

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Diseño, Construcción, Instalación y Puesta en marcha del tablero de control y distribución energética, para dos Grupos Electrónicos a gas Waukesha de 1500 KVA, 480 VAC, Fp = 0.8, en el campo MDC de ENAP – SIPETROL

Luis Santiago Yépez Hinojosa

Raúl Ernesto Zapata Mena

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería Eléctrica – Electrónica Sub. Telecomunicaciones

Quito

Mayo de 2010

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Diseño, Construcción, Instalación y Puesta en marcha del tablero de control y distribución energética, para dos Grupos Electrónicos a gas Waukesha de 1500 KVA, 480 VAC, $F_p = 0.8$, en el campo MDC de ENAP – SIPETROL

Luis Santiago Yépez Hinojosa

Raúl Ernesto Zapata Mena

Omar Aguirre, MSc
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

René Játiva, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Nelson Herrera, Ing.
Miembro del Comité de Tesis

Santiago Navarro, Ph.D.
Decano de Ingeniería Eléctrica - Electrónica

Fernando Romo, Ph.D.
Decano del Colegio Politécnico

Quito, mayo de 2010

© Derechos de autor

Turbomotores Ecuatorianos

Luis Santiago Yépez Hinojosa

Raúl Ernesto Zapata Mena

2010

Dedicatoria

Raúl

Con todo mi cariño dedico el presente proyecto a mis padres, hermanas, y mi enamorada, quienes a lo largo de mi carrera me han apoyado y han sido un soporte para la culminación de mi profesión.

Santiago

Este presente proyecto lo dedico a toda mi familia con todo mi cariño, quienes a lo largo de mi carrera me han apoyado en todo momento y han sido un pilar para la culminación de mi profesión.

Agradecimientos

Brindamos los más sinceros agradecimientos al Ing. José Basic, gerente de la empresa Turbomotores Ecuatorianos, al Ing. Jorge Mejía, gerente de proyectos de la empresa Turbomotores Ecuatorianos, por su guía, dedicación, tiempo y confianza puesta en nosotros, que sin su apoyo no hubiera sido posible la feliz culminación del presente proyecto.

De la manera más cordial y sincera se agradece a la Universidad San Francisco de Quito, al grupo de profesores y a nuestro director de tesis, que a lo largo de nuestra carrera impartieron sus enseñanzas y vivencias en la vida profesional.

Por último nuestro agradecimiento de manera especial a todo el grupo humano de la empresa Turbomotores Ecuatorianos que junto a nosotros trabajaron de principio a fin para hacer realidad el proyecto.

Resumen

El presente proyecto consiste en la instalación de dos grupos electrógenos a gas de 1500 KVA, 480 VAC, 60 Hz y $F_p = 0.8$, en el campo MDC de la empresa Enap – Sipetrol, ubicado en la Joya de los Sachas provincia de Orellana. El proyecto empieza con el planteamiento de la ingeniería básica, donde se toma en cuenta el lugar geográfico donde se realizará la instalación, los efectos ambientales, y las normas y regulaciones internacionales a seguir para realizar esta instalación. Posterior a la aprobación de la ingeniería básica por parte del cliente, se realiza el estudio, diseño y construcción en detalle del sistema eléctrico a implementar, esta etapa es conocida como ingeniería de detalle. En esta etapa, se realiza el diseño del tablero de control con su respectiva caja de barras; dentro del tablero, se diseña el circuito de control y protecciones eléctricas, se definen los equipos de control y protecciones a utilizar. Finalmente, posterior a la aprobación de la ingeniería de detalle por parte del cliente, se procede a la construcción del tablero de control. El tablero de control es instalado en campo, después de realizar un comisionado general del circuito de control y protecciones eléctricas, y un comisionado específico en todos los dispositivos eléctricos que conforman el circuito de control y protecciones eléctricas. Por último, ya instalado y comisionado el tablero en campo, comienza el arranque y pruebas de desempeño de los dos grupos electrógenos, que después de las pruebas de campo serán interconectados con cuatro grupos electrógenos antiguos.

Abstract

This project involves the installation of two gas generators of 1500 KVA, 480 VAC, 60 Hz and $Pf = 0.8$, in the field MDC of the company Enap - Sipetrol, located in La Joya de los Sachas province of Orellana. The project starts with the basic engineering approach, which takes into account the geographical location for installation, environmental effects, and international rules and regulations to follow to perform this installation. After approval of the basic engineering by the customer, is going to conduct the study, detailed design and construction of the electrical system to implement, this stage is known as detailed engineering. At this stage is going to make the design of the control panel with their respective buss bar box, inside the panel is going to design the control circuit and electrical protection, and it defines the control and protection equipment used. Finally, after client approval of the detailed engineering, it proceeds to the construction of the control panel. The control panel is installed in the field, after making a general commissioning of the control circuit and electrical protection, and a specific commissioning on all electrical devices comprising the control circuit and electrical protection. Already installed and commissioned the board in the field, begins the startup and performance testing of the two generators, which are going to be connected with four old generators.

Tabla de contenido

<u>Introducción</u>	1
<u>Capítulo 1: Motores Generadores</u>	3
1.1 Generalidades de motores generadores	3
1.2 Componentes básicos de un motor generador	4
1.2.1 Funcionamiento básico del generador	4
1.2.2 Funcionamiento básico del generador sincrónico y componentes principales	5
1.2.2.1 Rotor	7
1.2.2.2 Estator	10
1.2.2.3 Excitador	12
1.2.3 Motor	12
1.2.4 Regulador de voltaje	13
1.2.5 Regulador de velocidad	15
<u>Capítulo 2: Diseño e implementación del tablero de control</u>	20
2.1 Planteamiento del problema	20
2.2 Diseño del tablero de Control	20
2.3 Diseño y construcción de la caja de barras del tablero de Control	24
2.4 Diseño del circuito de control y protecciones eléctricas	28

2.5 Comisionado del sistema eléctrico	36
2.5.1 Definición de Comisionado	36
2.5.2 Descripción Equipo	37
2.5.2.1 MIT 1022	37
2.5.2.2 TTR 310	39
2.5.2.3 EGIL	43
2.5.2.4 "Digital Low Resistance Ohmmeter"	45
2.5.2.5 DDA 6000	46
2.6 Implementación del sistema eléctrico	47

Capítulo 3: Programación de los equipos de control y protección eléctrica

<u>Capítulo 3: Programación de los equipos de control y protección eléctrica</u>	52
3.1 Introducción.	52
3.1.1 Campos de cobertura.....	53
3.1.2 Características.....	53
3.2 Woodward Easygen 3100, parámetros básicos de programación	54
3.3 Implementación vía Software	58
3.3.1 COMPONENTES BÁSICOS	60
3.3.2 FUNCIONES BÁSICAS.....	61
3.3.3 FUNCIONES	62
3.4 Programación del Easygen 3100 para el control de los grupos electrógenos.	63
3.4.1 ADMINISTRACIÓN	63
3.4.2 APLICACIÓN	64

3.4.2.1	BREAKER	64
3.4.3	MOTOR	65
3.4.4	COMUNICACIÓN	67
3.4.5	CONTROLADORES	68
3.4.6	FRECUENCIA	68
3.4.7	CARGA.....	70
3.4.8	COMPARTICIÓN DE CARGA	71
3.4.9	FACTOR DE POTENCIA	73
3.4.10	VOLTAJE	74
3.4.11	INTERFACES.....	76
3.4.12	ENTRADAS Y SALIDAS	77
3.4.13	SALIDA ANÁLOGA # 1	77
3.4.14	SALIDA ANALOGA # 2	78
3.4.15	ENTRADAS DISCRETAS 1 – 4	79
3.4.16	ENTRADAS DISCRETAS 5 Y 6	81
3.4.17	ENTRADAS DISCRETAS 9 – 12	82
3.4.18	SALIDAS DISCRETAS 2 – 6.....	84
3.4.19	SALIDA DISCRETA 7.....	86
3.4.20	MEDIDAS	87
3.4.21	CONFIGURACIÓN DE MEDIDAS.....	87
3.4.22	VOLTAJE DE BATERIA	89
3.4.23	BREAKER	91
3.4.24	GENERADOR	93
3.4.25	VOLTAJE DEL GENERADOR.....	93

