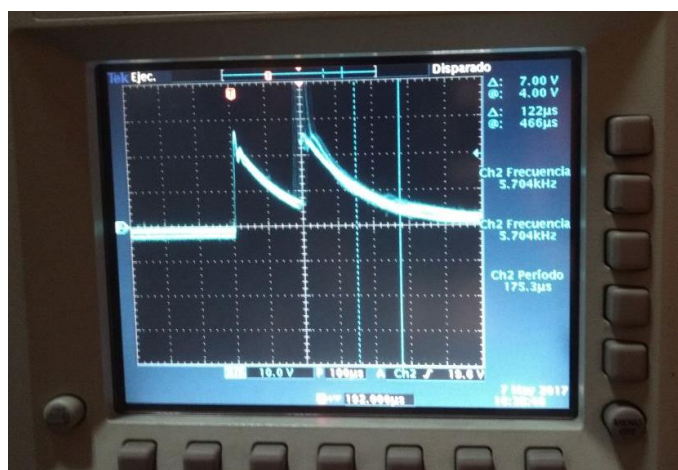


Figura 3.3: Señal de disparo hacia las compuertas de los tiristores.

Los SCR reciben las señales procedentes de sus respectivas placas, en la figura 3.3 se observa como son los pulsos de cada uno de los SCR, los pulsos seguidos debido a la forma de la señal de entrada al rectificador que es una senoidal

trifásica, en cada ramal solo se enciende un rectificador a la vez para evitar cortocircuitos por lo tanto la señal que recibe el SCR de la parte inferior del ramal es opuesta a la señal del SCR superior del ramal.

Tarjeta A39

La tarjeta A39 realiza los disparos del variador de frecuencia, esta tarjeta recibe la señal procedente de la tarjeta A40 que indica la frecuencia a la que debe trabajar el sistema para que la velocidad del motor sea la adecuada. Las señales de salida de la tarjeta A39 realizan los disparos de los SCR desde Q7 al Q13.

Tarjeta A40

La tarjeta A40 realiza la selección de la frecuencia adecuada del funcionamiento del sistema. Recibe señales acopladas del transformador T11, internamente tiene un comparador de fase y un oscilador controlado por voltaje. Envía una señal de frecuencia variable hacia la tarjeta A39 encargada del encendido de los tiristores.

3.2 Simulación del convertidor AC-AC

En base a la documentación técnica del cañón, manuales y circuitos se elaboró el circuito rectificador del convertidor AC-AC con parámetros reales de voltaje y potencia figura 3.4. En el rectificador tipo puente totalmente controlado, se obtuvieron datos para diferentes ángulos de disparo alfa (α) con los valores de 0° , 30° y 60° .

Entre los datos que da como resultado la simulación se obtuvieron: corriente y voltaje en la salida, potencia promedio de la carga, y las corrientes de cada fase figura 3.5.

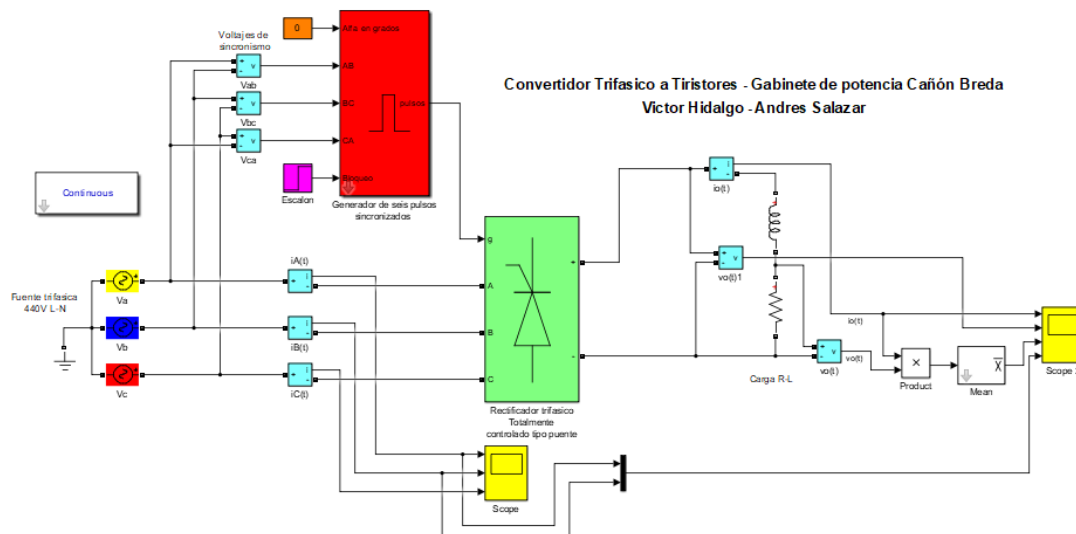


Figura 3.4: Simulación del circuito rectificador.

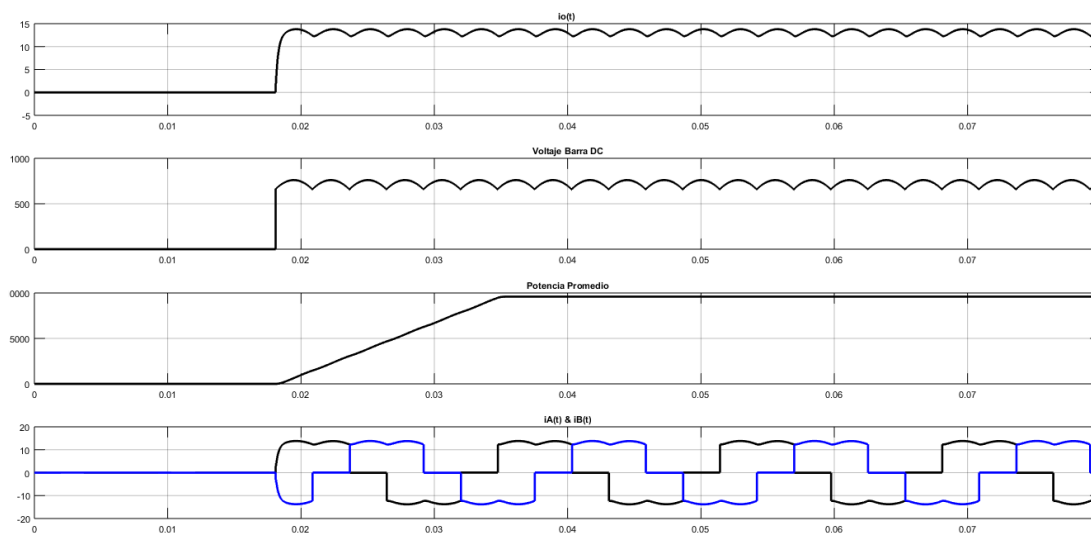


Figura 3.5: Gráfica de corriente, voltaje y potencia promedio en la carga, gráficas de corriente en la fase A y B para un ángulo de 0° .

Realizando un análisis mediante series rápidas de Fourier, en donde se obtuvieron los niveles DC, la corriente fundamental (60Hz) y los armónicos principales (3° , 5° y 7° orden):

Ángulo de disparo $\alpha=0^\circ$ Sin filtro

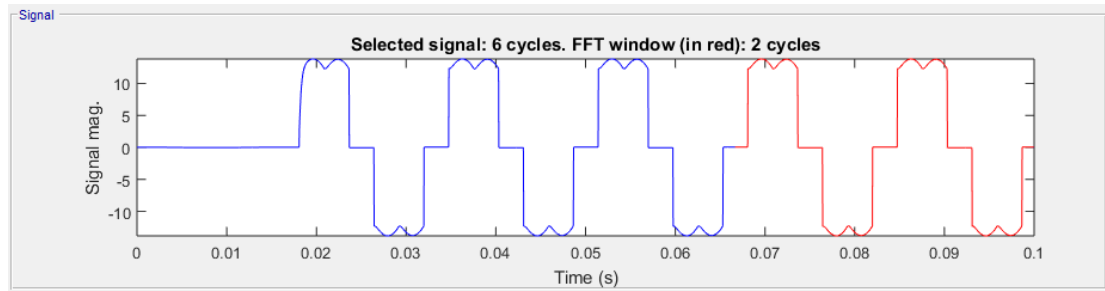


Figura 3.6: Corriente de fase.

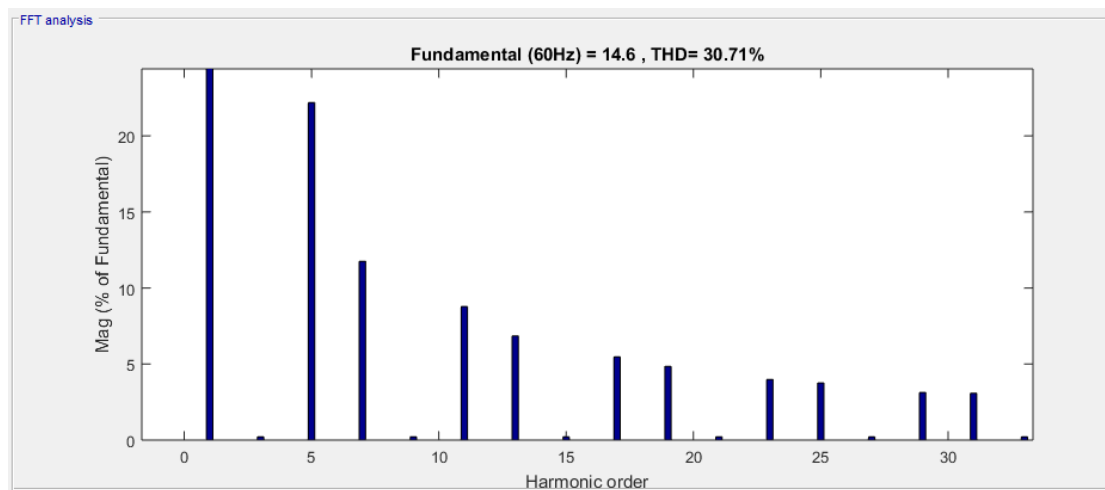


Figura 3.7: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 0° sin filtro.

Sin Filtro

Ángulo alfa		0	°	
Fundamental		14,6	A	
THD		30,71	%	
Frecuencia		Número de Armónico	Voltaje	Porcentaje
0	Hz	DC	0	0,00%
60	Hz	Fundamental	14,6	100,00%
180	Hz	H3	0,03	0,21%
300	Hz	H5	3,24	22,19%
420	Hz	H7	1,72	11,78%

Tabla 4: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 0° sin filtro.

