

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE UN
TABLERO PARA SINCRONIZACIÓN DE TRES GENERADORES
DE 350 KW, 460 V EN UN BARCO ATUNERO.”

EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)

Previa a la obtención del grado de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN

POTENCIA

MARCOS HOMERO AVILÉS AJILA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todo.

A los profesores quienes durante los años de estudio, supieron capacitarme para desarrollarme en mis trabajos de forma profesional.

A mi jefe que me brindó todo su apoyo para que desarrolle el proyecto y lo defienda.

A mis compañeros de empresa que formaron parte del equipo de trabajo durante el proyecto

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, a mi esposa, a mis hijos, porque ellos sacrificaron el tiempo que debíamos compartirlo juntos para que pueda alcanzar el objetivo trazado.

Dedicado también a aquellos que alguna vez cayeron, pero vieron en su caída un descanso y luego continuaron luchando.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Fernando Vaca U.

EVALUADOR



Ing. Jonathan Moncada L

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este informe corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Marcos Homero Avilés Ajila

RESUMEN

La embarcación atunera del proyecto recibe la energía de 3 generadores de 350 KW 460 V servicio continuo, con motores Caterpillar y alternadores Kato para el funcionamiento de todo el sistema eléctrico y están ubicados en el cuarto de máquinas.

Estos generadores eran ingresados a la barra común del Tablero Principal mediante un sistema de sincronización completamente manual, lo que había provocado serios daños en varias ocasiones a los alternadores.

Se analizó el problema, procediendo a levantar la información y a dialogar con el personal del área de máquina encargado del funcionamiento de los generadores y del sincronismo.

Se implementó un sistema que minimice los errores provenientes de malas decisiones al ingreso de los generadores.

El nuevo sistema incluye como su parte más importante 3 módulos DEEP SEA modelo 8610 que permiten realizar la sincronización siempre y cuando los parámetros eléctricos vinculantes de cada generador sean iguales.

El sistema funciona eficientemente, necesitando una sola persona al inicio del proceso (encender generadores), luego la sincronización entre ellos y la repartición de carga es automática.

El trabajo fue realizado en 60 días tanto en ELECTRO INDUSTRIAL MICABAL S.A., como en la embarcación atunera durante el periodo de veda de la misma.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA.....	1
1.1 Presentacion del problema.	1
1.2 Marco Teórico.....	2
1.2.1 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico	5
1.2.2 Partes constitutivas del alternador electrico	5
1.2.3 Sincronizacion de generadores	11
1.2.4 Formas, tipos y metodos de sincronizacion de generadores	15
1.3 Construccion del tablero de sincronizacion.	21
1.3.1 Planos fisicos	29
CAPÍTULO 2.....	36
RESULTADOS OBTENIDOS.....	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	.Pag
Figura 1.1 ED y generador	3
Figura 1.2 Dos alimentadores de ED y un generador	4
Figura 1.3 Placa de diodos del circuito rectificador	8
Figura 1.4 Descripción general del sistema de excitación	9
Figura 1.5 Imagen de las partes de un alternador	10
Figura 1.6 Imagen de rotor y estator del campo principal	10
Figura 1.7 Tarjeta AVR VR6 CAT	13
Figura 1.8 Conexión de AVR	14
Figura 1.9 Gobernador UG-8	15
Figura 1.10 Generador y alimentación de ED sincronizados	16
Figura 1.11 Dos generadores y ED sincronizados	17
Figura 1.12 Tres generadores sincronizados	17
Figura 1.13 Tablero de sincronización manual	18
Figura 1.14 Método de las lámparas apagadas	20
Figura 1.15 Método de las lámparas rotantes o encendidas	21
Figura 1.16 Elementos existentes en antiguo sistema e sincronización	25
Figura 1.17 Control de nuevo sistema de sincronización	26
Figura 1.18 Vista exterior del sistema de sincronización	27
Figura 1.19 Vista de un cuadro del control de sincronización	28
Figura 1.20 Cuadro de control modulo DEEP SEA	28

ÍNDICE DE TABLAS

	.Pag
Tabla 1.1 Cargas instaladas	22
Tabla 1.2 Listado de equipos y materiales utilizados	24

INTRODUCCIÓN

Se debía analizar el serio problema que sucedía en el sistema de generación de un barco atunero, pues en el histórico del año 2014 reportaron fallas en los alternadores de dos de los tres generadores. Ambos alternadores debieron ser rebobinados en su parte rotórica y estatórica.

Era primordial analizar las causas de estas fallas por lo que realizando una secuencia de pruebas, se comprobó que el problema estaba en el tablero de sincronización que permitía el ingreso de los tres generadores a la barra común.

Esto, debido a las múltiples fallas de procedimiento del personal en la operación del tablero, ya que el ingreso de cada generador se realizaba de forma manual ajustando frecuencia y voltaje y a criterio del operador observando el sincronoscopio

accionaba el breaker de ese generador entrando en la barra no necesariamente con los valores óptimos, adicional que las protecciones no respondían ya que funcionaban tardíamente cuando se producían motorizaciones.

Este sistema había sido implementado hace 30 años por el armador del barco. Para solucionar esto se debe diseñar un sistema de sincronización altamente confiable y que involucre lo mínimo posible la intervención humana.

CAPÍTULO 1

1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA

La utilización de componentes electrónicos digitales para la construcción y puesta en funcionamiento del nuevo sistema de sincronización de los tres generadores del barco atunero, tienen como finalidad disminuir el trabajo engorroso y peligroso que el personal de maquina tenía como rutina diaria al colocar en paralelo los generadores mencionados y también aumentar la confiabilidad de trabajar con fuentes generadoras acopladas de manera segura.

1.1 Presentación del problema.

El barco cuenta con un tablero de sincronización completamente manual y el ingreso de los generadores a la barra común lo realizaban, primero ingresando un generador en barra muerta (es decir sin energía), luego el siguiente

generador ajustando voltaje y frecuencia con la referencia del ya ingresado y en base a la señal del sincronoscopio (aguja en posición perpendicular hacia arriba) procedían a ingresar el generador listo, maniobra que en varias ocasiones había provocado serios daños en los mismos, por el ingreso incorrecto o a destiempo.

1.2 Marco Teórico

Ante la alta demanda de energía eléctrica, los usuarios o demandantes de la misma, buscan siempre garantizar la continuidad del servicio a sus instalaciones, el no hacerlo, cuando se producen fallas en las líneas de Transmisión y/o Distribución en el área de concesión de las Empresas Distribuidoras (E. D.) representaría ingentes pérdidas económicas debido a la suspensión de los procesos establecidos, que dependen completamente del servicio eléctrico.

Es por esto que en su gran mayoría no dependen completamente de la energía que les puede suministrar la E. D. del área de concesión en la cual se encuentren asentados, sino más bien buscan tener equipos de respaldo.

A manera de ejemplo tenemos el primer caso de una industria que regularmente recibe la energía de la E. D., pero ante la falta de ésta, tiene su equipo de respaldo, es decir un generador. Este proceso se denomina transferencia de energía y se la puede realizar de manera manual, es decir el operador ante la falta de energía, arranca el generador, desactiva el seccionador, breaker o conmutador del lado de la E. D. y activa el del lado del

generador, al volver la energía el proceso es inverso hasta apagar el generador.

O también puede ser de manera automática donde un mecanismo electromecánico temporizado o bien a través de módulos preprogramados que se adquieren en el mercado donde se deben ingresar los parámetros principales o los programados completamente como es el caso de un plc normal.

Ante la falta de energía el mecanismo envía una señal de arranque al generador, luego cuando éste alcanza su velocidad nominal, se desactiva el lado de la E. D. y activa el lado del generador. Al retornar la energía el proceso es inverso y por lo general culmina con un tiempo programado de enfriamiento del generador, es decir sigue funcionando en vacío por unos minutos y luego se apaga.