3.4.26 FACTOR DE POTENCIA	96
3.4.27 CORRIENTE	99
3.4.28 FRECUENCIA	101
3.4.29 SOBRECARGA	103
3.4.30 POTENCIA	106
3.4.31 REPARTICIÓN DE CARGA	108
3.4.32 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	109
3.5 Relé de protección multifunción Woodward CSP2-T, parámetros	
Básicos de programación	111
3.5.1 Definición de diagrama unifilar	111
3.5.2 Diagrama del relé de protección	111
3.6 Programación del CSP2-T, para el monitoreo del sistema eléctrico y	
Coordinación de protecciones	113
<u>Capítulo 4: Análisis de resultados</u>	114
4.1 Introducción	114
4.2 Pruebas de desempeño	120
4.3 Ventajas y desventajas del nuevo sistema implementado.....	125
<u>Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones</u>	127
<u>Bibliografía</u>	130

<u>Anexos</u>	131
Anexo 1: Plano del tablero de control	132
Anexo 2: Tabla de características técnicas de barras	134
Anexo 3: Pruebas y revisiones internacionales powermat	137
Anexo 4: Tabla powermat para diseño de soportes en lcc	140
Anexo 5: Plano caja de barras principal	142
Anexo 6: Diagrama unifilar del sistema eléctrico general	144
Anexo 7: Plano del circuito de control	146
Anexo 8: Parámetros básicos de programación CSP2 - T	149
Anexo 9: Programación de la coordinación de protecciones	168

Introducción

La generación eléctrica se origina a partir de la transformación de otras formas de energía tales como la energía mecánica, química, térmica, entre otras, en energía

eléctrica. En el caso de Ecuador, las principales formas de generar energía eléctrica son mediante las centrales hidroeléctricas, centrales termoeléctricas o mediante el uso en paralelo de varios grupos electrógenos.

El presente proyecto de grado se ha enfocado en el control automático de dos grupos electrógenos a gas Waukesha de 1500 KVA, 480 VAC, 60 Hz, $F_p = 0.8$, y su sincronización para la repartición de carga con tres grupos electrógenos de similares características que se encuentran operando en campo MDC de ENAP SIPETROL mucho tiempo atrás. En primer lugar se parte con el marco teórico correspondiente al funcionamiento básico de un grupo electrógeno, sus partes básicas y las variables que se deben tomar en cuenta para el diseño del circuito de control del mismo.

Posteriormente se analizará en detalle el diseño del circuito de control con todos los equipos y elementos eléctricos, electrónicos y de protección que se usaron en el mismo; además se especifica con claridad las normas eléctricas internacionales que se emplearon para el diseño del circuito de control. Una vez terminada la etapa de diseño, se explicará claramente el funcionamiento de los equipos de comisionado, sus características técnicas y el procedimiento a seguir cuando se requiere realizar un comisionado en los equipos y dispositivos del circuito de control diseñado; con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de todo el sistema eléctrico.

Finalmente se analizarán los equipos electrónicos de control y protección del sistema eléctrico; se explicará en detalle el funcionamiento, todos los parámetros

necesarios para el control y protección del sistema eléctrico en general y la programación de estos equipos para que se garantice el control automático de los grupos electrógenos y las protecciones adecuadas a todo el sistema. Una parte esencial de esta etapa, es la explicación teórica de la sincronización entre grupos electrógenos y como se programaron los equipos de control, para que los dos grupos electrógenos actúen como un sistema independiente y cuando la situación lo amerite se sincronicen con los tres grupos electrógenos que se encuentran actualmente operando en el campo.

Esperamos que este proyecto sea un aporte pedagógico que sirva como un manual y guía práctica para el diseño y la implementación de un sistema de control y protección eléctrica; que despierte el interés en profesionales y estudiosos del tema y los motive para la construcción de nuevos y más modernos sistemas eléctricos.

CAPITULO 1: Motores Generadores

1.1 Generalidades de motores generadores

Los motores generadores también conocidos como grupos electrógenos, son máquinas que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica. La fuente de energía mecánica es provista por el motor, el generador o también llamado alternador es el encargado de convertir esta energía mecánica en eléctrica mediante un proceso electromagnético (Nasar 3 - 17).

Esta transformación de energía mecánica en eléctrica se obtiene por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura llamada estator, cuando se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, generando con esto una fuerza electromotriz constante (Serway 980 - 982). Este principio de funcionamiento obedece a la ley de Faraday que concluye, que una corriente eléctrica puede inducirse en un circuito mediante un campo magnético variable, y que la fem inducida en un circuito es proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito (Serway 980 - 982).

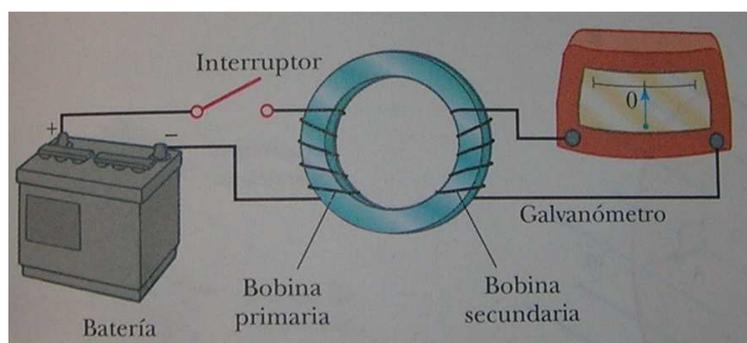


Figura 1 Circuito de experimentación de Faraday (Serway 981)

1.2 Componentes básicos de un motor generador

Un grupo electrógeno está constituido básicamente por dos partes:

Parte de Potencia:

- Generador o Alternador
- Motor

Parte de Control:

- Regulador automáticos de voltaje
- Regulador automáticos de velocidad

A continuación se describirá y explicará más en detalle todas las partes en conjunto que componen un grupo electrógeno, empezando por el generador o conocido también como alternador.

1.2.1 Funcionamiento básico del generador

Como se mencionó en la introducción, se requieren de tres factores básicos para la generación de voltaje: magnetismo, movimiento y conductores. El funcionamiento básico de un generador se da cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético y produce voltaje, no existe diferencia si el campo magnético es fijo y el conductor es móvil o viceversa, la única condición válida para la generación de voltaje, es que exista movimiento relativo (Caterpillar 1 - 19).