Ángulo de disparo $\alpha=30^\circ$ Sin filtro

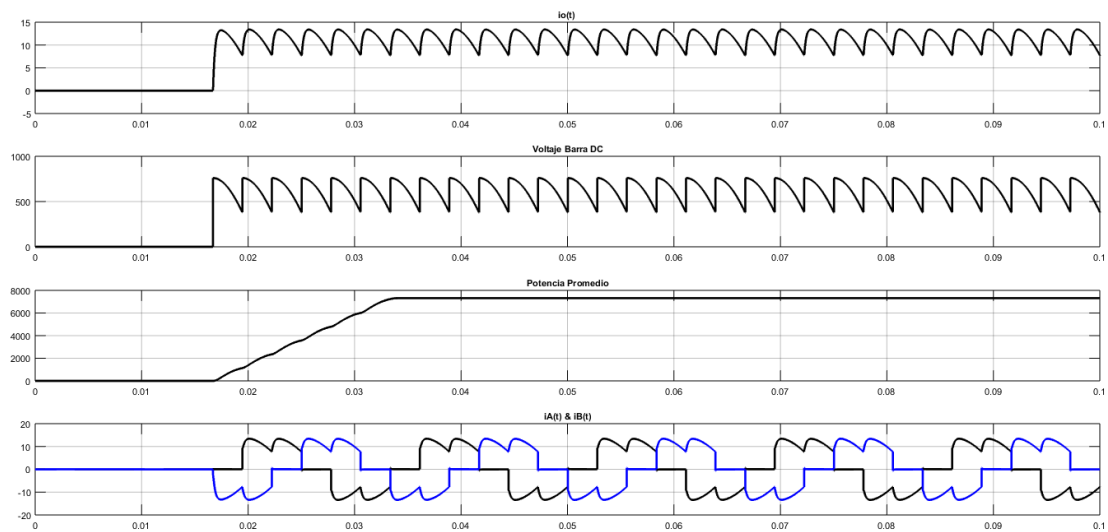


Figura 3.8: Gráfica de corriente, voltaje y potencia promedio en la carga, gráficas de corriente en la fase A y B para un ángulo de 30° .

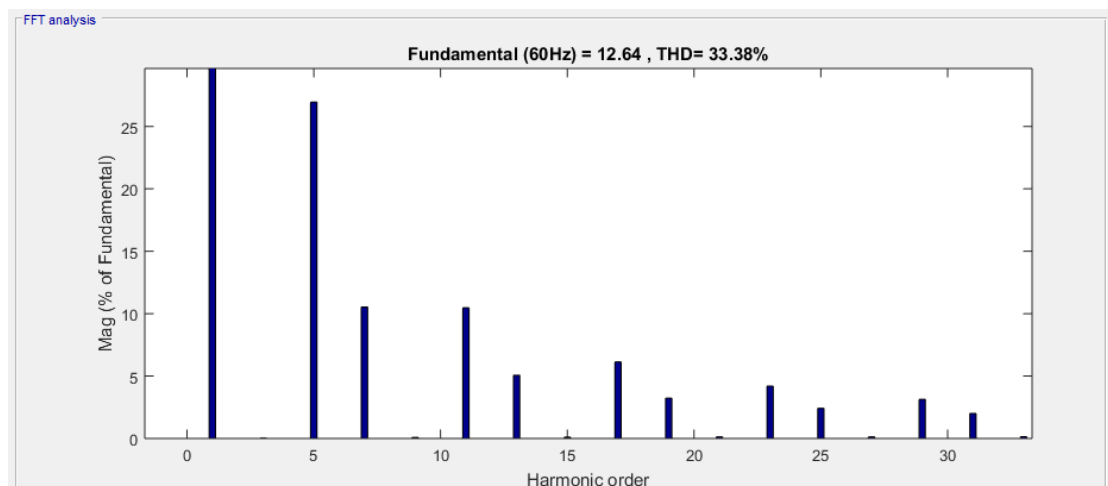


Figura 3.9: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 30° sin filtro.

Sin Filtro

Ángulo alfa		30	°	
Fundamental		12,64	A	
THD		33,38	%	
Frecuencia		Número de Armónico	Voltaje	Porcentaje
0	Hz	DC	0	0,00%
60	Hz	Fundamental	12,64	100,00%
180	Hz	H3	0	0,00%
300	Hz	H5	3,41	26,98%
420	Hz	H7	1,33	10,52%

Tabla 5: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 30° sin filtro.

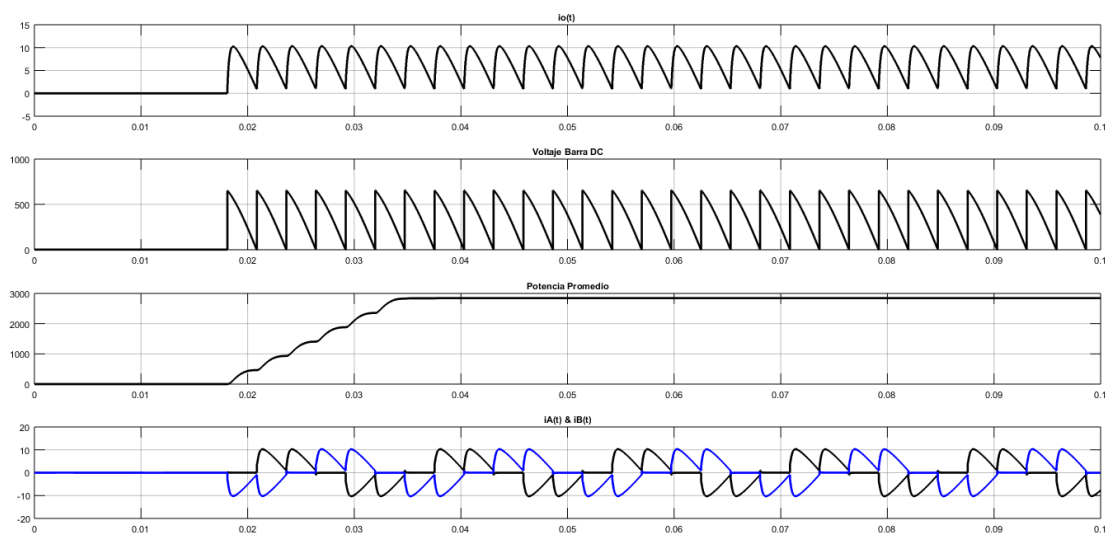
Ángulo de disparo $\alpha=60^\circ$ Sin filtro

Figura 3.10: Gráfica de corriente, voltaje y potencia promedio en la carga, gráficas de corriente en la fase A y B para un ángulo de 60°.

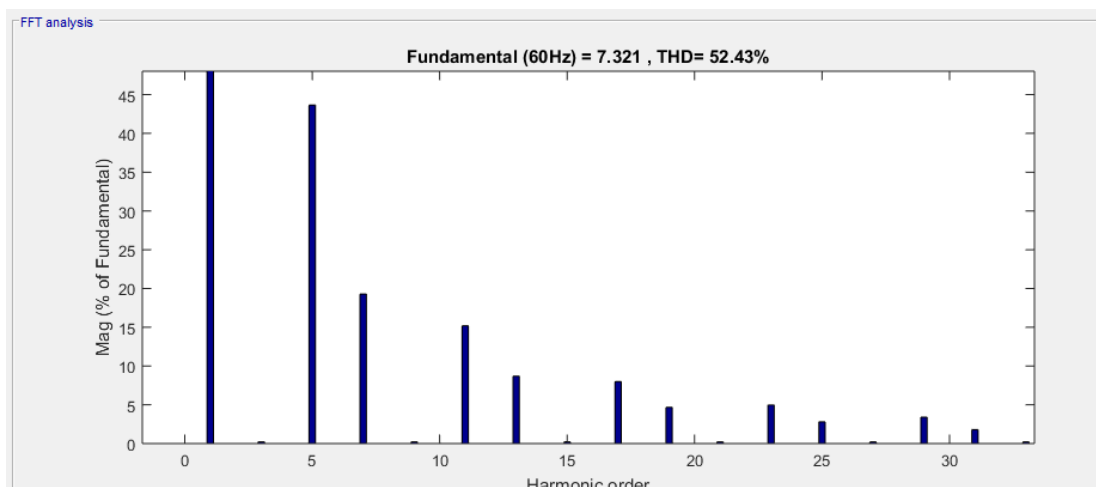


Figura 3.11: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 60° sin filtro.

Sin Filtro

Ángulo alfa		60	°	
Fundamental		7,31	A	
THD		52,43	%	
Frecuencia		Número de Armónico	Voltaje	Porcentaje
0	Hz	DC	0	0,00%
60	Hz	Fundamental	7,32	100,00%
180	Hz	H3	0,02	0,27%
300	Hz	H5	3,2	43,72%
420	Hz	H7	1,41	19,26%

Tabla 6: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 60° sin filtro.

Se observa que el variador actual produce una cantidad considerable de Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en Inglés) las cuales producen pérdidas de energía y generan calentamiento sobre los equipos cercanos. Por esta razón se vuelve necesario encontrar un sistema que reduzca el nivel de corrientes armónicas para mejorar la calidad de energía en el barco y disminuir las pérdidas

3.3 Sistema Variador de velocidad

La tecnología utilizada en el gabinete de potencia es considerada muy antigua, por esta razón presenta problemas para realizar el control de corriente y frecuencia del motor, otro problema importante es la introducción de armónicos a la red y al motor provocando intensas vibraciones y pérdidas de potencia y la reducción del factor de potencia.

La solución presentada en este proyecto es la sustitución del antiguo sistema de control de frecuencia por un variador de velocidad moderno, de uso comercial y de fácil instalación y mantenimiento.