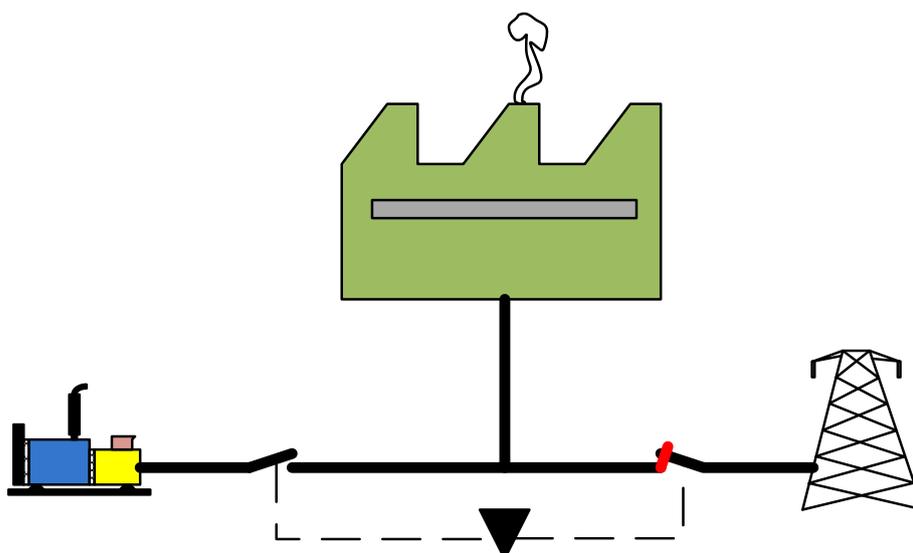


Figura. 1.1 – E.D. y Generador. Fuente: [1]

En la Figura 1.1 las Instalaciones reciben energía eléctrica de la E. D., teniendo de respaldo el generador

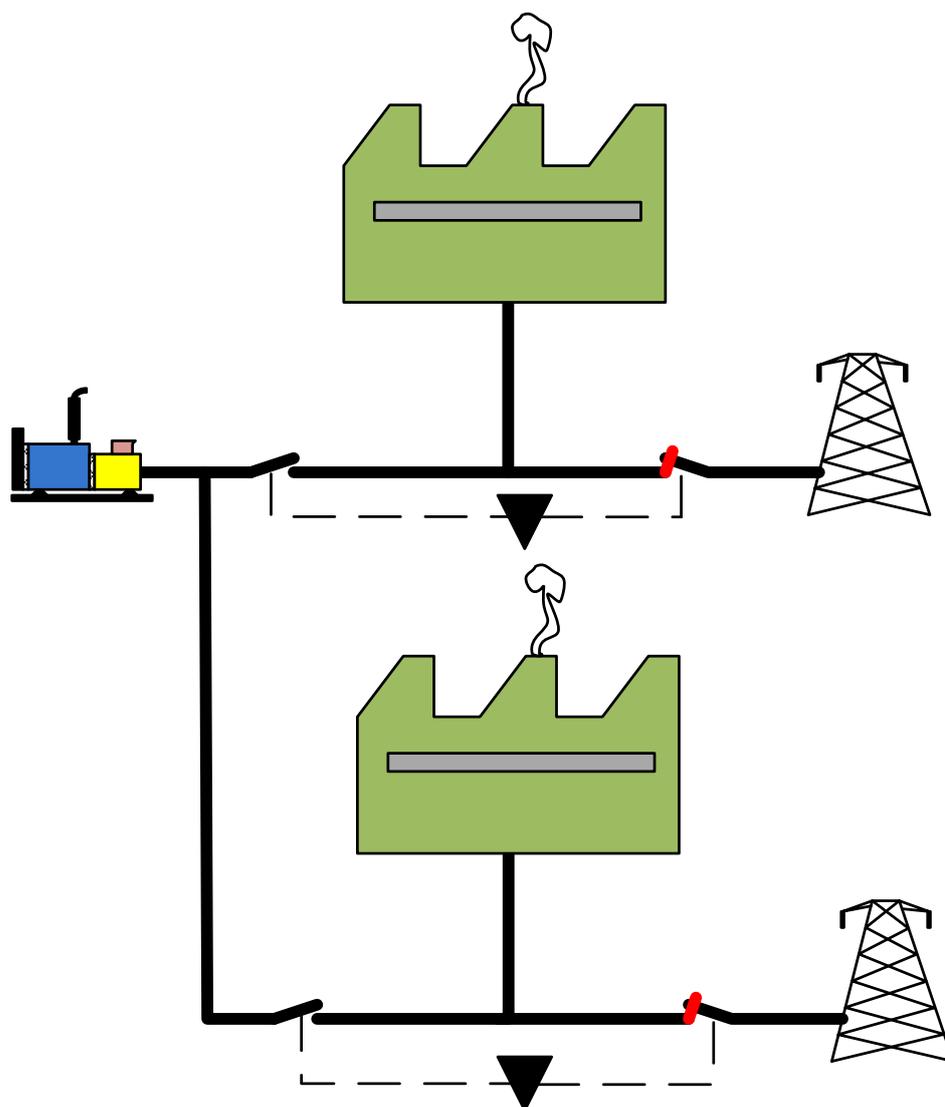


Figura. 1.2 – Dos alimentaciones de E.D. y un Generador. Fuente: [1]

En la Figura 1.2 se observa como dos Instalaciones reciben energía de la E. D. de dos alimentadoras independientes, teniendo de respaldo el generador

que puede suplir a una de las dos instalaciones o a las dos a la vez, ante la falta total de energía.

Cabe indicar que las fuentes deben estar enclavadas entre sí obligatoriamente de forma mecánica y para las automáticas además deben ser enclavadas de manera eléctrica.

1.2.1 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico.

Un generador eléctrico, llamado también grupo electrógeno o planta de luz es un equipo que convierte energía mecánica en energía eléctrica, para esto consta de dos partes:

La parte mecánica que es la que provee la energía motriz al generador, en este caso puede ser un motor de combustión, una turbina de vapor o gas, podría ser las aspas de una hélice que aprovecha la fuerza del viento o la corriente de las aguas de un río, entre otras.

Y la parte eléctrica conformada por un conjunto de piezas que reciben el nombre de alternador cuando produce corriente alterna o dinamo cuando produce corriente continúa.

1.2.2 Partes constitutivas del alternador eléctrico.

Para este caso solo se estudiará el alternador cuyas partes principales son:

Estator o inductor, consta de un bastidor de apoyo encargado de mantener firmemente unidas las láminas de acero eléctrico que conforman el núcleo, en

las ranuras del núcleo se ubican los bobinados de la armadura, contruidos de alambre de cobre en capas y con aislamiento.

Rotor, consiste en devanados colocados en un núcleo que a su vez se ubican en un eje de acero enrollado o forjado de alta resistencia.

El devanado del rotor consiste en alambre de cobre imantado aislado enrollado alrededor de cada polo que tiene forma de V para sujetar los devanados. A cada polo lo cruzan varillas de cobre o aluminio con anillos del mismo material en sus extremos para enlazar todos los polos y que conforman el devanado continuo del amortiguador, estas varillas y los anillos se sueldan entre sí [2].

El eje del rotor es torneado para adaptar todos los componentes del generador giratorio, teniendo una parte de su centro hueco desde el extremo anterior (extremo de menor diámetro) hasta la posición de conexiones entre los polos, ya que por el se ubican los cables que se conectan al circuito rectificador.