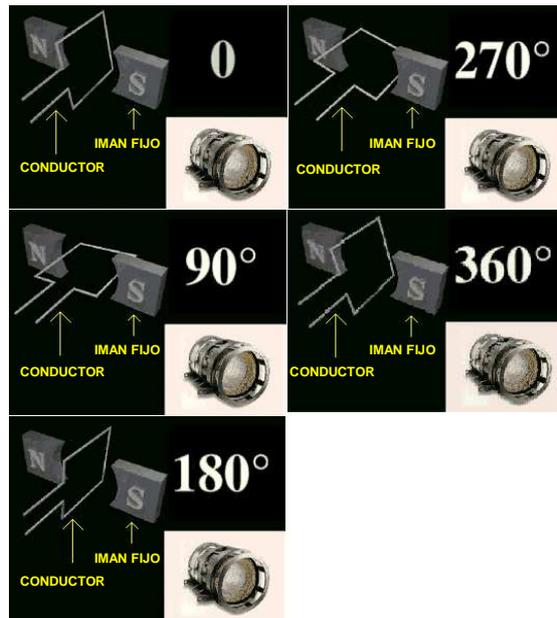


Figura 2 Representación del funcionamiento básico de un generador simple (Caterpillar 1 - 19)

1.2.2 Funcionamiento básico de un generador sincrónico y componentes principales

Un generador sincrónico de corriente alterna consta de 4 componentes principales:

Rotor

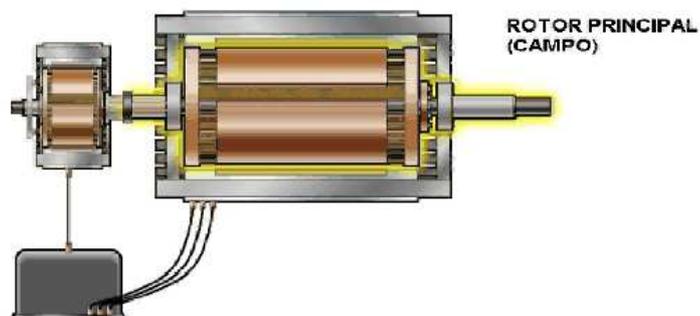


Figura 3 Representación gráfica del rotor de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

Estator

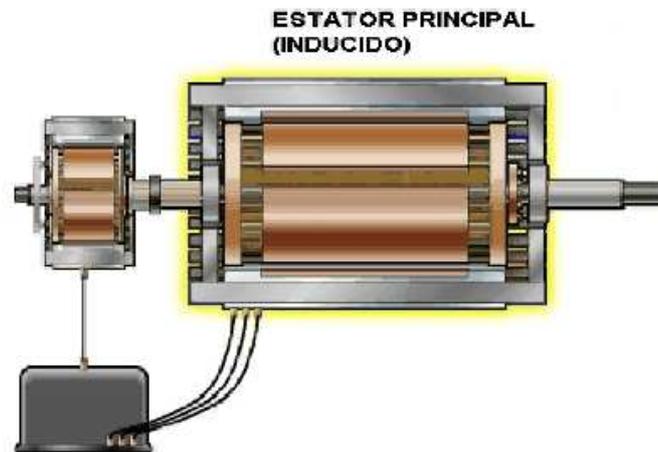


Figura 4 Representación gráfica del estator de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

Excitador

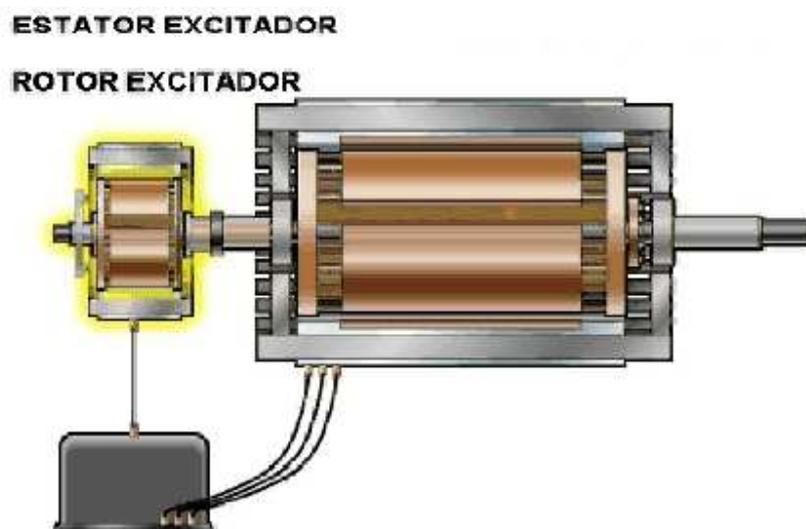


Figura 5 Representación gráfica del excitador de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

Regulador de Voltaje

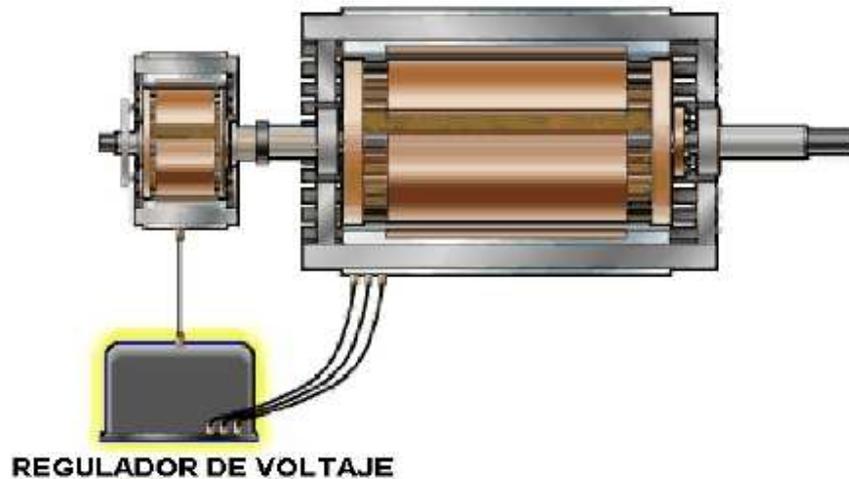


Figura 6 Gráfica del regulador de voltaje de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

La generación eléctrica se produce cuando el excitador brinda corriente continua a los devanados del rotor, esta corriente al pasar por los conductores, crea líneas de flujo magnético, que a su vez produce voltaje en los devanados del estator cuando hay un movimiento relativo entre ambos es decir (rotor - estator), este movimiento lo realiza el motor, el cual hace girar el rotor del generador. Por último el regulador de voltaje monitorea este voltaje y controla la corriente del excitador para mantener constante el voltaje generado. (Nasar 131 - 136)

1.2.2.1 Rotor

Como su nombre lo indica, el rotor es el elemento que gira dentro de un generador, como se mencionó en la introducción no importa si el elemento conductor gira y se mantiene fijo el campo magnético o viceversa, así que se puede dar el caso que el estator se encuentre girando y el rotor fijo, la dificultad de

este sistema es tener una corriente trifásica en un estator que gira, por esta razón los generadores generalmente presentan un sistema de estator fijo y un rotor girando (Caterpillar 1 - 19).

El rotor contiene polos con devanados enrollados a su alrededor que forman bobinas conocidas como bobinas o devanados de campo, cuya función es crear un campo magnético; dependiendo de las características del generador se diseñan estas bobinas que por lo general contienen cientos de vueltas. Este campo se irradia hacia afuera del motor y gira con el rotor, tiene mayor fuerza en los polos norte y sur donde se concentran las líneas de flujo magnético, la concentración del flujo magnético es proporcional al voltaje producido en los devanados es decir mientras mayor sea la concentración, mayor será el voltaje producido por los devanados. Hay que recalcar que un rotor solo puede tener un número par de polos (Nasar 131 - 136).