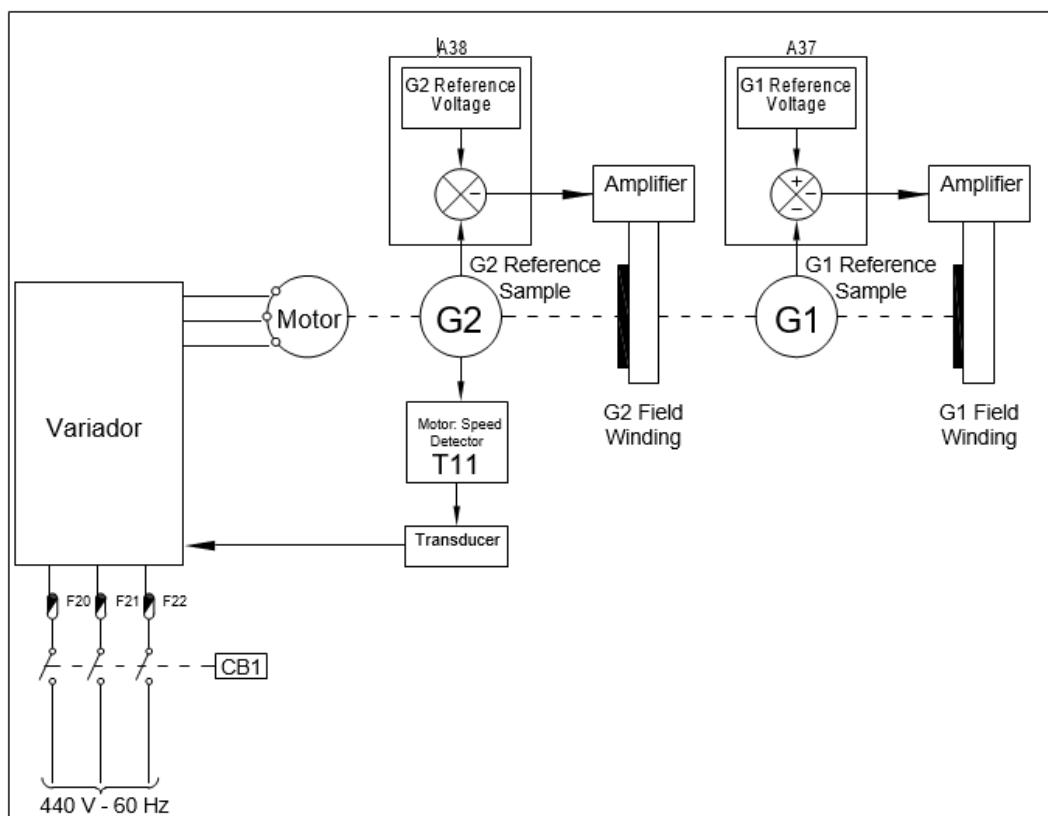


Figura 3.11: Diagrama del nuevo sistema del regulador de velocidad del gabinete de potencia.

El esquema de funcionamiento del regulador de velocidad es similar al que ya poseía el Cañón Breda, la única diferencia se presenta al cambiar la parte de

poder y de control del convertidor. En la figura 3.11 se muestra cómo se sustituye el rectificador y el variador de frecuencia obsoleto por un drive mucho más moderno que integra muchas más funcionalidades. La decisión de sustituir la tecnología antigua por este nuevo variador se da a que la forma en la que manipulaban la corriente era muy ineficiente produciendo altos armónicos que se inyectaban a la red eléctrica del barco además de que debido a la inestabilidad del sistema y al pésimo sistema de conmutación forzada se producía un daño inmediato en los SCR lo cual implica una inversión alta en mantenimiento correctivo.

El nuevo variador que se utiliza permite un mejor control del voltaje asegurando siempre mantener los valores en el rango deseado, esto quiere decir que la potencia no sea diferente a 10kVA y que la velocidad del motor sea la adecuada para el fruncimiento correcto del cañón. El variador cambia la tecnología y diseño antigua de SCR por IGBT muchos más veloces y eficientes. Debido a que un variador trabaja con señales netamente digitales o analógicas se empleará un transductor para acondicionar las señales medidas por el transformador T11 que indica a qué velocidad se encuentra girando el motor.

3.4 Resumen de la selección

Los convertidores estándar SINAMICS G120 son variadores modulares para accionamientos estándar figura 3.12. La selección del convertidor SINAMICS G120 ideal se reduce a dos o tres pasos gracias al sistema modular utilizado [8].

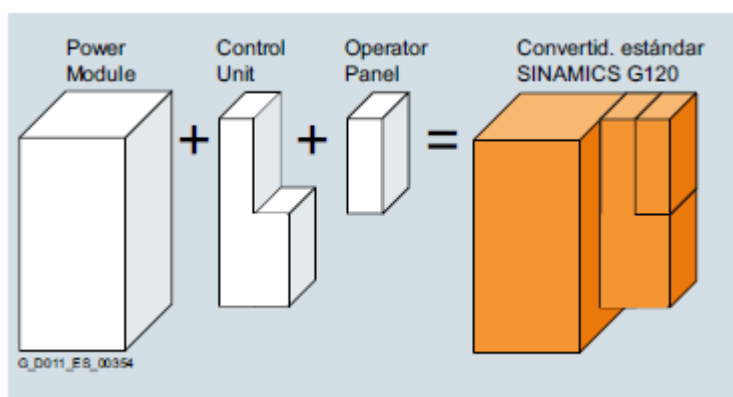


Figura 3.12: Diagramas de bloques de las partes del SINAMCIS G120 [8].

Módulo de Potencia

SINAMICS G120, PM240-2, Potencia asignada 18,5 kW LO (15 kW HO), IP20, No filtrado

Unidad de Control

CU240E-2, Sin Safety, EtherNet/IP

Componentes lado red

Fusible IEC

Paneles de mando/tapa ciega

Panel de mando IOP 13 idiomas

Juego para montaje en puerta IOP/BOP-2

Otros

Juego de conexión PC-convertidor 2 (USB)

Herramienta de puesta en marcha Starter en DVD-ROM

3.5 Descripción de los elementos a utilizar**Variadores de Velocidad Modulares SINAMIC G120**

Es un variador de frecuencia modular, eficiente energéticamente, seguro y robusto. Un variador para aplicaciones universales con condiciones de uso extremas gracias a su sistema inteligente de refrigeración, básicamente se compone de dos unidades funcionales: La etapa de potencia (Power module- PM) y Unidad de control (Control Unit- CU), además del panel operador [9]. En la figura 3.13 se observa el módulo de potencia.



Figura 3.13: Modelo 3D del módulo de potencia del variador.

SINAMICS G120 es un sistema de convertidores modular formado básicamente por dos unidades funcionales:

- Control Unit (CU)
- Power Module (PM)

La Control Unit controla y vigila el Power Module y el motor conectado en varios modos de regulación seleccionables. Permite la comunicación con un controlador local o central y con dispositivos de vigilancia.

El Power Module alimenta el motor en una gama de 0,37 kW a 250 kW. Para un funcionamiento flexible del motor con la máxima fiabilidad se emplea la tecnología IGBT más moderna con modulación PWM. Las funciones de protección, muy completas, proporcionan una elevada protección para el Power Module y para el motor [10].

Módulo de potencia PM240

En función de la potencia necesaria, la tensión de conexión y los ciclos de frenado esperados, se puede seleccionar con rapidez la etapa de potencia óptima. Los

Power Modules con grado de protección IP20 están diseñados para ser montados en un armario eléctrico [8].

Los Power Modules PM240 tienen un troceador de freno (aplicaciones de cuatro cuadrantes) y son aptos para un gran número de aplicaciones. En la figura 3.14 se observa el diagrama interno del módulo de potencia.

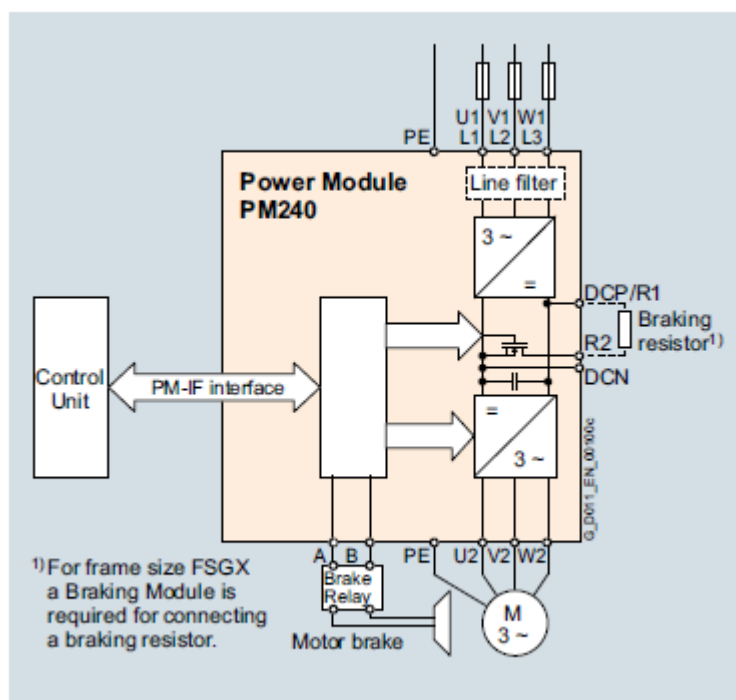


Figura 3.14: Diagrama de conexión de módulo PM240 Power Module.

De-rateo de temperatura

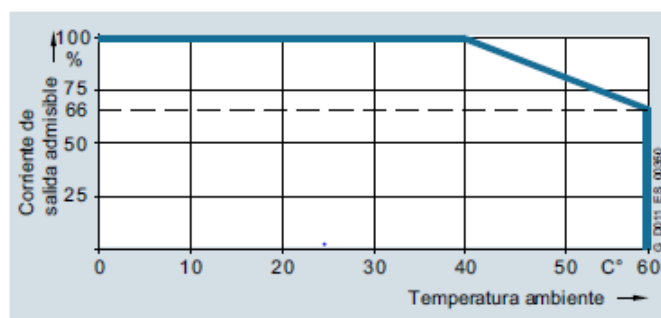


Figura 3.15: Sobrecarga leve (low overload LO) para Power Modules PM240-2.

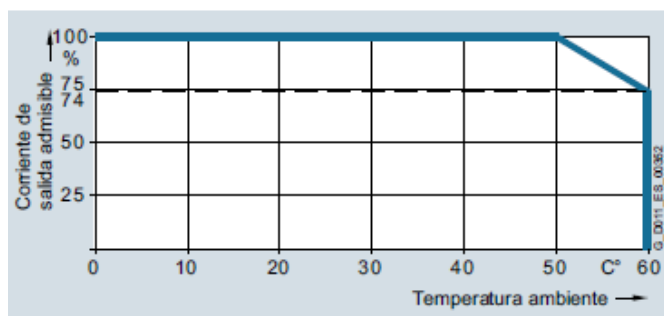


Figura 3.16: Sobrecarga alta (high overload HO) para Power Modules PM240-2.

En las figuras 3.15 y 3.16 se observa el de-ratero de potencia para diferentes condiciones de temperatura con un funcionamiento al 75% de su capacidad cuando la temperatura esta entre 50° a 60°.