En el extremo de mayor diámetro se coloca el ventilador que es una pieza cilíndrica con aspas rígidas que giran a la velocidad del rotor y su función es sacar el aire caliente producido en el alternador. Este ventilador ingresa en el eje hasta unos veinte centímetros aproximadamente, para dejar el extremo en si para la instalación del acople entre rotor y el volante del motor de combustión. Este acople puede ser directo a través de discos flexibles (9 en muchos casos) cuyo diámetro se indica por el SAE del motor de combustión, es decir el diámetro de la campana del volante. En otras ocasiones se acopla

con cinta dentada que consiste en dos piezas llamadas macho y hembra que no son más que un piñón que se acopla al rotor y en el volante se coloca una cinta dentada en la cual ingresa el piñón, a cada diente del piñón se le coloca un amortiguador de caucho para evitar daños en los dientes del mismo o de la cinta.

Y en algunos tipos pero menos común se utiliza el matrimonio que no es más que el acople entre el eje del embrague que se acopla al volante del motor y el eje del rotor. Esto se utiliza mayormente cuando se tiene alternadores de doble rodamiento, en este estudio los alternadores son de un solo rodamiento.

Excitatriz estática, o también inductor excitador consta de un núcleo conformado por un paquete de láminas de acero apiladas entre si y soldadas, en cuyas ranuras se coloca el devanado principal formando polos alternos norte y sur. Esta unidad se monta por lo general en la tapa delantera del bastidor del estator y recibe alimentación eléctrica de la Tarjeta Reguladora de Voltaje (AVR) que es un elemento que se explica más adelante.

Excitatriz rotórica, se podría decir que es un rotor miniatura comparado con el rotor del campo principal, consta de dos partes: el núcleo de láminas de acero apiladas y soldadas entre sí en cuyas ranuras se coloca el devanado trifásico sujetado con cuñas aisladas muy firmemente. De este devanado salen los terminales de cada bobina y se conectan en la segunda parte que es el circuito rectificador.

Este circuito rectificador trifásico convierte la corriente alterna de la armadura en corriente continua. Consta de dos placas de acero al aluminio en las cuales se coloca tres diodos rectificadores giratorios por cada placa para formar el puente rectificador de onda completa formándose en cada placa un terminal, en una se forma el positivo y en la otra el negativo.

Los dos cables que salen del circuito rectificador se conectan al campo principal giratorio. Este conjunto se coloca en el eje del rotor.

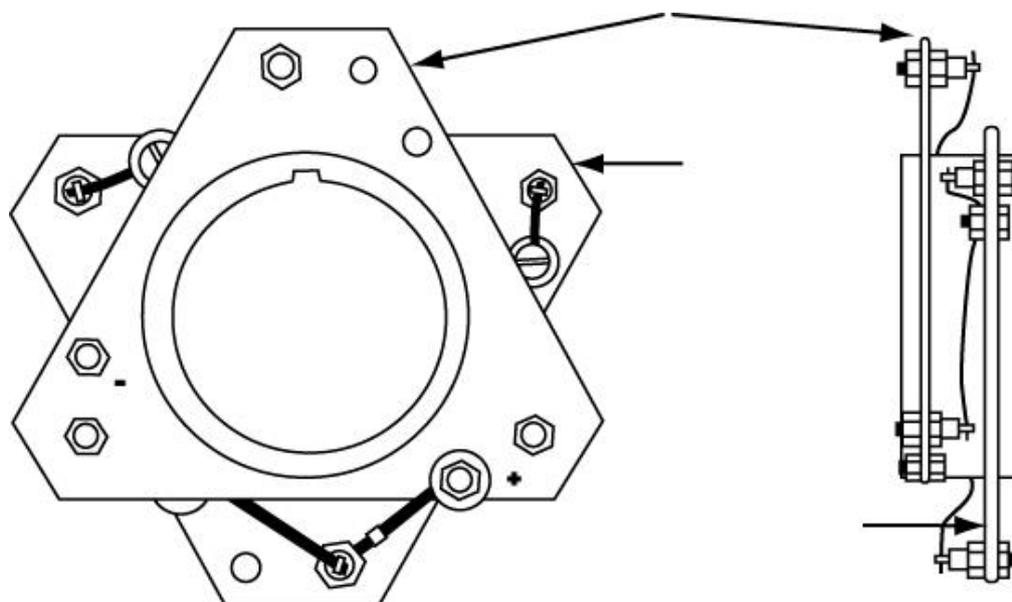


Figura. 1.3 Placa de diodos del Circuito rectificador. Fuente: [2]

Generador de imanes permanentes PMG (opcional), consiste en un inductor de PMG y el rotor de PMG. El inductor de PMG es una armadura estacionaria que se ubica dentro de la unidad del inductor que también contiene el inductor del excitador o es un inductor separado que se monta a un lado del inductor del excitador.

Consta de un conjunto de laminaciones de acero que se sujetan en su lugar con anillos de compresión de acero y se sueldan a las barras del bastidor del excitador bastidor-PMG lo que le da la apariencia de una jaula. Los devanados se colocan en las ranuras de las laminaciones de acero y cuñas de asilamiento en la parte superior de las ranuras para mantener las bobinas en su lugar.

El rotor PMG consiste en imanes rectangulares permanentes y puntas de polo soldadas aseguradas a un cubo de acero con pernos de acero inoxidable no magnéticos.

El rotor PMG se asegura al eje con un perno largo y una arandela de seguridad para evitar que se afloje [2].

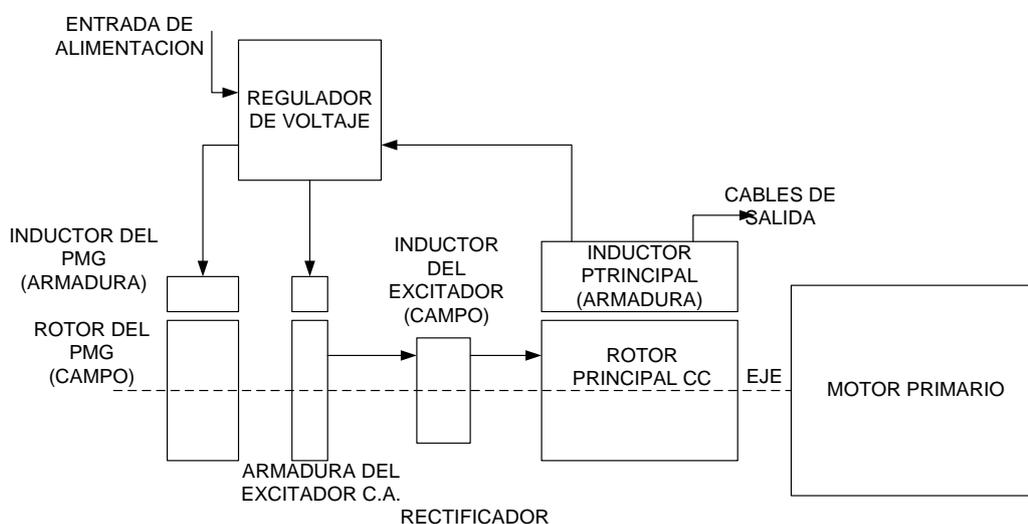


Figura. 1.4 Descripción general del sistema de excitación (con un PMG opcional).