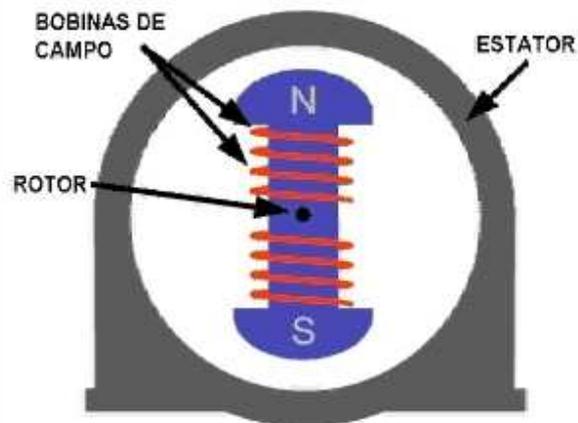


Figura 7 Gráfica del rotor de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

El rotor se mueve mecánicamente 360 grados sin tomar en cuenta cual es el número de polos que tenga el rotor, en cambio para medir los grados eléctricos recorridos se debe tomar en cuenta el número de par de polos que contiene el rotor y multiplicarlos por los grados mecánicos que se desplaza cada par de polos. Por ejemplo si tenemos un rotor con 2 pares de polos (4 polos) cada par de polos ha girado 360 grados mecánicos, los grados eléctricos totales son $360 \times 2 = 720$ grados eléctricos (Caterpillar 1 - 19).

La frecuencia eléctrica también está dada por el número de pares de polos del rotor y la velocidad angular del motor en rev/seg, para obtener la frecuencia eléctrica del generador, se multiplica el número de par de polos por la velocidad angular de giro del motor en rev/seg. En el caso anterior donde tenemos 2 pares de polos y asumiendo un giro máximo del motor de 1800 rpm, primeramente se transforma las rpm en rev/seg y tenemos que el giro máximo del motor es 30 rev/seg; aplicando la fórmula para la obtención de frecuencia eléctrica tenemos que la frecuencia del generador es 60 Hz (Nasar 131 - 136).

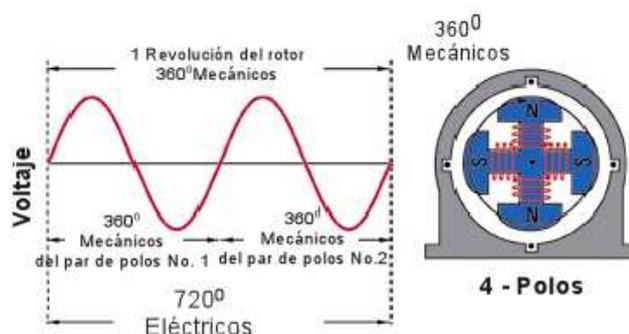


Figura 8 Representación gráfica de los grados mecánicos y eléctricos recorridos por los polos del rotor de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

1.2.2.2 Estator

Como su nombre lo indica, el estator permanece fijo en todos los generadores, consta de un núcleo de hierro y sus devanados, llamados devanados del estator o inducido, estos devanados se encuentran en ranuras a lo largo de la parte interna del estator, el campo magnético producido por el rotor, se corta en los devanados del estator a medida que gira dentro del mismo, como resultado los devanados de campo producen voltaje en los devanados del estator. El diseño del núcleo del estator y la distribución de los devanados permiten al generador proporcionar el voltaje de salida apropiado (Nasar 131 - 136).

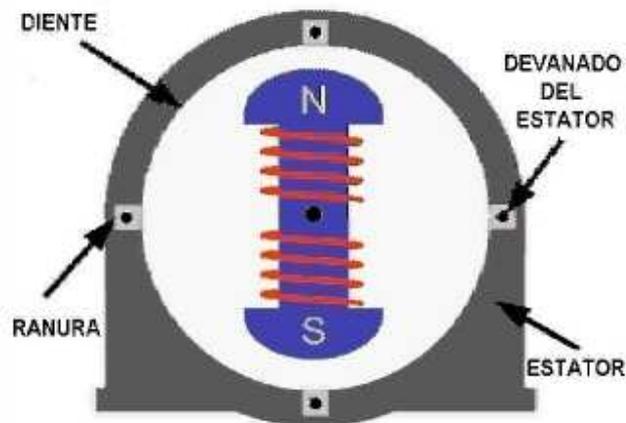


Figura 9 Gráfica de las partes del estator de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

El número de fases y el voltaje del generador dependen de las características y diseño del mismo, para que un generador sea trifásico, el estator consta de tres bobinas espaciadas 120 grados alrededor del mismo, lo cual produce tres voltajes con una diferencia de fase de 120 grados (Nasar 131 - 136).

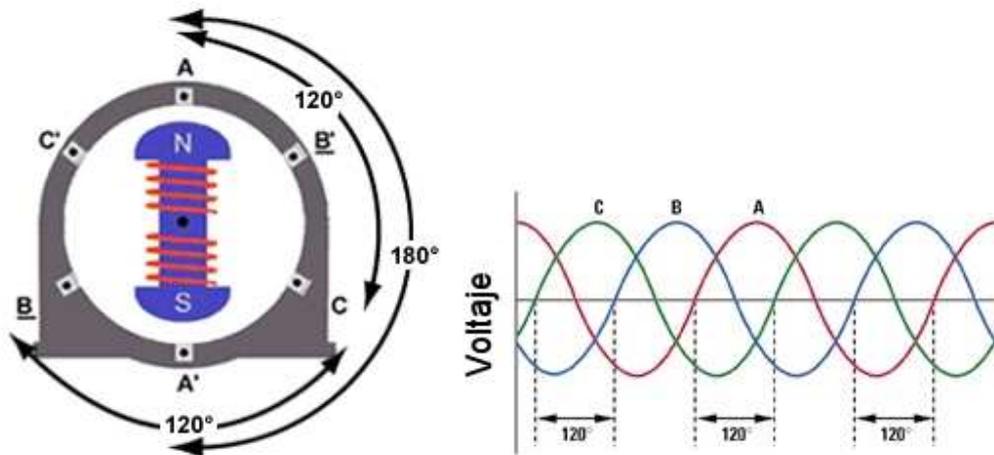


Figura 10 Gráfica las bobinas del estator de un generador sincrónico y grafica de los tres voltajes inducidos (Caterpillar 1 - 19)

La velocidad de movimiento relativo entre el campo magnético y los devanados del estator depende de la velocidad rotacional del rotor es decir de las rpm del motor. Las rpm del motor, la velocidad de movimiento relativa y el voltaje son proporcionales, a medida que las rpm se incrementan en el motor, dan como resultando un incremento en la velocidad de movimiento relativa y esto origina un aumento directo en el voltaje (Caterpillar 1 - 19).

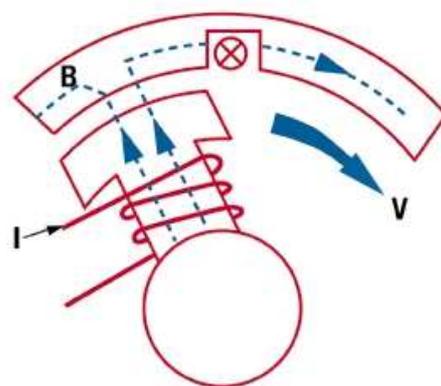


Figura 11 Gráfica de la velocidad de movimiento relativo entre el rotor y el estator de un generador sincrónico (Caterpillar 1 - 19)

1.2.2.3 Excitador

El campo es la parte rotaria de una máquina sincrónica y se alimenta por medio de un devanado excitado por corriente continua para producir el flujo magnético; esta excitación puede ser proporcionada por un generador de corriente continua autoexcitado y acoplado en el rotor de la máquina sincrónica, a este generador se lo conoce como excitador. En máquinas de baja velocidad con grandes capacidades como es el caso de los generadores de plantas hidroeléctricas, el excitador puede no estar autoexcitado, en lugar de esto un excitador piloto que puede estar autoexcitado o tener un imán permanente activa al excitador principal (Nasar 131 - 136).