Unidad de Control CU240E-2

En la figura 3.17 se tiene la unidad de control, la cual permite la comunicación con otros variadores, con un controlador central y con dispositivos de vigilancia. Incorpora una interfaz USB para comunicaciones con PC, slot para tarjeta SC y funciones tecnológicas para aplicaciones estándar. Adicionalmente incluye bloques libres, reguladores PID, interface para sensores de temperatura, encoders, entre otros [9].



Figura 3.17: Modelo 3D de la unidad de control del variador.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1 Comparación entre el sistema antiguo de variador con SCR y el variador Siemens SINAMICS G120

Variador con SCR

El cañón Breda presenta un gabinete de potencia encargado de la alimentación de todo el equipo, el cual posee un sistema de variador de frecuencia muy antiguo y en comparación a la tecnología actual obsoleto debido a los problemas que presenta como se ve en la figura 4.1.

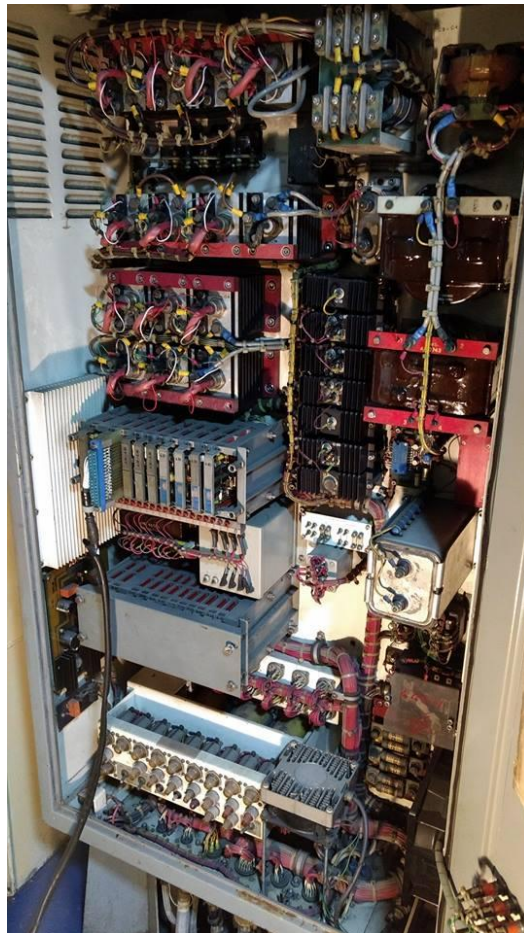


Figura 4.1: Gabinete de potencia.

El sistema de control de la alimentación eléctrica que posee actualmente el cañón está formado por rectificadores controlados SCR (tecnología que actualmente aún se usa para convertir la señal AC a DC) y además de un sistema de variador de frecuencia formados con SCR (tecnología ya obsoleta para uso en inversores). Aunque el rectificador funciona de forma correcta al convertir de AC a DC los inconvenientes del sistema se presentan en el variador a causa de que los SCR no son de conmutación rápida, es decir el encendido de los mismo es sencillo, pero para apagar se necesita un sistema de conmutación forzada, estando éste formado por un SCR y un diodo de cilicio con los cuales se varia la frecuencia a la que debe ser conmutados los SCR para obtener la velocidad adecuada del motor figura 4.2.

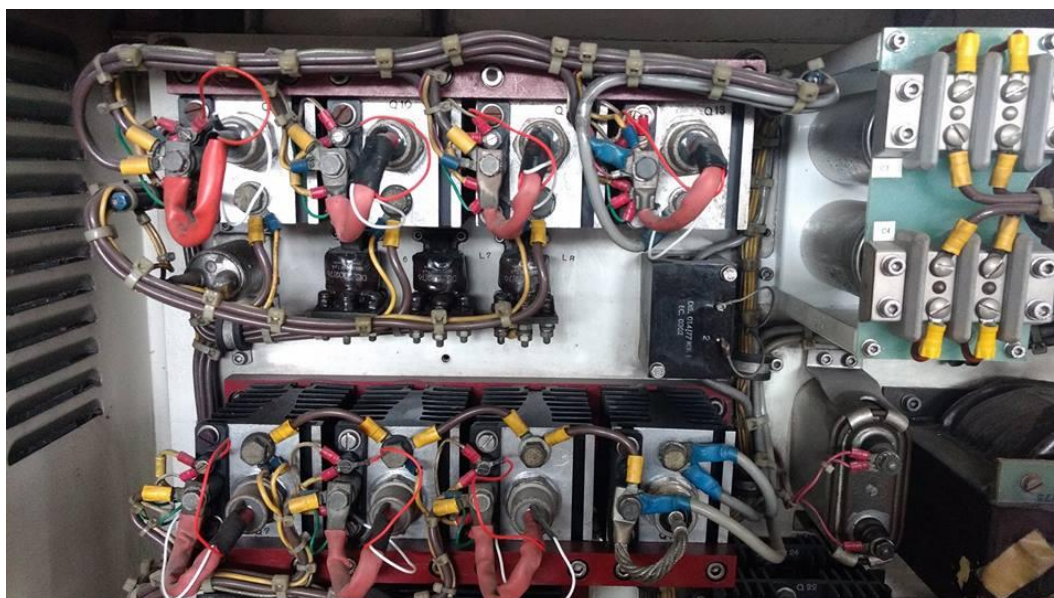


Figura 4.2: Etapa de potencia del variador de frecuencia.

El sistema antiguo de variador presentaba muchos problemas, uno de ellos ocurría cuando fallaba algún SCR, el resto de elementos comenzaba a fallar por lo cual se procedía a cambiar cada uno de ellos los 6 o 7 en total dependiendo de la etapa en que hubiera ocurrido el inconveniente, esto representa un alto costo monetario en el mantenimiento correctivo del sistema. En la actualidad la armada no cuenta con un presupuesto amplio para el mantenimiento de los equipos bélicos por lo

cual mediante de prueba y error pudieron volver a utilizar varios SCR que se utilizaron en el pasado y que ya se los habían dado como averiados, pero con su vida útil mucho menor figura 4.3.



Figura 4.3: Rectificador Controlado de Silicio SCR 36A160.

La reutilización de los mismos es una buena práctica dado a que los SCR aún se encontraban en funcionamiento, pero debido a que pasaron mucho tiempo sin funcionar el tiempo de vida útil de los mismo disminuyó provocando fallas seguidas en el variador.

SINAMICS G120

El SINAMICS G120 que se observa en la figura 4.4 es un driver moderno de uso general el cual incluye IGBT en lugar de SCR para la etapa de potencia del inversor, los IGBT son muchos más rápidos al realizar la conmutación y no necesitan ningún tipo de circuito de conmutación forzada siendo muchos más fáciles de controlar. Como su funcionamiento es más rápido, es común el uso de

un control PWM, aprovechando mucho mejor la potencia entregada por las líneas del sistema. Cabe destacar, que el control PWM es muy rápido lo que puede producir una cantidad de armónicos considerables, el SINAMICS G120 posee un filtro para suavizar la onda por lo que es útil para el funcionamiento de motores antiguos cuyo aislamiento se puede ver comprometido con la presencia de corrientes parásitas.

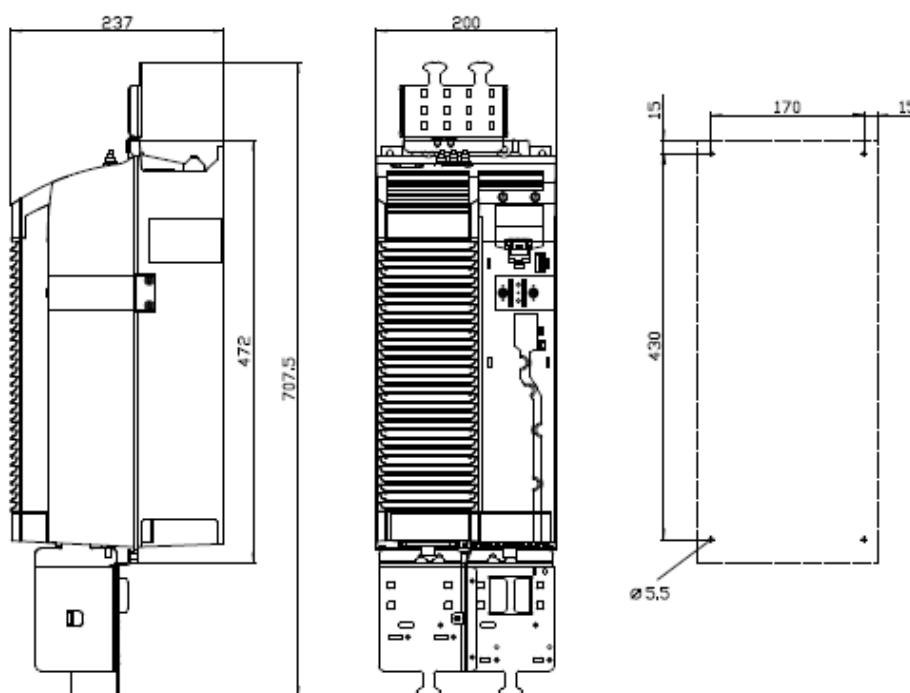


Figura 4.4: Módulo de potencia del variador.

4.2 Problemas comunes

Las tarjetas también suelen presentar algunos problemas, como la tarjeta A39 (control de disparo de los SCR), A34, A35, A36 (control de los ramales del puente rectificador) y la A40 (control asíncrono) debido a la quema de elementos y la única solución es reemplazarlos. La tecnología de las placas es electrónica analógica muy antigua y que presenta muchos problemas. Las tarjetas se observan en la figura 4.5.



Figura 4.5: Tarjetas A40 y A39 respectivamente.

Debido a que la señal de velocidad proveniente del transformador T11, es acoplada a través de la tarjeta A33 para ser procesada en la A40, a su vez la señal proveniente de la tarjeta A40 es procesada nuevamente por la A33 y se dirige a la A51 donde se cierra un lazo de control con la A33.

La tarjeta A33 no puede ser reemplazada completamente por el sistema variador por lo que se van a utilizar los pines 3a, 4a, 4b, 5a, 9b, 11a, encargadas del acople de T11 con A40, los pines 13a, 12a, 15a, 16a, dirigidas a la tarjeta A38, A51, A7 y A8, los pines 1b, 7b, 14b de alimentación, y se van a deshabilitar los pines restantes. En la figura 4.6 se observa en rojo la parte de la tarjeta que se reutilizara.