Fuente: [2]

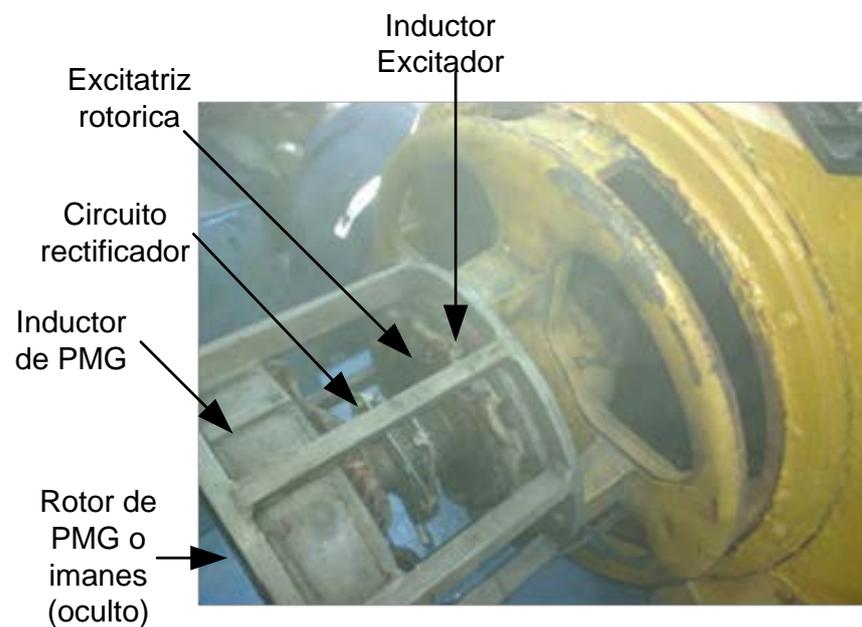


Figura. 1.5 Imagen de las partes de un alternador. Fuente: [4]

En la fig.1.5 se aprecia claramente el inductor de PMG, la excitatriz estática, la excitatriz rotórica, eje del rotor y tapa donde se aloja el rodamiento.

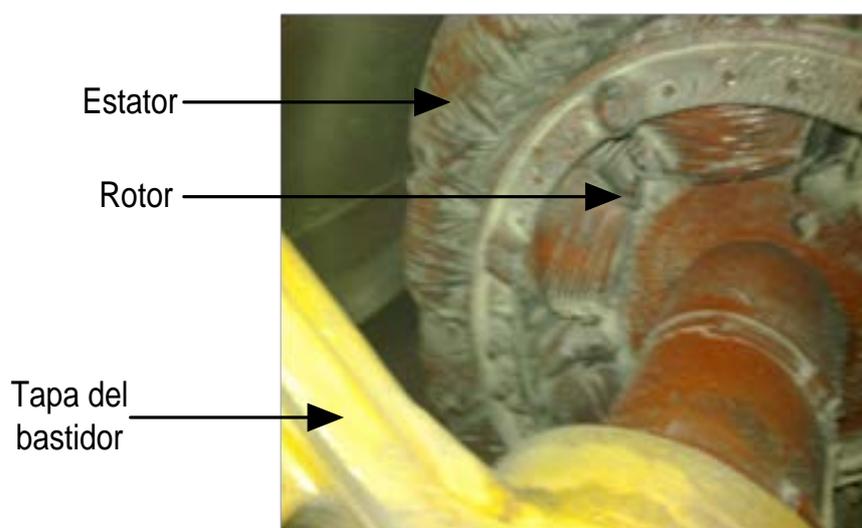


Figura. 1.6 Imagen de rotor y estator del campo principal. Fuente: [4]

1.2.3 Sincronización de generadores.

En el proceso de transferencia de energía, como se evidenció, solo una fuente puede suplir a la carga, ya sea la E.D. o el generador, pero ¿qué sucede cuando la E.D. no puede suplir la totalidad de la carga?, existe una forma, que es poder suministrar toda la energía demandada por la carga a través de una combinación entre fuentes ya sea la E.D. con generadores o entre generadores. A este proceso se lo conoce con el nombre de sincronización.

La sincronización de fuentes de energía para suplir a una carga eléctrica determinada siempre ha sido un tema que involucra tomar muchas precauciones en lo que respecta a las protecciones.

Para que el acople de estas fuentes (generadores) sea realizado de tal manera que al unirse sean convertidas en un solo suministrador de energía se deben tener fuentes que cumplan las siguientes condiciones:

- Igual frecuencia
- Igual voltaje rms
- Igual secuencia de fase
- Igual ángulo de fase
- Y de ser posible igual potencia, condición no obligatoria.

Estas fuentes se acoplan o se sincronizan en conexión paralelo, ya que el hacerlo en conexión serie no representa interés técnico pues al estar en servicio el resto de fuentes no se podría adicionar otra fuente.

Así los generadores que participan en la aplicación de un sistema de sincronización, deben cumplir obligatoriamente que su velocidad debe ser completamente estable, mejor conocidos como generadores síncronos.

Los generadores síncronos se clasifican en:

Por su construcción:

- Campo giratorio
- Armadura giratoria

Por su tipo de excitación:

- Auto excitación
- Excitación separada

Por su tipo de rotor:

- Polos salientes para velocidades iguales o menores a 1800 rpm
- Polos lisos para velocidades iguales a 3600 rpm

Existen dos elementos adicionales que forman parte de un generador eléctrico y que son de mucha importancia para su correcto funcionamiento, estos elementos son el Regulador Automático de Voltaje AVR y el Governor [6].

Regulador automático de voltaje (AVR): es un componente electrónico cuya función es alimentar de energía el circuito de excitación para mantener constante la salida de voltaje del generador dentro de ciertos rangos de frecuencia y carga.

Cuando un generador arranca, el AVR aprovecha las pequeñas tensiones generadas por el magnetismo remanente con frecuencia inferior a la nominal y además variable debido a la aceleración del motor para excitar el sistema.

Cabe mencionar que la AVR tal como se muestra en la Figura 1.7, debe tener ciertas protecciones que permitan cumplir el suministro de energía dentro de los límites permitidos, estas protecciones se activan generalmente por: sobre-excitación, baja frecuencia, límite de corriente, compensación V/F entre las principales.



Figura 1.7 Tarjeta AVR VR6 CAT. Fuente: [5]

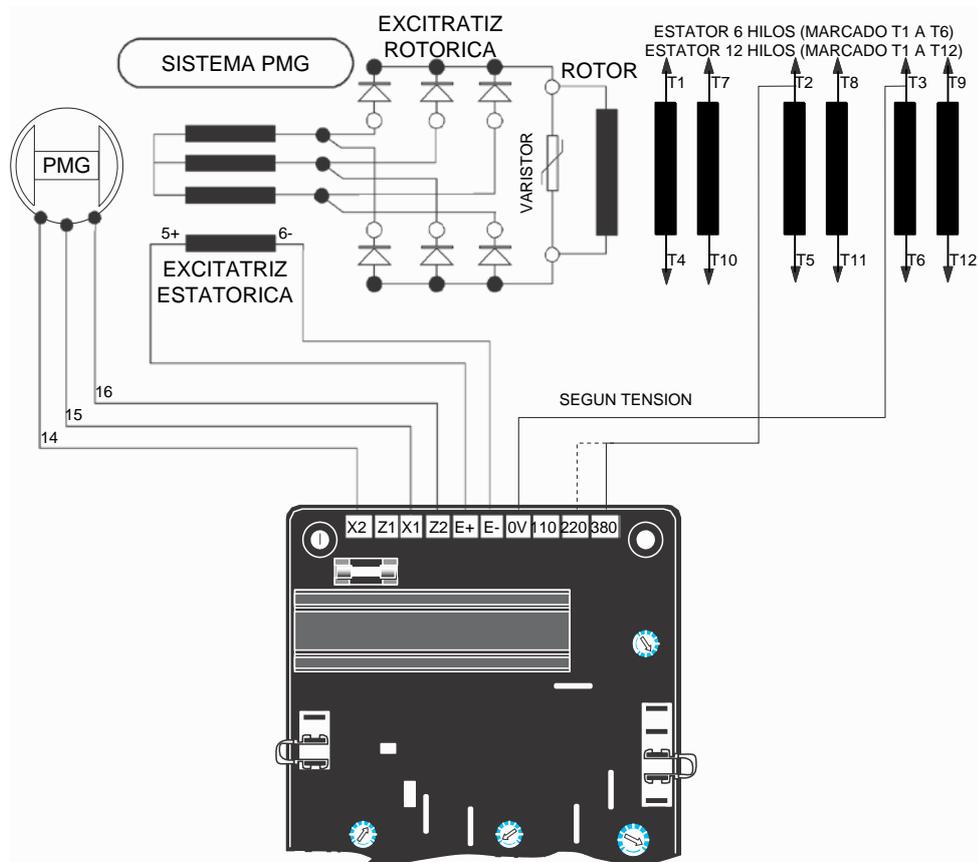


Figura 1.8 Conexión de AVR. Fuente: [3]

Governor, Es un equipo que no forma parte del alternador, sino más bien del motor de combustión ya que trabaja acoplado a éste y tiene la función de regular la velocidad y mantenerla constante al valor programado. Existen varios tipos de gobernadores entre los que se destacan están los mecánicos, electrónicos, mecánico –hidráulico [6].