1.2.2 Motor

Como se ha venido mencionando en capítulos anteriores, el motor es el encargado de realizar el giro del rotor dentro del estator mediante un acople mecánico entre ambos, con la finalidad de lograr la generación eléctrica en el generador (Nasar 3 - 18).



Figura 12 Gráfica de un motor generador a gas Waukesha (Dresser Waukesha)

1.2.3 Regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje (AVR) se utilizan para mantener al grupo electrógeno bajo condiciones óptimas de generación, esto se logra manteniendo el voltaje constante independiente de la carga conectada, actuando directamente sobre el sistema de excitación (excitatriz) aumentando o disminuyendo la cantidad de corriente continua de excitación en dicho campo (Turbomotores, AVR).

El regulador de voltaje esta básicamente constituido por una alimentación estática de potencia con un circuito rectificador controlado, un sistema modular de control y un sistema de arranque temporal, siendo todos los elementos estacionarios. Hay dos alternativas en el arranque, usar una fuente auxiliar de alimentación que funciona hasta alcanzar el 30 % del valor nominal por un corto periodo de tiempo o usar un puente rectificador de diodos de potencia que son activados por el voltaje remanente que queda almacenado en las bobinas del estator, y de igual manera actúa por un corto periodo de tiempo y luego es desconectado (Turbomotores, AVR).

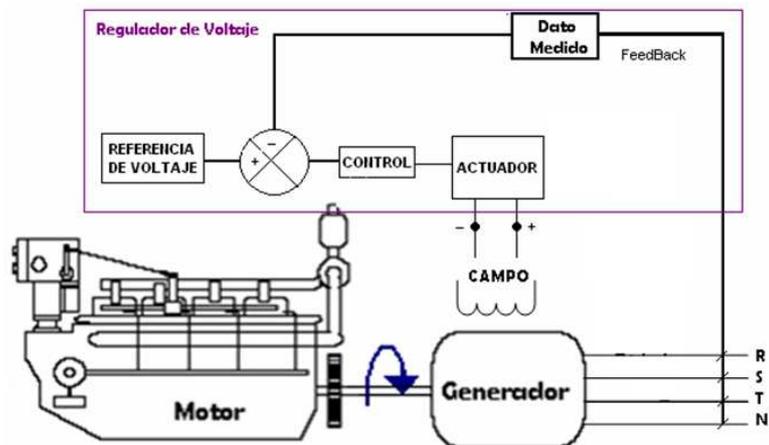


Figura 13 Funcionamiento del AVR en sistemas de excitación sin escobillas (Turbomotores, AVR)

Cuando la operación del generador se realiza en modo aislado, la función del regulador de voltaje es mantener el voltaje constante en una referencia dada por el usuario independiente de la carga conectada, la herramienta fundamental para realizar esto, es censar el voltaje de las líneas de generación. Aquí la carga es inversamente proporcional al voltaje, por lo tanto si la carga aumenta el voltaje tiende a disminuir por lo tanto la excitación de campo debe aumentarse y si la carga disminuye el voltaje tiende a aumentar por lo tanto la excitación de campo debe disminuirse (Turbomotores, AVR).

Cuando se requiere la operación en paralelo de varios grupos electrógenos, el momento de igualación de voltajes en cada generador no es posible, por ello se ha implementado medios fáciles de controlar el reparto de carga. Las corrientes que aparecen por el desbalance de voltaje lo controla el AVR por medio de circuitos de compensación de paralelismo llamado droop. Los circuitos de droop se encargan de cambiar los ajustes de voltaje para balancear la carga, por ejemplo si dos generadores operan en paralelo con un ajuste similar en el droop y ajustes de voltaje fijados para repartir proporcionalmente la carga reactiva, cualquier desbalance que incremente la carga en una máquina y reduzca en la otra causará que los circuitos de droop cambien el voltaje para balancear la carga (Turbomotores, AVR).

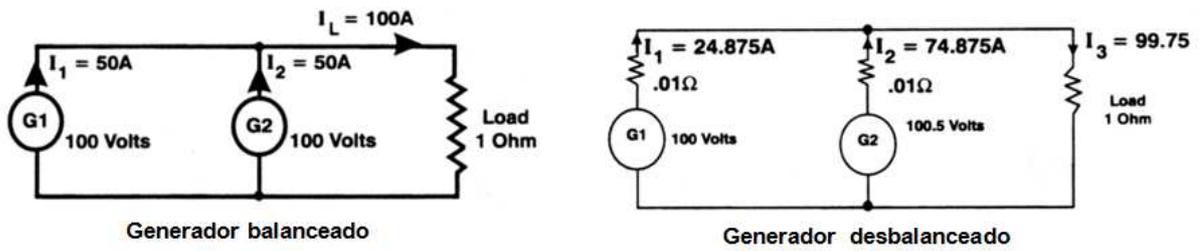


Figura 14 Generadores operando en paralelo (Turbomotores, AVR)

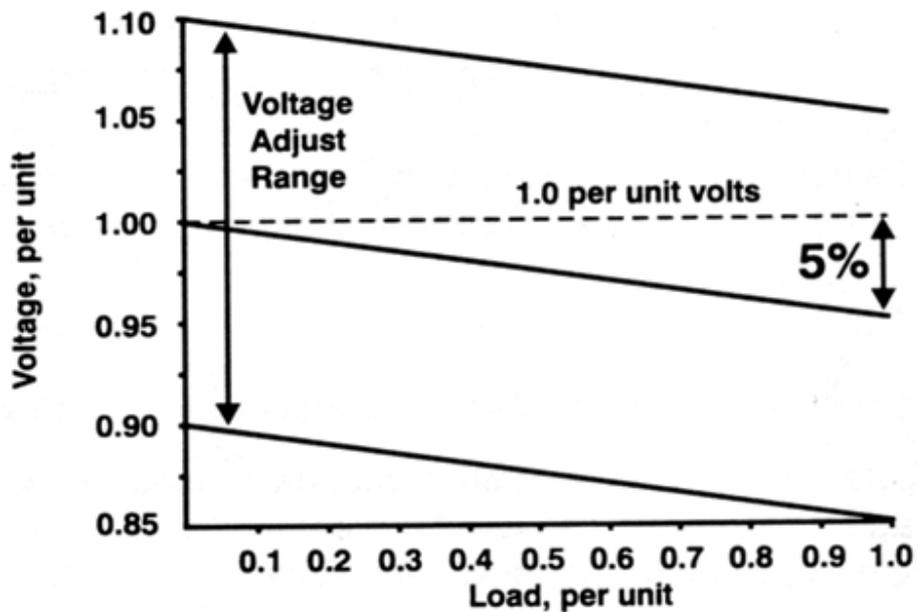


Figura 15 Gráfica de operación del droop (Turbomotores, AVR)

1.2.5 Regulador de velocidad

El control de velocidad es necesario porque controla los recursos de potencia para convertirlos en fuerza útil. El control de velocidad esta dado por un equipo que controla la entrada de energía para una unidad motriz a fin de obtener una determinada potencia, este equipo recibe la información de velocidad y carga de la unidad motriz y ajustando la entrada de energía para mantener un nivel deseado

para una determinada aplicación; este equipo puede controlar múltiples parámetros y unidades motrices (Turbomotores, Gobernadores).

A continuación se detalla el funcionamiento del regulador de velocidad en carga constante, el control de velocidad compara la velocidad real con la deseada, si son iguales, la inyección de combustible permanece estable, el trabajo del control de velocidad es ajustar la inyección de combustible para mantener la velocidad deseada y real iguales (Turbomotores, Gobernadores).