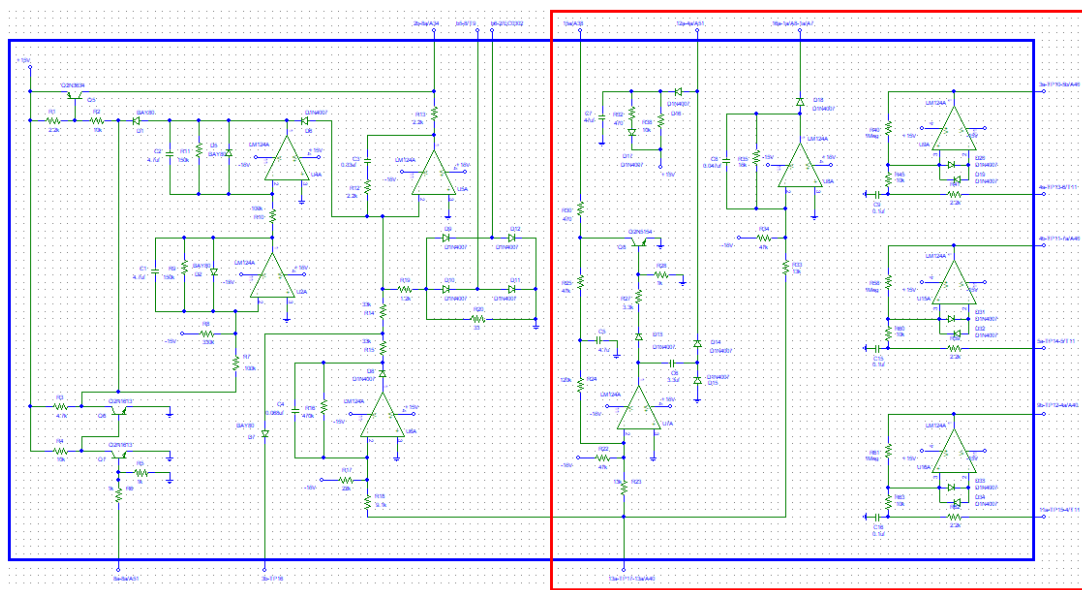


Figura 4.6: Circuito de la tarjeta A33 elaborada en PSPICE.

El gabinete de potencia ya se han realizado trabajo de modernización y mejoramiento de lo mismo sin tener un resultado efectivo, una de estas mejoras que se realizo fue colocar un filtro al ingreso para mejorar el voltaje adquirida de las líneas del barco y verificar picos de corrientes. El SIMATICS G120 no necesita un filtro externo debido a que el ya incluye un filtro que realiza la misma función de una forma más eficaz para tener a la entrada del rectificador una onda sinusoidal sin ruido que afecten generando señales parasitas.

Otro problema que se encontró es humedad muy alta dentro de los barcos por lo cual se sugirió usar un sistema deshumidificador, pero se encontró que el deshumidificador funcionaba a un voltaje diferente al resto del sistema, el driver nuevo que se colocará no presentará este problema de humedad debido a las normas de seguridad ambientales que posee.

4.3 Ventajas

Las fallas en los SCR no son muy continuas, pero si se presentan al momento de haber un Black-Out (apagón) en la parte eléctrica del barco. Los Black-Out ocurren debido a fallas imprevistas dentro de los mecanismos que en cualquier

momento pueden suceder. Debido a constantes apagones, usualmente los elementos eran remplazados continuamente con SCR no adecuados para el manejo de este grupo convertidor. El SIMATICS G120 además de contar con una protección para sobrecarga y sobre tensiones que se presentan en el sistema es fácil de poner en marcha en caso de reinicio del sistema figura 4.7.



Figura 4.7: SCR montados y listo para retirarlos por falla.

El tiempo de demora para corregir un daño producido en el sistema antiguo del variador podía oscilar entre 24 a 72 horas, todo depende de se posee repuesto en bodega o si el elemento es de importarlo además solo se podía trabajar si el encargado del sistema se encuentra presente. El problema se presentaba en que el cañón quedaba fuera de funcionamiento durante todo el tiempo que se demore en realizar arreglar del fallo. El SIMATICS G120 es mucho más robusto y no

posee mucho danos al nivel de sus IGBT y al ser un equipo muy comercial en el Ecuador hay muchos especialistas certificados para brindar mantenimiento correctivo de este equipo además de ser necesario se puede guardar todos los parámetros dentro de una memoria micro SD así solo se reemplazaría el equipo averiado por uno nuevo momentáneamente y se cargaría la parametrización, hasta que este ya se encuentre reparado averiado y se reemplace nuevamente.

En la actualidad el gabinete de potencia si cuenta con un mantenimiento preventivo que debido a los fallos constante que sufre y a la antigüedad de los equipos se lo realiza cada seis meses (dos veces por año). El SIMATICS G120 debido al buen funcionamiento y al ser un equipo robusto su primer mantenimiento se realizará después de 3 años de su instalación, luego del primer mantenimiento los siguientes se los realizará cada año.

Por último, este nuevo equipo cuenta con un panel operador de montaje superficial el cual se colocaría sobre la puerta del gabinete, en esta pantalla podemos programar los parámetros y además ver la corriente y potencia que encuentra manejando el driver. También se puede conectar el driver a un PC con lo cual se puede realizar una base de datos del funcionamiento del equipo y así tener un historial del mismo para realizar un mantenimiento predictivo.

4.4 Reducción de armónicos en el sistema

Se realizó una comparación del efecto de los armónicos en el sistema para diferentes configuraciones de disparo, se observa en la tabla como un sistema variador con filtro reduce considerablemente los efectos del THD.

Ángulo de disparo $\alpha=0^\circ$ Con filtro

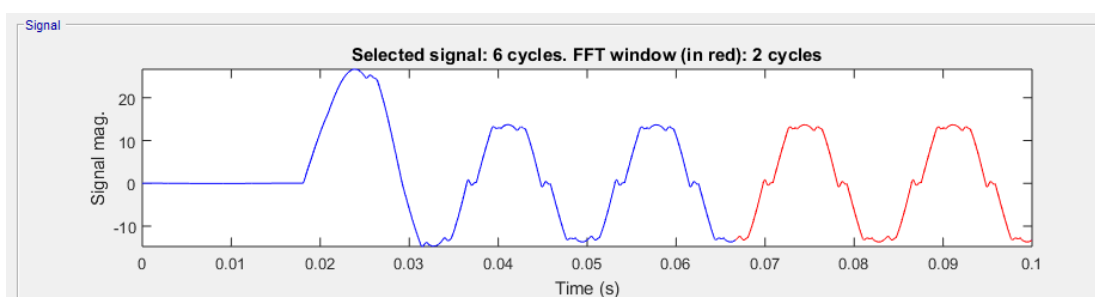


Figura 4.8: Corriente de fase, con ángulo de disparo 0° con filtro de red.

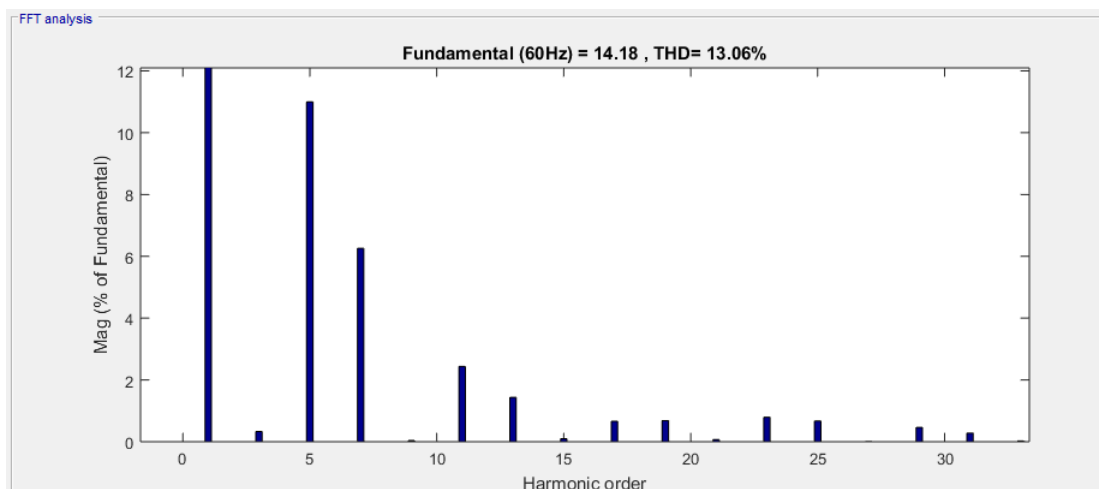


Figura 4.9: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 0° con filtro de red.

Con Filtro de Red

Ángulo alfa		0	°	
Fundamental		14,18	A	
THD		13,06	%	
Frecuencia		Número de Armónico	Voltaje	Porcentaje
0	Hz	DC	0	0,00%
60	Hz	Fundamental	7,32	100,00%
180	Hz	H3	0,02	0,27%
300	Hz	H5	3,2	43,72%
420	Hz	H7	1,41	19,26%

Tabla 7: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 0° con filtro de red.

Ángulo de disparo $\alpha=30^\circ$ Con filtro

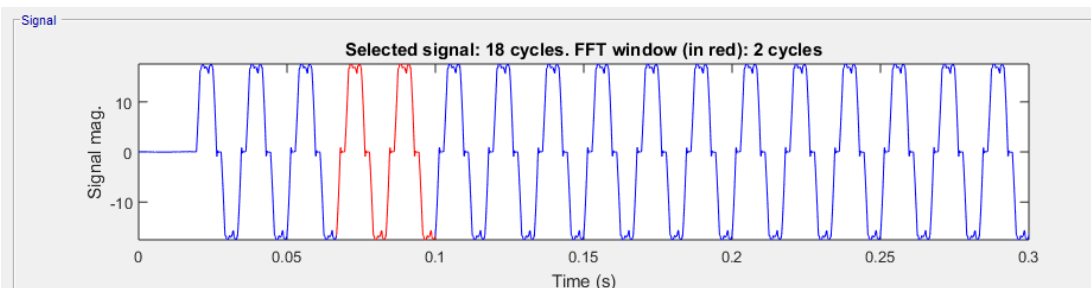


Figura 4.10: Corriente de fase, con ángulo de disparo 30° con filtro de red.