Figura 1.9 Gobernador UG-8. Fuente: [6]

1.2.4 Forma, tipos y métodos de sincronización de generadores.

Para realizar una sincronización de fuentes se debe tener mucho cuidado de considerar siempre las condiciones obligatorias que deben cumplir las fuentes a sincronizarse, en nuestro caso los generadores, estas son:

- Igual secuencia de fase
- Igual voltaje rms
- Igual frecuencia

- Igual ángulo de fase
- De ser posible igual potencia

Bien si se ha considerado estas condiciones y se las tiene cumplidas, entonces la sincronización se la puede realizar de las siguientes formas:

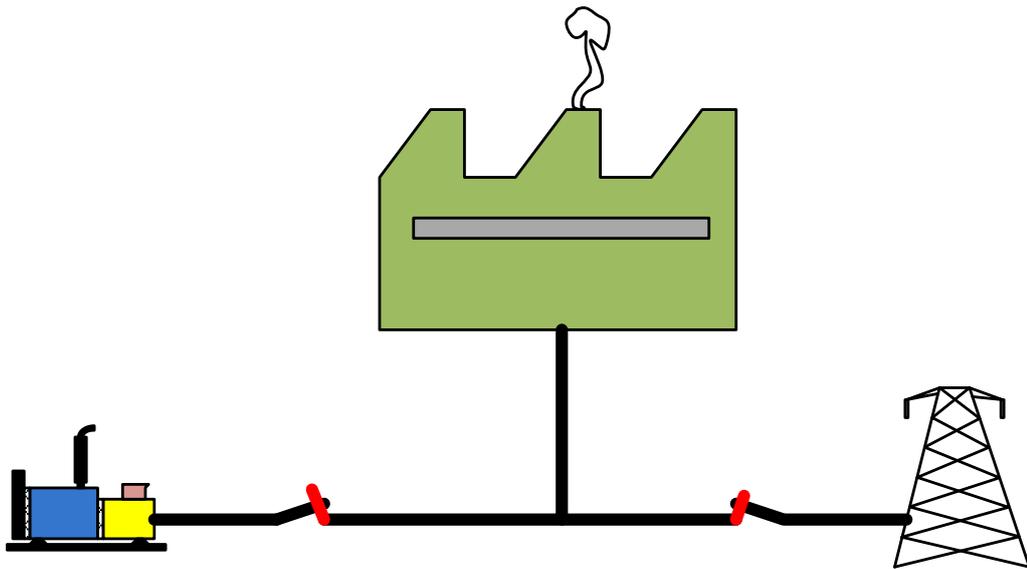


Figura 1.10 Generador y alimentación de E.D. sincronizados. Fuente: [1]

En la figura 1.10 se observa un generador que se encuentra sincronizado con la alimentación que llega desde la E. D. para suministrar energía a la carga

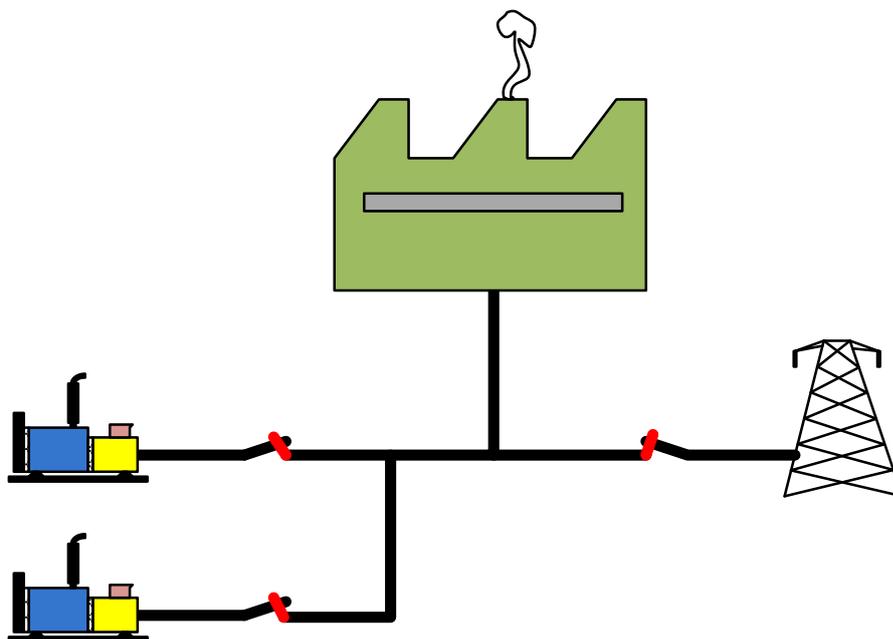


Figura 1.11 Dos generadores y E.D. sincronizados. Fuente: [1]

En la fig. 1.11 dos generadores se encuentran sincronizados y también acoplados a la energía entregada por la ED.

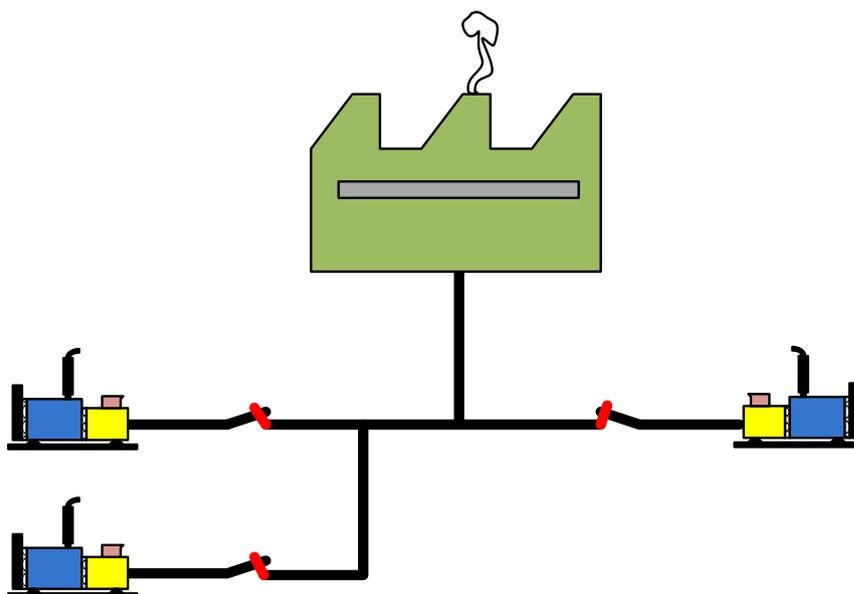


Figura 1.12 Tres generadores sincronizados. Fuente: [1]

Y así se pueden sincronizar n cantidad de generadores entre sí o con una fuente externa.