Figura 16 Representación gráfica de un sistema de control velocidad en carga constante
(Turbomotores, Gobernadores)

En el caso cuando aumenta la carga, la velocidad disminuye por lo tanto la velocidad real es menor a la deseada y entra a actuar el control de velocidad aumentando la inyección de combustible hasta llegar a la velocidad deseada, pero antes de alcanzar esta velocidad el controlador disminuye la inyección de combustible para que esta no supere la velocidad deseada, a esto se lo llama compensación (Turbomotores, Gobernadores).

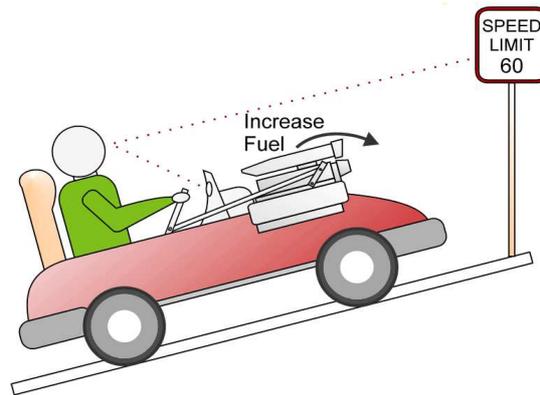


Figura 17 Representación gráfica de un sistema de control velocidad en aumento de carga
(Turbomotores, Gobernadores)

Cuando disminuye la carga, la velocidad aumenta por lo tanto la velocidad real es mayor a la deseada y entra a actuar el control de velocidad disminuyendo la inyección de combustible hasta llegar a la velocidad deseada (Turbomotores, Gobernadores).

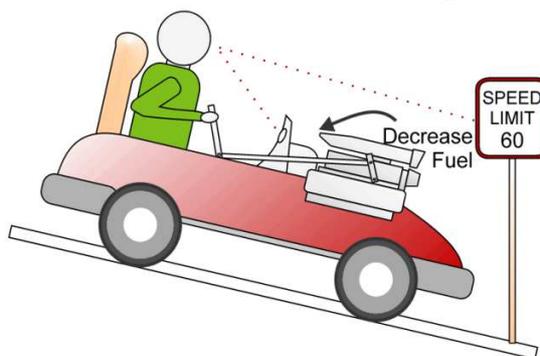


Figura 18 Representación gráfica de un sistema de control velocidad en disminución de carga
(Turbomotores, Gobernadores)

Otra característica adicional de un controlador de velocidad es el droop o también conocido como compensación mecánica, la función del droop es una retroalimentación en el controlador para aumentar o disminuir la velocidad de

referencia, es la caída de velocidad proporcional al aumento de carga. La siguiente fórmula es necesaria para realizar el cálculo del % de droop y configurarla en el controlador de velocidad (Turbomotores, Gobernadores).

$$\% \text{ Droop} = \frac{\text{Velocidad (0\% de carga)} - \text{Velocidad (100\% de carga)}}{\text{Velocidad Nominal}} \times 100$$

Los elementos básicos para el control de velocidad son: sensor de velocidad, referencia de velocidad, punto de sumatoria, método de estabilización, alimentación de presión hidráulica, salida del Servo y amplificador (Turbomotores, Gobernadores).

El punto de sumatoria es donde todas las señales de control son adicionadas, la sumatoria de todas estas señales debe dar cero para mantener un control estable (Turbomotores, Gobernadores).

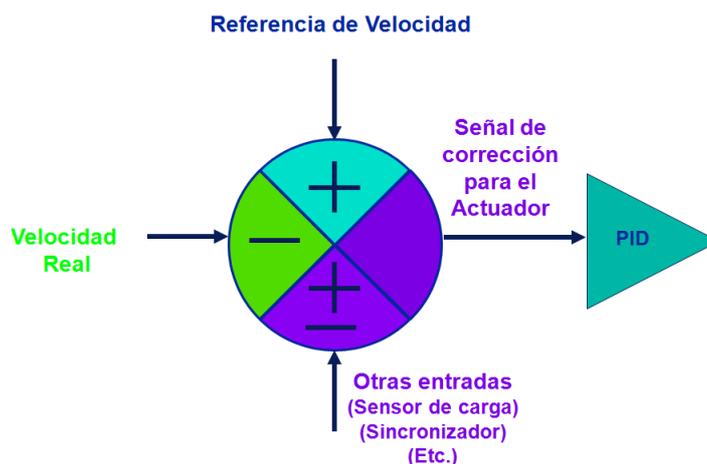


Figura 19 Representación gráfica del punto de sumatoria del control velocidad (Turbomotores, Gobernadores)

La velocidad real es convertida en una señal de tensión DC, proporcional a la velocidad del motor, entonces es comparada la velocidad de referencia con la velocidad actual y una señal de error es generada si la velocidad actual y la velocidad de referencia fueran diferentes, entonces envía un aumento o reducción de combustible al actuador. El sensor de velocidad es conocido como pick up magnético que se encarga de censar la velocidad de rotación del volante del motor y envía una señal de voltaje DC que se comparará con la velocidad de referencia que se configuro. El actuador es un componente que puede ser mecánico, electromecánico, o electrónico ubicado del lado del motor que recibe las ordenes del regulador de velocidad para controlar el paso de combustible del motor (Turbomotores, Gobernadores).

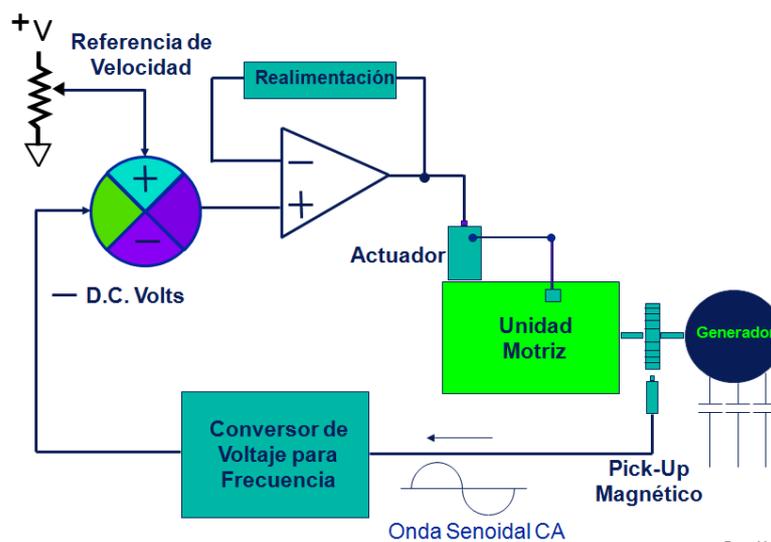


Figura 20 Representación gráfica del sistema de control de velocidad (Turbomotores, Gobernadores)

Capítulo 2: Diseño e implementación del tablero de control

2.1 Planteamiento del problema

En el mes de Octubre del año pasado la empresa ENAP – SIPETROL abrió una licitación para la instalación y puesta en marcha de dos grupos electrógenos en el campo MDC ubicado en la joya de los sachas provincia de Orellana. La empresa Turbomotores Ecuatorianos concursó en esta licitación y la ganó ya que presentó la mejor propuesta de todos los concursantes.

Los requerimientos de la licitación fueron que los nuevos grupos electrógenos cumplan con características de potencia y control eléctrico similares a los grupos electrógenos instalados en el campo MDC. Los grupos electrógenos instalados son a gas de marca Waukesha y los generadores presentan las siguientes características: 1500 KVA, 480 VAC, 60 Hz, $F_p = 0.8$

2.2 Diseño del tablero de Control

El espacio máximo que se tiene en la casa de fuerza para el montaje de un tablero es de 4 metros de largo, por 1.8 metros de ancho y 2.33 metros de alto. De acuerdo a estas condiciones se diseñó el tablero para el control eléctrico de los dos grupos electrógenos.