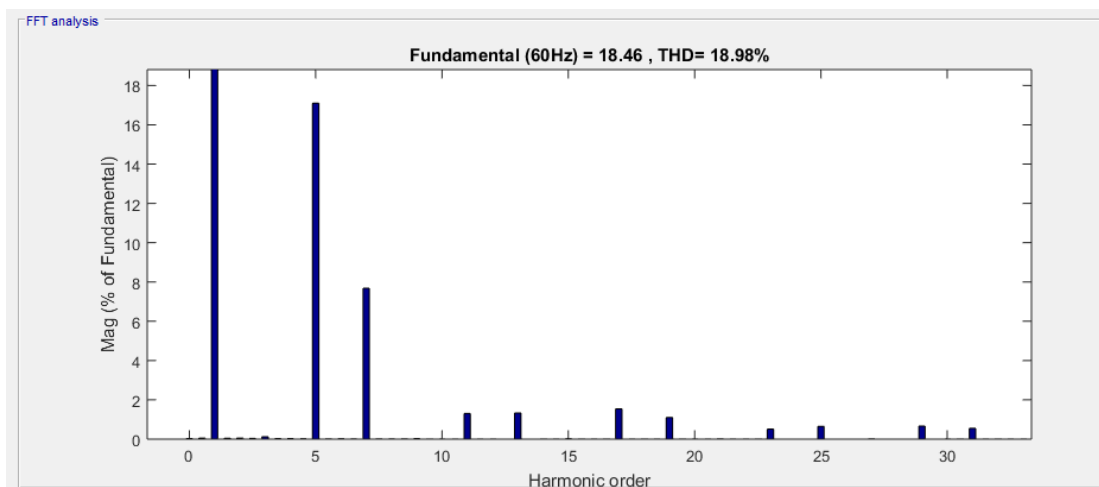


Figura 4.11: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 30° con filtro de red.

Con Filtro de Red				
Ángulo alfa	30 °			
Fundamental	18,46 A			
THD	18,98 %			
Frecuencia	Número de Armónico	de	Voltaje	Porcentaje
0 Hz	DC		0	0,00%
60 Hz	Fundamental		18,46	100,00%
180 Hz	H3		0,01	0,05%
300 Hz	H5		3,16	17,12%
420 Hz	H7		1,42	7,69%

Tabla 8: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 30° con filtro de red.

Ángulo de disparo $\alpha=60^\circ$ Con filtro

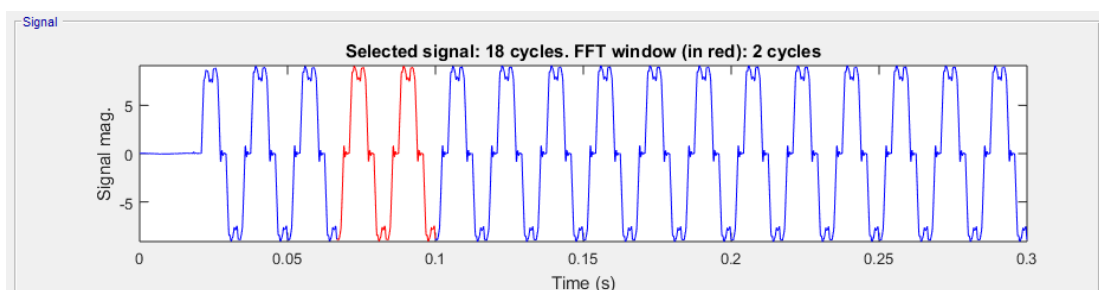


Figura 4.12: Corriente de fase, con ángulo de disparo 60° con filtro de red.

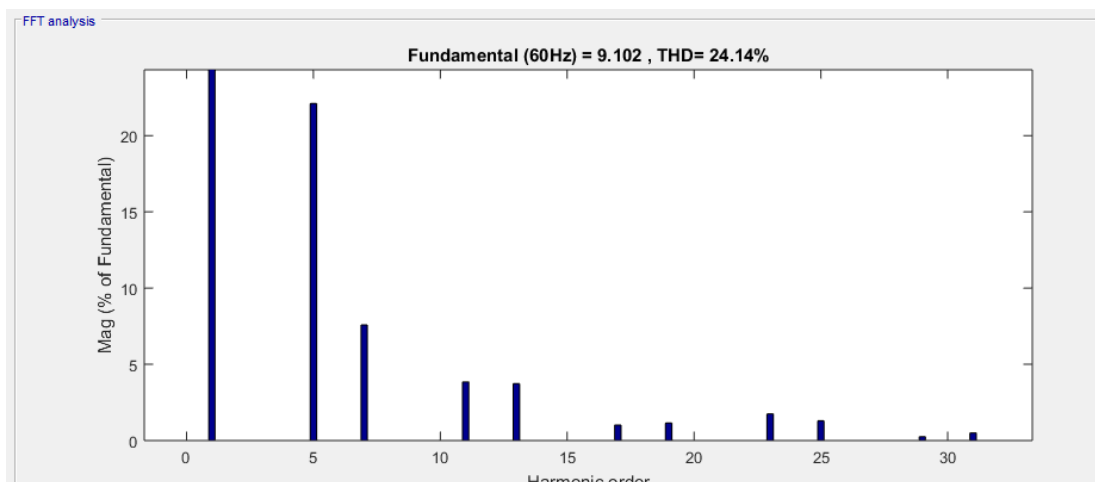


Figura 4.13: Diagrama de barras porcentual de las componentes armónicas para un ángulo de 60° con filtro de red.

Con Filtro de Red				
Ángulo alfa	60 °			
Fundamental	9,1 A			
THD	24,14 %			
Frecuencia	Número de Armónico	Voltaje	Porcentaje	
0 Hz	DC	0	0,00%	
60 Hz	Fundamental	9,1	100,00%	
180 Hz	H3	0	0,00%	
300 Hz	H5	2,01	22,09%	
420 Hz	H7	0,69	7,58%	

Tabla 9: Detalle del análisis rápido de Fourier para un ángulo de disparo de 60° con filtro de red.

Se obtiene un THD considerablemente mayor cuando el ángulo de disparo es aumenta, en la ecuación 4.1 se observa como empeora el factor de potencia debido a la presencia de la distorsión armónica siendo inversamente proporcional al cuadrado del THD.

$$fp_{THD} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (4.1)$$

El sistema convertidor instalado realiza la conversión de voltaje en dos etapas regulando el nivel DC en la etapa rectificadora y la frecuencia en la etapa

inversora. Un variador moderno se encarga de regular el voltaje y frecuencia en la etapa inversora, reduciendo al mínimo la presencia de perturbaciones armónicas en la etapa rectificadora, mejorando considerablemente la calidad de energía y reduciendo pérdidas como se tiene en la tabla 10.

Distorsión Armónica Total			
α	0°	30°	60°
Sin Filtro	30,71%	33,38%	52,43%
Con Filtro	13,06%	18,98%	24,14%

Tabla 10: Comparación entre los niveles de THD con filtro y sin filtro de red.

4.5 Montaje

La tecnología analógica utilizada anteriormente era de gran tamaño por lo cual el gabinete de potencia es muy grande. Los drivers actuales son pequeños y más eficaces al realizar su trabajo. Se aprovecha el espacio que dejan los SCR al ser retirados para en este lugar colocar el SIMATICS G120, además los elementos de filtrado (capacitores e inductores) son retirados dejando más espacio aun dentro del gabinete para futuras mejoras figura 4.14.



Figura 4.14: Lugar sobre el cual iría montado el variador de frecuencia.

Se elaboró un diseño en AutoCAD, en la figura 4.15 y 4.16 de cómo quedaría el panel con el drive colocado en el espacio donde se retiran los elementos de potencia SCR figura 4.9. Se hizo un diseño en 3D de cómo se vería el panel con el variador instalado. En la tabla 11 se nombran los elementos del gabinete de potencia.

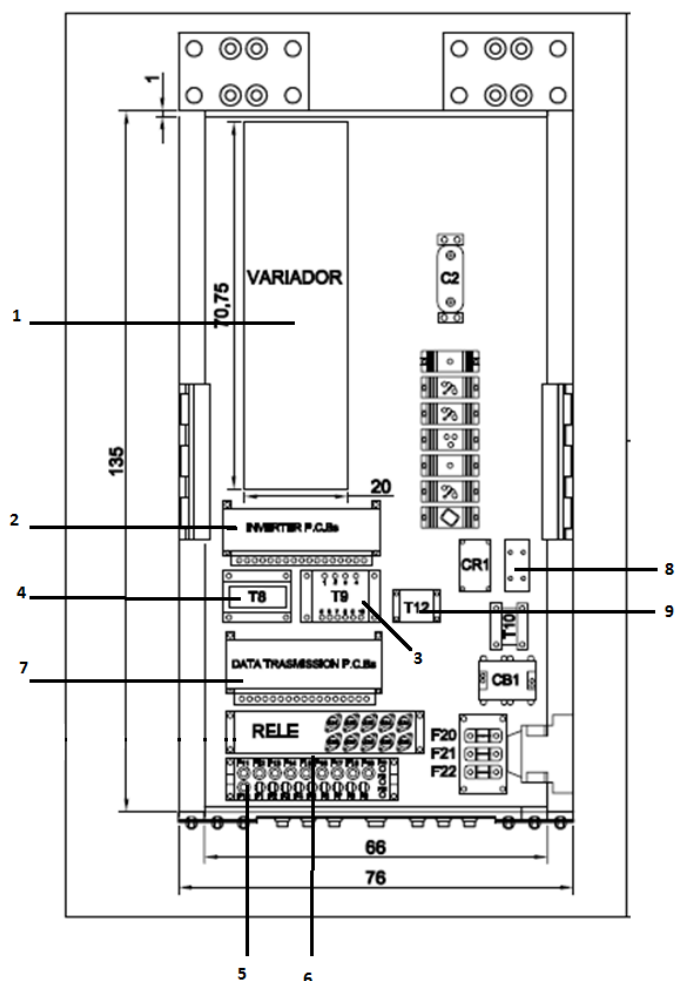


Figura 4.15: Nuevo gabinete de potencia.

- | | |
|---|---|
| 1 | Variador |
| 2 | Contiene un circuito impreso de control de la sección de inversor |
| 3 | Un transformador trifásico. |
| 4 | Un transformador monofásico que siempre se encuentra alimentado por 440V-60HZ en el gabinete de potencia. |
| 5 | Un panel de fusibles. |
| 6 | Un panel de relays. |
| 7 | Un circuito impreso de la sección de datos de transmisión. |
| 8 | Un microswitch de seguridad. |
| 9 | Un transformador monofásico, que genera 400hz de posición de la línea síncrona de referencia. |

Tabla 11: Elementos del gabinete de potencia.