Ahora la sincronización se la puede realizar mediante los siguientes tipos:

Tipo manual: Consiste en la operación del proceso de sincronización de forma manual. Asumimos un generador encendido e ingresado a la barra común es decir con carga. Cuando se necesite ingresar otro generador el proceso debe ser realizado por el operador desde el encendido del generador, regulación de velocidad y frecuencia a los parámetros del generador ya ingresado, visualización del indicador de sincronización y entrada a la barra común en el momento indicado siempre a criterio del operador.



Figura 1.13 Tablero de sincronización manual. Fuente: [4]

Tipo semiautomático: El operador participa parcialmente del proceso de sincronización, siendo mucho más confiable que el tipo manual, ya que en el momento que el operador encienda el segundo generador asumiendo que el primer generador está encendido y con carga, se limita a observar algún dispositivo electrónico o display que es el que realiza las comparaciones de los parámetros de frecuencia y voltaje ajustados por el operador. Luego de comprobar la similitud de estos valores en magnitud y desfase, indica mediante señal luminosa o acústica que es el momento de ingresar el generador pendiente.

Tipo automático: Este representa el método más seguro para la sincronización de generadores, ya que el proceso es completo.

Se coloca el dispositivo que podría ser un selector en posición de auto, con lo cual el sistema enviará cuando requiera la señal de arranque del segundo generador y lo incorporará a la barra común repartiendo la carga entre ellos equitativamente, con esto se reparten la potencia activa y la reactiva para que el factor de potencia sea de la misma magnitud en ambos. Así se pueden incorporar a la barra común n generadores.

Luego, cuando la carga haya disminuido, de la misma forma el sistema enviará la señal, primero para sacarlos uno por uno a los generadores innecesarios y luego apagarlos, quedando siempre en espera para cuando se necesite incorporarlos al sistema nuevamente.

En cuanto a los métodos de sincronización por ser visuales, estos se aplican en el tipo manual y son:

Método de las lámparas de fase apagadas, la diferencia de potencial en las lámparas nos indicarán cuando los generadores estén en sincronía.

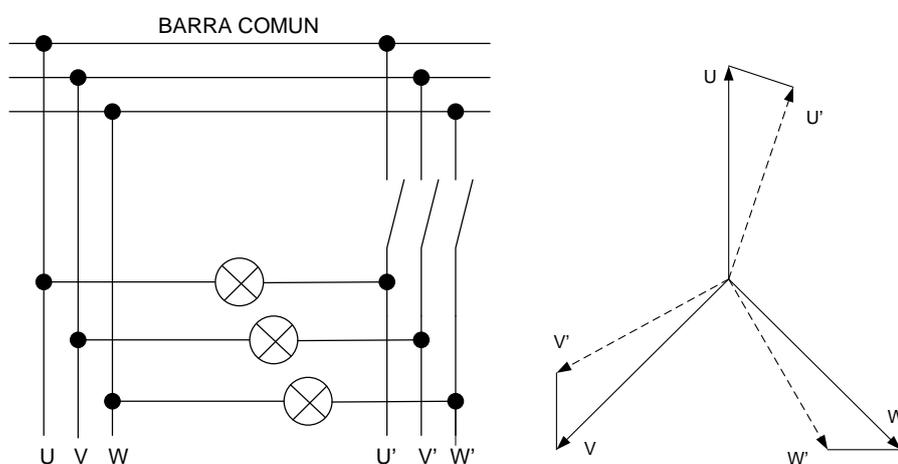
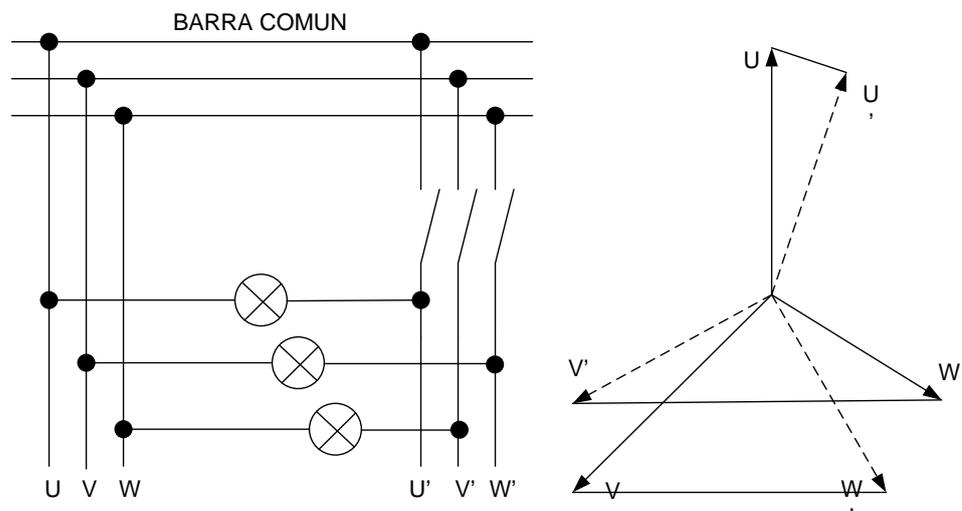


Fig. 1.14 Método de las lámparas apagadas. Fuente: [7]

Método de las luces rotantes o encendidas, la lámpara conectada entre UU' debe estar apagada y las dos restantes encendidas, eso nos indica que están en sincronía, caso contrario encenderán alternativamente en un sentido y en otro como si girasen [7].



.Fig. 1.15 Método de las lámparas rotantes o encendidas. Fuente: [7]

1.3 Construcción del Tablero de Sincronización

Primero se debe conocer la carga que debe alimentar el sistema del proyecto en el barco atunero.

TABLA 1.1 Cargas instaladas detalladas

CUADRO DE CARGAS								
ITEM	DESCRIPCION	CANT. (U)	POT. (HP)	POT. (KW)	P. TOTAL (KW)	VOLT. (V)	FASES	ARRANCADOR
1	compresor amoniaco	4	100	74,6	298,4	460	3	autotransformador
2	compresor amoniaco	1	50	37,3	37,3	460	3	autotransformador
3	compresor amoniaco	1	150	111,9	111,9	460	3	autotransformador
4	compresor de aire	1	30	22,38	22,38	460	3	directo
5	compresor de aire	1	25	18,65	18,65	460	3	directo
6	bomba de condensa	2	25	18,65	37,3	460	3	directo
7	bomba de transferencia	2	25	18,65	37,3	460	3	directo
8	bomba de contra incendio	1	25	18,65	18,65	460	3	directo
9	bomba de sanitario	1	7,5	5,595	5,60	460	3	directo
10	bomba de agua dulce	1	7,5	5,595	5,60	460	3	directo
11	bombas circuladoras de agua	15	5	3,73	55,95	460	3	directo
12	bomba del sistema de enfriamiento	1	7,5	5,595	5,595	460	3	directo
13	bomba del hidráulico del ancla	1	30	22,38	22,38	460	3	Directo
14	bomba de timón	2	25	18,65	37,3	460	3	directo
15	bomba de enfriamiento del hidráulico	1	3	2,238	2,24	460	3	directo
16	Alumbrado (fluorescente 2 x 32 W)	1	--	6	6,00	110	1	----
17	Alumbrado (reflector 500 W MH)	1	--	5	5,00	220	1	----
18	Puente (instrumentación)	1	--	4	4,00	220	1	----
19	Chiller	1	10	2,5	2,50	460	3	---
20	Split puente	1	3	3,5	3,50	220	1	----
21	Horno	1		3	3	220	1	----
22	Hornillas cocina	4		2,5	10,00	220	1	----

carga total (KW)	750,53
------------------	--------

Esta carga eléctrica debe ser alimentada desde el tablero principal TDP del barco atunero, el cual cuenta con un breaker de 630 A en caja moldeada como protección principal para cada generador (3 breaker en total) y para la protección de las cargas más fuertes como son compresores y subtableros de distribución cuenta con un sistema de protección redundante, es decir dos breaker de igual capacidad acoplados en paralelo y activado uno a la vez.