Primeramente se analizó la carga máxima del tablero de control instalado que alberga a los 4 grupos electrógenos. De los datos de cada grupo electrógeno

sabemos que el alternador tiene las siguientes características: 1500 KVA, 480 VAC, 60 Hz, $F_p = 0.8$, con esta información se obtendrá la carga máxima que puede generar cada alternador así:

$$P = 1500 \text{ KVA}$$

$$V = 480 \text{ VAC}$$

$P = V \times I \times \sqrt{3}$, por lo tanto la corriente es:

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3}}$$

$$I = \frac{1500000}{480 \times \sqrt{3}}$$

$$I = 1804.22 \text{ amperes}$$

Cada alternador por lo tanto puede generar un máximo de 1804.22 amperes, si esta corriente se multiplica por el número total de generadores que son 4 tenemos:

$$I = 1804.22 \text{ amperes} \times 4 \text{ generadores}$$

$$I = 7216.88 \text{ amperes}$$

Por lo tanto la corriente máxima que se tiene en la caja de barras del tablero de control instalado es 7216 amperios, de acuerdo a esta carga se diseñó el primer cubículo del nuevo tablero, ya que para la interconexión entre los dos tableros se necesitaba un breaker de 8000 amperios de capacidad normal de funcionamiento; sin embargo la empresa ENAP – SIPETROL por motivos técnicos, ya que su sistema de barras de distribución no estaba en condiciones óptimas, migraron el breaker de

acoplamiento entre generador 4 y su sistema de barras a nuestro tablero específicamente al modulo 1.

De acuerdo a este nuevo cambio la carga neta ahora es de 5413 amperios de acuerdo a la formula antes usada, de acuerdo a este cálculo se pudo establecer el breaker que se debería usar. En el contrato se estipuló que todos los breaker instalados en el tablero deben ser de marca ABB; es por ello que para la interconexión se uso un breaker extraíble de 6300 amperios marca ABB tipo EMAX E6H, de acuerdo a las medidas obtenidas del manual del breaker, se decidió que el primer cubículo tenga un ancho máximo de 1.1 metros, por la migración del breaker de acoplamiento del generador 4 con la caja de barras del nuevo tablero, se decidió instalar un breaker de 2000 Amperios marca ABB del tipo E2N en el mismo cubículo encima del breaker de interconexión entre las cajas de barras nueva y antigua.

Según el contrato, el siguiente modulo debería contener el breaker de acoplamiento entre el generador 5 y la caja de barras del tablero nuevo con un feeder de 2000 amperios en el mismo modulo, del cálculo realizado anteriormente se sabe que la carga neta que puede brindar el generador es de 1824 amperios por lo tanto se decidió instalar dos breaker extraíbles ABB de 2000 amperios del tipo E2N, que de acuerdo a las medidas obtenidas del manual del breaker, se definió para que el segundo cubículo tenga un ancho máximo de 0.9 metros.

De la misma forma para el tercer modulo siguiendo los lineamientos del contrato, este modulo debería tener el breaker de acoplamiento del generador 6 con la caja de barras del nuevo tablero, por lo tanto el breaker indicado al igual que los anteriores

generadores es de marca ABB del tipo E2N de 2000 amperios, y un breaker de 6300 amperios destinado para conexión posterior de un trafo con relación de transformación 480 VAC / 13800 VAC, por lo tanto para este tercer se definió una medida idéntica al primer modulo del tablero es decir 1.1 metros.

Por último en el cuarto cubículo según el contrato se debía dejar la parte fija de un breaker para un séptimo generador y un feeder de 2000 amperios por esto se usó un breaker de 2000 amperios de marca ABB del tipo E2N.

Todos los breaker destinados para los generadores fueron instalados en la parte superior de cada cubículo, ya que los cables de alimentación que salen de los generadores, se encuentran en las bandejas transportadoras de cable que ingresan por la parte superior de la casa de fuerza y se introducen por el techo del tablero para la interconexión con el breaker de cada generador.

Todos los feeder fueron instalados en la parte inferior de los módulos del tablero, según el orden antes mencionado ya que los cables de fuerza usados para la distribución de esta carga vienen subterráneamente, ingresando por la parte inferior de cada modulo del tablero hacia los feeders instalados. El tablero fue construido por la empresa T - Control bajo las normas nema 12 equivalente a IP55, es decir son tableros protegidos contra la entrada del polvo y contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones cuyas paredes tienen un espesor máximo de 3 mm, realizadas en acero galvanizado.

En el anexo 1 se detalla el plano del tablero de control diseñado según las especificaciones mencionadas anteriormente.

2.3 Diseño y construcción de la caja de barras del tablero de

Control

Una vez definida la ubicación exacta de cada breaker de los tres generadores y de los feeders que se van a instalar en el nuevo tablero de control, se procedió a la instalación de las partes fijas de los mismos, para establecer la posición exacta de la caja de barras de distribución principal, en la parte posterior del tablero ensamblado con los cuatro módulos.

Dado que en el tablero se van a instalar 4 grupos electrógenos, la caja principal de barras debe soportar una carga máxima de 7216 amperios (los cálculos se detallan en la sección anterior), por tanto la caja principal de barras se diseño para que soporte una carga máxima de 8000 amperios.

Las barras de cobre son diseñadas para soportar un máximo de corriente de acuerdo al ancho y espesor de su construcción; a continuación se detalla el amperaje máximo que soportan las barras individualmente y las medidas de las mismas. Esta información se detalla como el anexo 2 en una tabla realizada por la Cooper Development Association.

Tamaño en pulgadas de la barra de Cu	Amperaje máximo proporcionado
3/8" x 4"	2000 amperios
3/8" x 3"	1500 amperios
3/8" x 2"	1000 amperios

La caja principal de barras entonces se formo con 4 barras de 3/8" x 4" por fase soportando una carga máxima de 8000 amperios por fase. Después de definir las barras que se conformarían la caja de barras principal, se procedió a realizar el diseño de soportes para estas barras, para el caso de que se provocara un cortocircuito estas barras soporten los efectos mecánicos que se dan cuando ocurre esta falla eléctrica. Cuando ocurre un cortocircuito en cualquier caja de barras, por la temperatura elevada que produce esta falla en el cobre; ya que la corriente tiende a valores extremadamente altos, las barras comienzan a experimentar vibraciones estrepitosas, que pueden conllevar a al roce entre fases y esto produciría un cortocircuito de mayor amplitud y por lo tanto puede ocasionar daños irremediables en la caja de barras o en el tablero de control en general.

Todos los breaker usados para el acoplamiento entre los generadores y la caja de barras principal según sus características técnicas, soportan una corriente de cortocircuito máxima de 65000 amperios, basándose en esta característica se procedió a diseñar los soportes aislantes entre cada una de las fases para que soporten los efectos mecánicos de esta corriente de cortocircuito.

Primeramente se definió el tipo de soporte aislante a usar para la protección de las barras, powermat es una de muchas empresas que se dedican a la elaboración de aisladores de distintas formas y tamaños que cumplen con estándares internacionales en la elaboración de sus productos. En el anexo 3 se detalla las revisiones internacionales realizadas a los aisladores elaborados por Powermat.

El producto que cumple con las características del diseño, es el soporte modular powermat que se detalla a continuación.