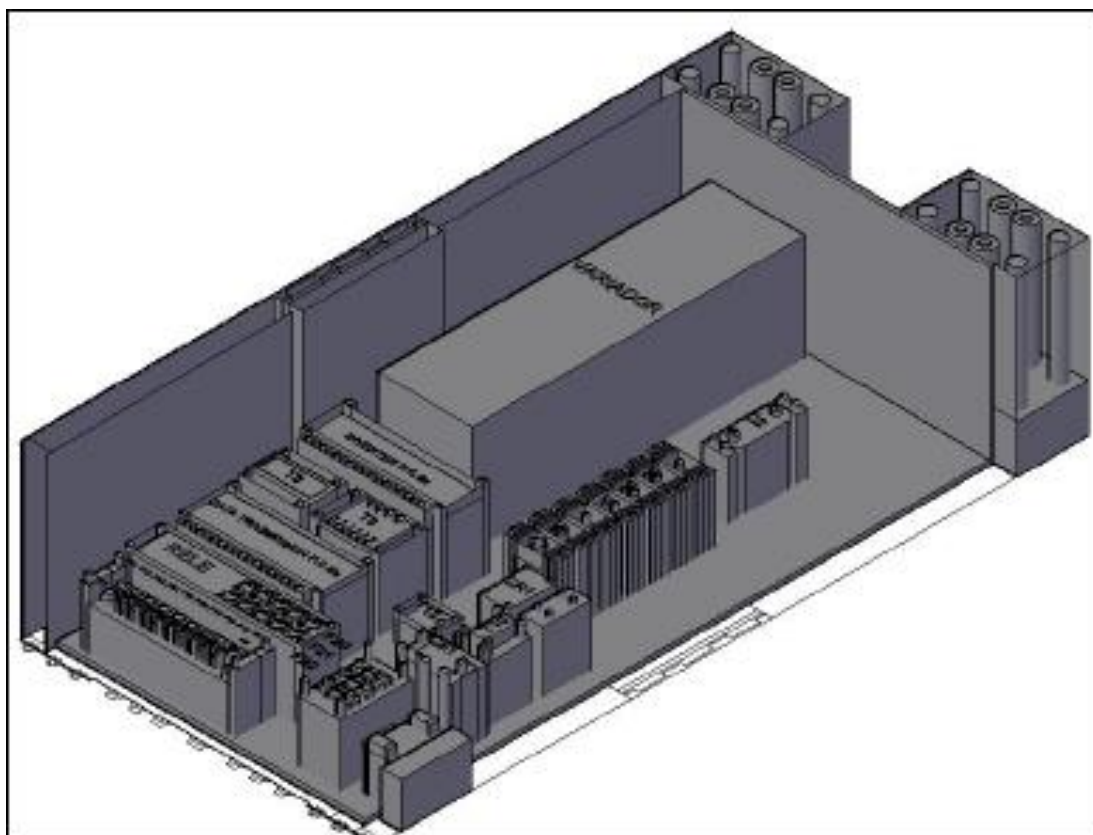



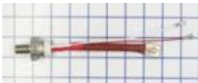
Figura 4.16: Vista en 3D de panel con el variador elaborada en AutoCAD.

4.6 Cotización del sistema antiguo de variador con SCR

El sistema antiguo está formado por 6 tiristores 36RA130 en la etapa de rectificación, con un precio comercio de \$138.56 la unidad y 7 tiristores 36RA160 en la etapa inversora, con un valor de \$75.29 cada uno, precios referenciales sin cargos de envío e importación en la tabla 12 se detalla la cotización.

Al momento de ocurrir una falla con algún SCR es necesario realizar el reemplazo de los 7 tiristores del grupo inversor o de los 6 tiristores del grupo rectificador, debido a que se reduce la vida útil de estos o se pudieron haber comprometido con la falla.

Se realizó una cotización de los 13 semiconductores:

Cantidad	Imagen del producto	Código	Valor por unidad	Valor total
6		36RA130	\$ 138.46	\$ 830.76
7		R6RA 160	\$ 75.29	\$ 527.03

Subtotal	\$ 1,357.79
Impuestos de transferencia	\$ 35.00
Impuesto internacional	\$ 400.00
TOTAL	\$ 1,792.79

Tabla 12: Total de la compra, sin recargos de envío [11].

4.7 Solución Propuesta: Variador SINAMICS G120

Se realizó la cotización del variador adecuado para la aplicación que se necesita, controlar un motor de 15kW, 400V, 25A funcionamiento continuo, directamente con personal de SIEMENS y se obtuvieron los siguientes valores [12].

Equipo	Referencia	Precio USD
Módulo de Potencia	6SL3210-1PE23-8UL0	\$3.057,00
Unidad de Control	6SL3244-0BB12-1FA0	\$452,00
Fusible IEC	3NE1818-0	\$20,00
Seccionador Fusible	3NP1123-1CA20	\$55,80
Panel de Mando	6SL3255-0AA00-4JA1	\$225,00
Juego para montaje en puerta	6SL3256-0AP00-0JA0	\$68,00
Juego de conexión PC	6SL3255-0AA00-2CA0	\$54,00
Total		\$3.931,80

Tabla 13: Total de valores de la solución propuesta del variador.

Amortización del proyecto.

En promedio todos los tiristores completamente (aproximadamente \$1800) una vez cada dos años, siendo \$900 al año en números redondos. El costo del variador más la instalación sería alrededor de \$4500, por lo que tanto luego de 5 años el variador representaría un ahorro monetario importante a la Armada del Ecuador.

Comparación sistema actual y variador SINAMICS

Variador AC-AC	SINAMICS
<ul style="list-style-type: none"> • Alta cantidad de Armónicos. • Mantenimiento costoso. • La reparación de fallas lleva mucho tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un filtro integrado. • Mantenimiento sencillo, con garantía del vendedor. • El diseño modular permite intercambiar módulos, para una puesta en marcha rápida. • Protección para sobrecargas, sobretensiones, sub-tensiones, cortocircuitos entre otras. • Permite mejoras futuras, como interfaces de comunicación y medición de energía.

Tabla 14: Comparativa entre el sistema variador antiguo y uno moderno.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar un estudio del sistema eléctrico dentro del panel de potencia del Cañón Breda (CB) presente en las Corbetas Misileras de La Armada Nacional del Ecuador se encontraron varios sistemas los cuales han superado su vida útil pero que actualmente se encuentran en funcionamiento no recomendado. Al interior del panel se observan sistemas de potencia rectificador e inversor, formados principalmente por Rectificadores Controlados de Silicio (SCR), condensadores y transformadores, la mayoría de los SCRs con varios años de funcionamiento y que han sido reutilizados en distintas ocasiones debido a su baja disponibilidad inmediata en el mercado y su elevado precio. Por esta razón se tiene la necesidad de encontrar un sistema moderno, el cual pueda cumplir los requerimientos de funcionamiento, que sea robusto, de fácil mantenimiento. Se decidió para el mejoramiento del gabinete de potencia que se van a reemplazar algunas de las tarjetas de control como son la A34, A35, A36, encargadas de los disparos de los tiristores del grupo inversor, y la tarjeta A39 de los tiristores del grupo rectificador. Por otra parte, se tiene la tarjeta A33 la cual se encarga de regular la velocidad de disparo de del grupo inversor la cual no puede ser reemplazada completamente puesto que maneja señales provenientes de otras partes del panel como la tarjeta A40, A51 y el transformador T11, en la tarjeta A33 se propuso inhabilitar solo los pines encargados de controlar las tarjetas A34, A35, A36 y dejar en funcionamiento los restantes.

Mediante simulaciones bajo diferentes condiciones de funcionamiento se comprobó una reducción del THD porcentual de un 50% máximo hasta un 25% mejorando considerablemente la calidad de energía, reduciendo pérdidas y posibles daños a equipos cercanos. Es un sistema mucho más robusto, y con su diseño modular lo vuelve más conveniente al momento de ocurrir alguna falla importante, que se necesite una puesta en marcha inmediatamente, es posible una sustitución rápida durante el servicio técnico solo con desconectar y conectar nuevamente un equipo de respaldo o auxiliar. Estas ventajas pueden suponer un costo inicial muy alto, pero si se cumplen los mantenimientos preventivos, la inversión se estima se recupere luego de 5 años en comparación al sistema utilizado actualmente. Los cálculos se realizaron

con la proyección del sistema variador antiguo, el cual es necesario por mantenimiento comprobar el estado de los tiristores del rectificador e inversor, los cuales muchas veces deben ser reemplazados los grupos en su totalidad suponiendo un gasto fuerte, sin considerar el tiempo en que permanecen los equipos detenidos sin funcionamiento.

La implementación de nuevas tecnologías, no solo dentro del panel de potencia, sino en todo el Cañón Breda, podría extender considerablemente la vida útil de la embarcación, de esta manera el proyecto buscó formar un punto de partida para futuras mejoras, brindando oportunidades para desarrollar profesionalmente a cualquier individuo que se encuentre interesado en aportar en el proyecto.

La instalación y montaje del equipo debe ser realizada por personal calificado para poder asegurar el correcto funcionamiento del sistema o capacitar el personal propio de la armada para que realice la instalación y mantenimiento del equipo.

El nuevo sistema y gracias a la reducción de espacio permite la instalación de nuevos sistemas a futuro logrando una mejora con productos integrables.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astinave, (2017, Junio 10). Recuperación de Corbetas Misileras, [En línea]. Disponible en: <http://www.astinave.com.ec/v2/project/jupiter/>.
- [2] E. Universo, (2017, Junio 10). Fuerza Naval se moderniza y avanza, [En línea]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2014/07/24/nota/3272631/fuerza-naval-se-moderniza-avanza>.
- [3] B. M. BRESCIANA, "speed regulator," en *40/70 COMPACT TWIN MOUNT*, 1982, p. 25.
- [4] D. Hart, "Tiristores," en *Introducción a la Electrónica de Potencia*, Madrid, Pearson Educación, 2001, p. 4.
- [5] B. M. BRESCIANA, "Speed regulator," en *40/70 COMPACT TWIN MOUNT*, 1982, p. 24.
- [6] B. M. BRESCIANA, "Power regulator," en *40/70 COMPACT TWIN MOUNT (TECHICAL MANUAL ELECTRICAL SYSTEM)*, 1982, pp. 5-10.
- [7] A. Trzynadlowski, "Induction Motors," en *Control of Induction Motors*, San Diego, Academic Press, 2001, p. 23.
- [8] S. AG, "Selección en cuatro pasos," *Brochure selección Sinamics G120*, pp. 2-5, 2015.
- [9] S. AG, (2017, Julio 7). DTConfigurator, [En línea]. Disponible en: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/StartConfigurator?configId=10&nodeId=10028832&kmat=DT_M&bookmark=.
- [10] Siemens, "Variadores de velocidad modulares SINAMICS G120," de *Lista de precios productos industriales eléctricos*, 2017, p. 1/14.