El tema que nos involucra es solamente la implementación de un sistema de sincronización para tres generadores de 350 KW 460 V con motores Caterpillar y alternadores marca Kato. No se incluye en este proyecto el sistema de protección de los compresores de amoníaco y de los subtableros de distribución.

Del tablero existente en la parte que nos compete solo se recuperó la estructura del mismo así como las barras comunes.

Como primera labor se realiza la coordinación con el personal del barco, ya que se necesita provocar un blackout (apagón) es decir dejar fuera de servicio los generadores para poder suministrar energía al barco pero desde el muelle, conociéndose a esta alimentación como poder de tierra, la misma que alimentará cargas puntuales como son alumbrado, bombas circuladoras, tomas de 110 V, y compresores de aire, para lo cual se instala un tablero provisional.

Los equipos y materiales necesarios para la construcción del tablero de sincronización son los siguientes:

Tabla 1.2 Listado de equipos y materiales

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES		
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Marco de ángulo de hierro negro 2 x 2 x 1/4" dimensiones 288 x 42 x 50 cm	1 U
2	Módulo de sincronismo marca DEEP SEA modelo 8610	3 U
3	Medidor de parámetros marca Merlin Gerin modelo PM710	3 U
4	Breaker motorizado marca Merlin Gerin 630 A modelo NS630NA	3 U
5	Bobina de mínima tensión para breaker Merlin Gerin NS630NA	3 U
6	Contacto auxiliar para breaker Merlin Gerin NS630NA	3 U
7	Transformadores 500 VA 460/220 V marca General Electric	6 U
8	Transformador de corriente 600/5 marca Siemens	18 U
9	Temporizador 0-10 seg. Marca Telemecanique	3 U
10	Relés 11 pines marca Telemecanique	21 U
11	Relés 14 pines marca Telemecanique	21 U
12	Breaker riel DIN 3 P 2 A marca Merlin Gerin	6 U
13	Breaker riel DIN 2 P 10 A marca Merlin Gerin	6 U
14	Breaker riel DIN 1 P 10 A marca Merlin Gerin	6 U
15	Portafusibles 10 x 38 mm con fusibles 4 A marca Camsco	3 U
16	Relé de sincronismo marca Basler	6 U
17	Relés de potencia inversa marca Basler	6 U
18	Frecuencímetro analógico 55-65 Hz 96 x 96 mm marca Siemens	2 U
19	Voltímetro 0-600 V 96 x 96 mm marca Siemens	2 U
20	Sincronoscopio analógico (se reutilizara el existente)	1 U
21	Luces de sincronismo 30 mm color amarillas marca Telemecanique	2 U
22	Luces de falla a tierra 30 mm color rojas marca Telemecanique	3 U
23	Selector harmony 3 posiciones para selección generadores marca Telemecanique	1 U
24	Cargador de batería 220/ 24 V 10 A marca DEEP SEA	1 U
25	Baterías ND200 200 A marca Bosch	2 U
26	Selector harmony 2 posiciones para selección manual-auto marca Telemecanique	4 U
27	Pulsador verde para abrir breaker marca Telemecanique	3 U
28	Pulsador verde para pruebas de luces de tierra marca Telemecanique	1 U
29	Pulsador verde para arranque de generador marca Telemecanique	3 U
30	Pulsador rojo para cerrar breaker marca Telemecanique	3 U
31	Pulsador rojo para parada generador marca Telemecanique	3 U
32	Luz piloto verde indicador breaker abierto marca Telemecanique	3 U
33	Luz piloto roja indicador breaker cerrado marca Telemecanique	3 U
34	Luz piloto roja indicador potencia inversa marca Telemecanique	3 U
35	Luz piloto roja indicador falla de sincronismo marca Telemecanique	3 U
36	Luz piloto amarilla indicador breaker en trip marca Telemecanique	3 U
37	Luz piloto roja indicador gen manual marca Telemecanique	3 U
38	Luz piloto verde en reserva marca Telemecanique	3 U
39	Luz piloto verde indicador gen listo marca Telemecanique	3 U
40	Luz piloto roja indicador sincronismo listo marca Telemecanique	1 U
41	Interruptor ojo de cangrejo alimentación AVR marca Camsco	3 U
42	Canaleta ranurada 30 x 30 x 3 m marca Camsco	12 U
43	Riel DIN de 1 m marca Camsco	10 U
44	Bornera 6mm2 marca Legrand	200 U
45	Tapa 6mm2 marca Legrand	40 U
46	Tope para bornera 6mm2 marca Legrand	50 U
47	Conductor # 14 flexible (rollo 100 m) modelo 1859 B-14 marca Alpha wire	5 U
48	Conductor # 16 flexible (rollo 100 m) modelo 1858 B-16 marca Alpha wire	6 U
49	Conductor # 10 (rollo 100 m) modelo 3081 marca Alpha wire	1 U
50	Puerta en plancha de hierro negro de 2mm de espesor dim. 70 x 42 cm	4 U
51	Fondo metálico en plancha de hierro negro de 2mm de espesor dim. 70 x 42 cm	4 U

Ya con el tablero sin energía y los generadores apagados se retira todo el control que funcionaba para el anterior sistema, así como cambiar los breakers de alimentación desde cada uno de los generadores hasta la barra común, colocándose nuevos breakers motorizados con sus respectivas bobinas de mínima tensión y contactos auxiliares.

Se instalan nuevos transformadores de corriente en las acometidas desde los generadores, completándose así la primera parte de la etapa constructiva.



Figura 1.16 Elementos existentes en sistema de sincronización. Fuente: [4]

La segunda parte de la etapa consiste en la construcción en si del módulo que debe contener los elementos y equipos necesarios para el proceso de sincronización.

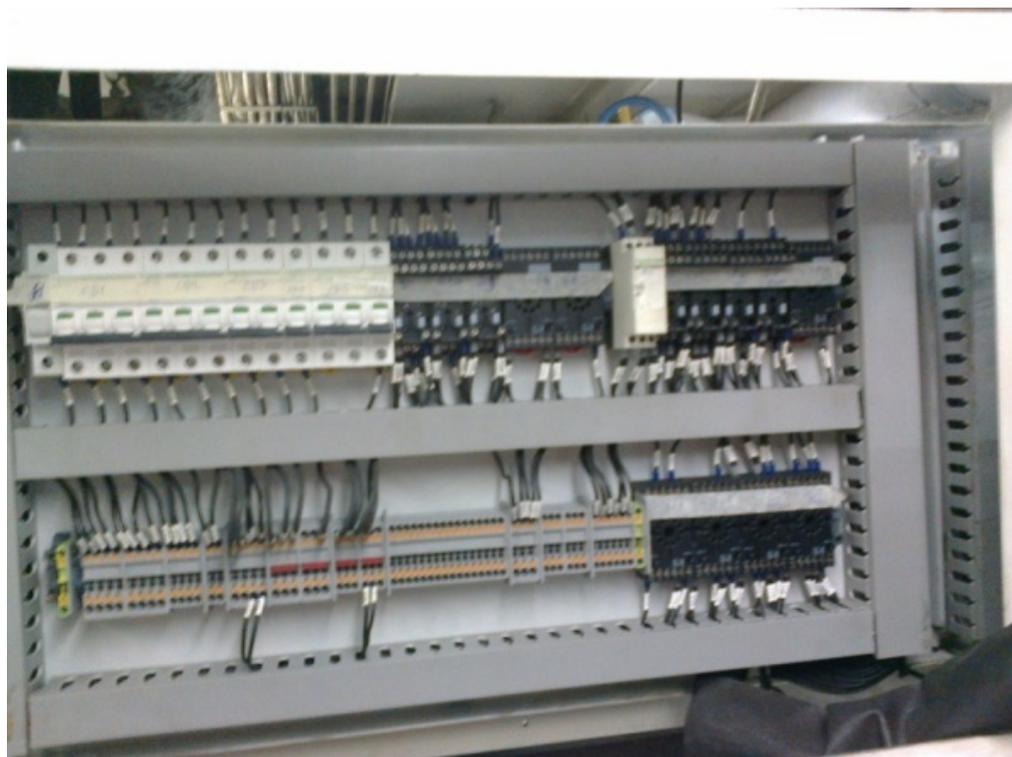


Figura 1.17 Control del nuevo sistema de sincronización. Fuente: [4]

En la Fig 1.17 se observa los elementos que componen una parte del sistema de sincronización, tales como breakers, temporizadores, relés, borneras, etc.