- [11] Galco, (2017, Agosto 6). SCR 36RA160, [En línea]. Disponible en: <https://www.galco.com/scripts/cgiip.exe/wa/wcat/catalog.htm?searchbox=36RA160>.
- [12] Siemens, "Modulo de Potencia," de *Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos*, 2017, p. 26.

Referencia de costos de los componentes del variador obtenido en la Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos

Módulo de Potencia

	Tipo PM240-2	Tamaño	Reemplaza a: PM240		Pot. del motor ¹⁾		
			Par cons. (HP)	Par var. (HP)			
100337875	6SL3210-1PE13-2UL1	FSA	100022667	6SL3224-OBE17-5UAD	1,0	1,5	457,00
100325180	6SL3210-1PE14-3UL1	FSA	100022668	6SL3224-OBE21-1UA0	1,5	2	525,00
100325181	6SL3210-1PE16-1UL1	FSA	100022642	6SL3224-OBE21-5UA0	2,0	3	609,00
100325182	6SL3210-1PE18-0UL1	FSA	100022640	6SL3224-OBE22-2UA0	3,0	4	766,00
100325183	6SL3210-1PE21-1UL0	FSB	100022634	6SL3224-OBE23-0UA0	4,0	5	931,00
100325184	6SL3210-1PE21-4UL0	FSB	100022635	6SL3224-OBE24-0UA0	5,0	7,5	1.058,00
100325185	6SL3210-1PE21-8UL0	FSB	100022641	6SL3224-OBE25-5UA0	7,5	10	1.391,00
100325186	6SL3210-1PE22-7UL0	FSC	100022643	6SL3224-OBE27-5UA0	10	15	1.811,00
100337876	6SL3210-1PE23-8UL0	FSD	100022645	6SL3224-OBE31-5UA0	20	25	3.057,00
100337878	6SL3210-1PE26-0UL0	FSD	100022600	6SL3224-OBE32-2UA0	30	40	4.409,00
100337879	6SL3210-1PE27-5UL0	FSD	100022636	6SL3224-OBE33-0UA0	40	50	5.395,00
100337880	6SL3210-1PE28-8UL0	FSE	100022601	6SL3224-OBE33-7UA0	50	60	6.513,00
100337881	6SL3210-1PE31-1UL0	FSE	100022637	6SL3224-OBE34-5UA0	60	75	7.565,00
Nuevo 100361302	6SL3210-1PE31-5UL0	FSF	100022647	6SL3224-OBE35-5UA0	75	100	8.994,00
Nuevo 100361303	6SL3210-1PE31-8UL0	FSF	100022602	6SL3224-OBE37-5UA0	100	125	10.566,00
Nuevo 100361304	6SL3210-1PE32-1UL0	FSF	100022725	6SL3224-OBE38-8UA0	125	150	12.099,00
Nuevo 100361305	6SL3210-1PE32-5UL0	FSF	100022726	6SL3224-OBE41-1UA0	150	200	14.292,00

Unidad de control CU240E-2

UNIDAD DE CONTROL CU240 E-2, con funciones de seguridad integradas para aplicaciones de mayor performance y mayor requerimiento de entradas / salidas								
100173943	6SL3244-0BB12-1BA1	MODBUS RTU/RS	6	3	2/2	-	CU240E-2	372,00
100221184	6SL3244-0BB12-1FA0	PROFINET	6	3	2/2	-	CU240E-2 PN	452,00

Fusibles ultra rápidos SITOR

Fusibles NH recomendados para protección de Variadores de Velocidad y Arrancadores Suaves protección F1, bajo valor de Valor I2t de corte									
100021889	3NE1813-0	16	NH000	gS	200	3	690/250	3	20,00
100021890	3NE1814-0	20	NH000	gS	430	3,5	690/250	3	20,00
100021891	3NE1815-0	25	NH000	gS	780	4	690/250	3	20,00
100021888	3NE1803-0	35	NH000	gS	1700	5	690/250	3	20,00
100021893	3NE1818-0	63	NH000	gS	9000	7	690/250	3	20,00
100021875	3NE1021-0	100	NH00	gS	33000	10	690/250	3	35,00
100021876	3NE1022-0	125	NH00	gS	63000	11	690/250	3	35,00
100021877	3NE1224-0	160	NH1	gS	60000	24	690/250	3	40,00
100021878	3NE1225-0	200	NH1	gS	100000	27	690/250	3	65,00
100021879	3NE1227-0	250	NH1	gS	200000	30	690/250	3	85,00
100021880	3NE1230-0	315	NH1	gS	310000	38	690/250	3	85,00
100021882	3NE1332-0 ¹⁾	400	NH2	gS	590000	45	690/250	3	90,00
100021883	3NE1333-0 ¹⁾	450	NH2	gS	750000	53	690/250	3	90,00
100021884	3NE1334-0 ¹⁾	500	NH3	gR	950000	56	690/250	3	95,00
100021885	3NE1435-0 ¹⁾	560	NH3	gR	1700000	60	690/250	3	95,00

Seccionador fusible

	Tipo	Tipo Corriente térmica (A)	Tamaño	Numero De Polos	Un VAC	Unidad De Empaque	
	Seccionadores Bajo carga para Fusibles NH con borne tipo marco						
100040488	3NP1123-1CA20	100	NH000	3 POLOS		1	55,80
100040490	3NP1143-1DA10	250	NH1	3 POLOS		1	202,00
100040487	3NP1153-1DA10	400	NH2	3 POLOS		1	262,00
100040486	3NP1163-1DA10	630	NH3	3 POLOS		1	367,00

Panel de mando IOP

	Panel operador IOP, para SINAMICS G120C/G120		
100263612	6SL3255-0AA00-4JA1	Panel avanzado para parametrización, diagnóstico, control y copia de parámetros del accionamiento. Orientación por menús y asistentes de aplicaciones para puesta en marcha. Pantalla gráfica para ver valores de estado permitiendo una programación sencilla y una navegación intuitiva en español.	225,00

Juego para montaje en puerta

	Kit para montar en puerta el panel BOP-2/IOP		
100023451	6SL3256-0AP00-0JA0	Montaje en puerta de un tablero (alcanza grado de protección IP54)	68,00

Juego de conexión PC-convertidor 2

	Kit de programación por medio de PC para SINAMICS G120C/G120		
100092543	6SL3255-0AA00-2CA0	Cable USB (3m) Para controlar y poner en marcha al variador desde un PC.	54,00

Datasheet perteneciente al SINAMICS Power Module PM240-2

SIEMENS

Data sheet for SINAMICS Power Module PM240-2

MLFB-Ordering data **6SL3210-1PE23-8UL0**



Figure similar

Client order no. :
Order no. :
Offer no. :
Remarks :

Item no. :
Consignment no. :
Project :

Rated data		General tech. specifications	
Input		Power factor λ	0.95
Number of phases	3 AC	Offset factor $\cos \varphi$	0.99
Line voltage	380 ... 480 V ± 10 %	Efficiency η	0.98
Line frequency	47 ... 63 Hz	Sound pressure level (1m)	72 dB
Rated current (LO)	36.00 A	Power loss	0.55 kW
Rated current (HO)	33.00 A	Ambient conditions	
Output		Cooling	Internal air cooling
Number of phases	3 AC	Cooling air requirement	0.055 m ³ /s
Rated voltage	400 V	Installation altitude	1000 m
Rated power (LO)	18.50 kW / 25.00 hp	Ambient temperature	
Rated power (HO)	15.00 kW / 20.00 hp	Operation LO	-20 ... 40 °C (-4 ... 104 °F)
Rated current (LO)	38.00 A	Operation HO	-20 ... 50 °C (-4 ... 122 °F)
Rated current (HO)	32.00 A	Transport	-40 ... 70 °C (-40 ... 158 °F)
Max. output current	64.00 A	Storage	-40 ... 70 °C (-40 ... 158 °F)
Pulse frequency	4 kHz	Relative humidity	
Output frequency for vector control	0 ... 200 Hz	Max. operation	95 % RH, condensation not permitted
Output frequency for V/f control	0 ... 550 Hz		

Overload capability

Low Overload (LO)

1.1 x rated output current (i.e. 110 % overload) for 57 s with a cycle time of 300 s 1.5 x rated output current (i.e. 150 % overload) for 3 s with a cycle time of 300 s

High Overload (HO)

1.5 x output current rating (i.e., 150 % overload) for 57 s with a cycle time of 300 s 2 x output current rating (i.e., 200 % overload) for 3 s with a cycle time of 300 s

SIEMENS

Data sheet for SINAMICS Power Module PM240-2

MLFB-Ordering data

6SL3210-1PE23-8UL0



Figure similar

Mechanical data		Connections	
Degree of protection	IP20	Line side	
Size	FSD	Version	screw-type terminal
Net weight	16.00 kg	Conductor cross-section	10.00 ... 35.00 mm ²
Width	200.0 mm	Motor end	
Height	472.0 mm	Version	Screw-type terminals
Depth	237.0 mm	Conductor cross-section	10.00 ... 35.00 mm ²
Converter losses to EN 50598-2*		DC link (for braking resistor)	
Efficiency class	IE2	Version	Screw-type terminals
Comparison with the reference converter (90% / 100%)	-54.26 %	Conductor cross-section	2.50 ... 16.00 mm ²
		PE connection	Screw-type terminals
		Max. motor cable length	
		Shielded	200 m
Unshielded	300 m		
Standards			
Compliance with standards	UL, cUL, CE, C-Tick (RCM), SEMI F47		
CE marking	Low-voltage directive 2006/95/EC		

The percentage values show the losses in relation to the rated apparent power of the converter.

The diagram shows the losses for the points (as per standard EN 50598) of the relative torque generating current (I) over the relative motor stator frequency (f). The values are valid for the basic version of the converter without options/components.

* converted values

Diseño en AutoCAD del gabinete de potencia con el variador instalado