Para ejecutar el proceso de sincronización se utiliza el módulo digital modelo 8610 marca DEEP SEA, el cual tiene la propiedad de poderse comunicar con los demás módulos (tres en total) y realizar el ingreso de los generadores en barra común de forma automática.

Cuando se necesite retirar uno de los generadores de la barra común basta con cambiar de posición el selector de estado del generador que está ingresado y los demás módulos que estén operativos reciben la carga de dicho generador, cumpliéndose su salida a través del breaker motorizado que recibe la señal de apertura enviada por el módulo cuando advierte que la carga en el generador es cercana a cero.



Figura 1.18 Vista general del sistema de sincronización montado. Fuente: [4]

Aunque el sistema funciona en automático, el usuario podría manipular el mismo cambiando de posición el selector a manual ya que cuenta con un selector de posición y de esta forma podría sincronizar los generadores ajustando manualmente el potenciómetro de voltaje y el ajuste de frecuencia, e ingresar los generadores con la ayuda del sincronoscopio analógico.



Figura 1.19 Un cuadro de control del sistema de sincronización. Fuente: [4]



Figura 1.20 Cuadro de control del modulo DEEP SEA. Fuente: [4]

CAPÍTULO 2

2. RESULTADOS OBTENIDOS

Por ser EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE UN TABLERO DE SINCRONIZACION DE TRES GENERADORES un tema teórico-práctico debemos tener muy claro que el análisis y la obtención de resultados en el presente documento inicia con los siguientes pasos:

- Visita técnica al sitio del problema.
- Recolección de la información.
- Análisis del problema.
- Elaboración y diseño de la solución.
- Implementación de la solución.
- Ensayos de funcionamiento.
- Pruebas finales.
- Comparación entre la situación anterior y la actual.

El contar con la completa colaboración del personal de máquinas y encargados del barco atunero, nos permitió tener una idea muy clara de la situación, para implementar la solución al problema presentado.

Luego de desarrollarlo en papel e implementarlo con la construcción del sistema de sincronización podemos resumir los siguientes resultados obtenidos:

- Mayor confiabilidad de operación que da el sistema instalado debido a la implementación de equipos modernos como son los módulos de sincronización.
- Completa comunicación entre los módulos DEEP SEA 8610 a través de los puertos serial RS 485 que tiene cada uno de los instalados. Esto será antes, durante y después del proceso de sincronización lo cual permite realizar una repartición de carga de manera uniforme entre ellos tanto en potencia activa medida en KW como en la potencia reactiva en KVAR, potencia aparente en KVA y factor de potencia.
- Se logró la reactivación del mando remoto del Governor de cada generador con el fin que sean los módulos DEEP SEA 8610 que controlen la velocidad de los motores de combustión que conforman cada generador.
- Mayor protección para evitar entre otras cosas la motorización de los generadores y su posterior daño, esto a través de los relés de potencia inversa. Este daño ocurre debido al ingreso repentino de carga.
- Mayor facilidad en el manejo del sistema por parte del o los operadores, ya que al ser personas que no cuentan con formación técnica, puedan contar con

una secuencia resumida de pasos y con la señalización muy clara de cada componente.

- La posibilidad de trabajar el sistema de manera manual mediante el ajuste de velocidad y voltaje o de manera automática.

Dentro de los resultados podemos hacer aquí un comparativo costo-beneficio de la implementación del sistema de sincronismo:

SISTEMA ANTERIOR (MANUAL)	SISTEMA ACTUAL (AUTOMATICO)
- Operación completamente manual	- Operación manual o automática
- Ingreso a criterio de operador	- Ingreso automático sincronizado
- Protección mínima	- Protección por relés y módulos
- Falla y motorización	- Motorización nula
- Mínima ayuda en el tablero para monitoreo de cargas	- Monitoreo en pantalla de módulos de I, V, KW, KVAR, KVA, FP
- Repartición de cargas manual	- Repartición de cargas automático
	- Comunicación entre generadores vinculados
- COSTO APROXIMADO	- COSTO APROXIMADO
USD\$ 20,000.00	USD\$ 35,000.00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Al implementar el sistema de sincronización y luego de realizar las pruebas respectivas podemos concluir lo siguiente:

- 1 El cambio de tecnología y una correcta selección de los equipos y elementos necesarios para la construcción del sistema permite un buen funcionamiento del mismo y la confiabilidad esperada.
- 2 La operación en sincronización de los generadores permite que sus componentes no sufran por los impactos de carga causados.
- 3 Un sistema de este tipo permite monitorear la carga constantemente y coordinar la entrada o salida de generadores dependiendo de la necesidad.
- 4 Al tener varios generadores en paralelo que cubren con la demanda de la carga, se puede programar con mayor facilidad los mantenimientos sean estos preventivos o correctivos.
- 5 El análisis costo vs beneficio nos refleja una mayor inversión para contar con un sistema de sincronización con las protecciones adecuadas, el implementar sistemas básicos puede ocasionar problemas con graves consecuencias en la carga y hasta en las personas que laboran en las áreas donde se encuentran los generadores.

RECOMENDACIONES

1. A pesar de contar con equipos muy confiables en su operación como el DEEP SEA 8610 es necesario monitorear el comportamiento de los generadores y la carga cada cierto tiempo durante el periodo de funcionamiento.
2. Para sistemas de sincronización como el implementado, se sugiere utilizar doble pantalla de monitoreo de parámetros eléctricos, en este caso usamos el DEEP SEA y un Power Meter 710, con el fin que si se produjera una falla, no quedar sin visualización de los parámetros.
3. Mantener en buen estado los generadores, especialmente su parte mecánica, por ser equipos con más de 25 años de operación.
4. Realizar mantenimientos periódicos al alternador como son limpieza de sus piezas, ajuste de componentes y acometida.
5. Es necesario revisar continuamente los sistemas eléctricos ya que en el ambiente salitroso necesitan de un tiempo en el periodo de mantenimiento más corto que los normales, debido a la producción de sulfatos en conductores y terminales.
6. Sacar el máximo provecho al sistema ya que presta toda la confianza para operar en forma automática.
- 7 Es muy efectivo para evitar inconvenientes y pérdida de tiempo realizar una secuencia de verificación, especialmente en estos módulos el método de los cuatro pasos, es decir, verificar el control (AVR, Governor, dirección del control), la medición (Ct's), la comunicación y el chequeo del sincronismo.

- 8 La calibración de los módulos DEEP SEA y demás equipos es sencilla pero debe ser realizada de manera ordenada y revisada las veces que sea necesario a fin de evitar malas coordinaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guide to load share system design and commissioning, Deep sea, Julio 2007.
- [2] Manual de instrucciones KATO para alternadores, 2012.
- [3] Catalogo PMG para alternadores de baja tensión, Leroy Somer, 2014.
- [4] Tomas del autor.
- [5] Catalogue AVR CAT.
- [6] Gobernador de palanca UG– 5,6,7,8,10 Woodward, manual SP03036 revisión J.
- [7] Puesta en paralelo de generadores síncronos, Armengol Blanco.