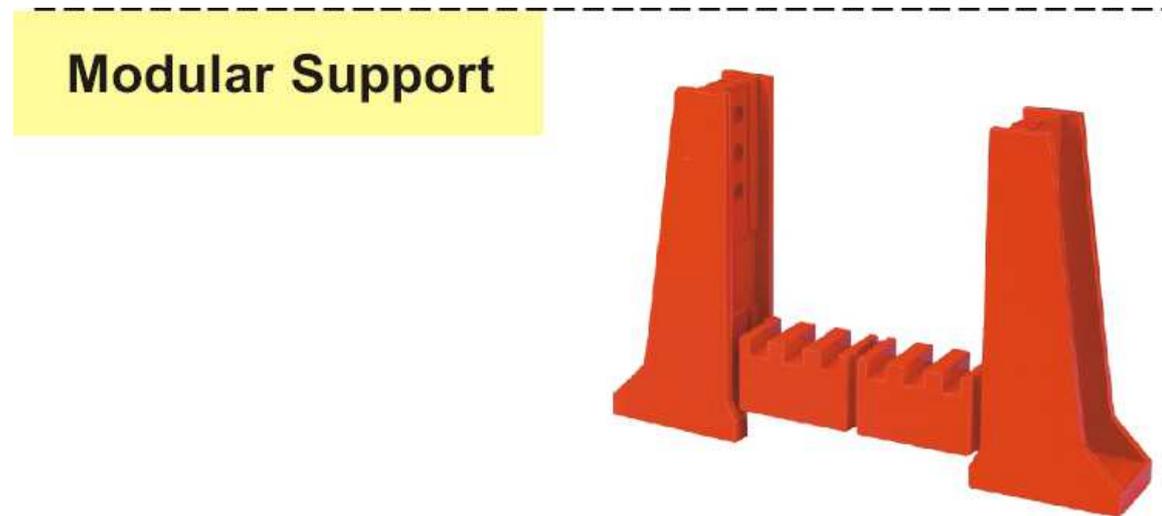


Figura 21 Gráfica del soporte modular powermat usado en la caja de barras (Powermat)

Ya definido el soporte aislado que se va a usar en la caja de barras, se procedió a construir el sistema de soportes metálicos necesarios para soportar el peso total de la caja de barra a instalarse, este sistema de soportes son de tipo angular de hierro de 6 mm de espesor. Se utilizaron estos soportes angulares con estas características para soportar un peso total de 1200 lb, de acuerdo a la tabla del anexo 2 una barra de 3/8" x 4" tiene un peso promedio de 5.8 lb / pie, cada barra tiene una longitud de 4 metros, lo cual nos da un peso por barra de 76.12 lb por barra y el conjunto de las barras un peso total de 913.44 lb. Estos soportes se anclaron directamente a la estructura del tablero después de ser puestos una base de anticorrosivo y ser pintados con laca para metal del color ral 7032, con tornillos

de acero inoxidable de 3/8" x 1 1/2", 2 arandelas planas 1 arandela de presión y su respectiva tuerca.

Ya armada la estructura de soportes metálicos se procedió a ensamblar los soportes modulares powermat para la colocación de las barras dentro de los mismos. De acuerdo a los manuales powermat estos soportes tienen que tener una separación máxima a lo largo de las barras de 25 cm para proteger a las mismas de los efectos de una corriente de cortocircuito máxima de 65000 amperios en el lapso de 1 segundo. En el anexo 4 se detalla esta tabla.

De acuerdo a la disposición de los breaker y las barras que se usaron para la interconexión de de los breaker con la caja de barra principal, los soportes se tuvieron que adaptar a la disposición de las barras de interconexión entre los breaker y la caja de barras principal, dando como resultado una separación máxima a lo largo de las barras de 32 cm entre los soportes modulares, y una separación mínima de 20 cm, cumpliendo con lo requerido. Adicionalmente para brindar una protección total del sistema de barras, se colocaron fundas termocontraíbles con un nivel máximo de aislamiento de 1000 voltios / mm² con código de colores, donde el negro representa la fase A, el rojo la fase B y el azul la fase C.

Los feeders de 6300 amperios fueron conectados con la caja de barras principal con el uso de 4 barras de 1500 amperios (3/8" x 3") por fase y en el caso de los breaker de los generadores se usaron 2 barras de 1500 amperios (3/8" x 3") por fase, se dio esta distribución por la el tamaño y forma de los conectores de las

cajas fijas de los breaker y por el espacio que se tiene en los módulos del tablero. En el caso de los feeders de 2000 amperios, en todos se usaron barras de 2000 amperios (3/8" x 2") por las condiciones de espacio en los módulos del tablero. A continuación se da una fotografía de la caja de barras terminada. En el anexo 5 se detalla el plano de la caja de barras.



Figura 22 Foto de la caja de barras del tablero de control terminada

2.4 Diseño e implementación del circuito de control y protecciones eléctricas

Antes de comenzar con la explicación del circuito de control, se dará la definición de un sistema eléctrico de potencia:

Un sistema eléctrico de potencia es un sistema que lo conforma todas las unidades integradas que se encuentran desde la generación hasta el consumo, en el cual se manejan y controlan las diferentes variables para obtener energía eléctrica de calidad que cumplan con las normas existentes hoy en el mundo.

La empresa Turbomotores Ecuatorianos tiene la representación Woodward para el Ecuador, en trabajos anteriores se había venido trabajando con el administrador energético easyGen 3200 por su versatilidad y fácil manejo, este equipo tiene la principal cualidad de monitorear todo el sistema, primeramente cuenta con entradas digitales usadas para monitorear las variables del motor entre las más importantes nombraremos: los niveles del agua y los niveles de aceite.

El motor tiene dos tipos de señales que envía a nuestro administrador energético una es de alarma y la otra es el shut-down. El administrador cuenta por tanto con salidas digitales las cuales se encargan de realizar una acción cuando un evento ocurre en el sistema en el caso anterior puede mandar una señal a la computadora del motor para apagarlo inmediatamente y evitar daños en el mismo.

El administrador energético censa en todo momento el voltaje y la corriente, mediante entrada destinadas a ese fin, el voltaje máximo que se puede conectar en el equipo sin necesidad del uso de un transformador de potencial es 600 VAC y para el monitoreo de la corriente con un máximo de 5 amperios, es decir siempre se va a requerir un transformador de corriente cuya transformación del primario al secundario nos dé un máximo de corriente de 5 amperios.

Por último cuenta con entradas y salidas analógicas, las entradas analógicas son usadas para el monitoreo de sensores del sistema en general, para el monitoreo de estas entradas, se usa un transductor para que al administrador lleguen

netamente señales de corriente o resistivas. Las salidas analógicas son usadas esencialmente para el control del regulador de velocidad y de voltaje, estas señales son conocidas como voltage-bias y speed-bias, estas señales actúan directamente en el regulador de voltaje y en el regulador de velocidad para mantener el sistema estable.

De acuerdo a la experiencia con este administrador energético, este es el más adecuado para nuestro proyecto, el único inconveniente de este equipo es que el tendido de cables hacia la bornera del mismo es muy engorroso ya que se debe dirigir los mismos hacia la puerta del modulo donde se encuentra instalado el equipo, por esta razón se escogió otra alternativa, un administrador energético que igual pero que tiene su display separado para realizar una instalación en el mismo doble-fondo del modulo del tablero y evitar el tendido de cable hacia la puerta del módulo.

Este administrador energético es el easyGen 3100 con su modulo montable en el doble fondo y un display que se comunica al mismo por medio de comunicación can bus. A continuación se detalla el esquema de conexión básico del administrador energético utilizado para realizar el circuito de conexión:

tanto estos transformadores son instalados en el estator y en las líneas de entrada del generador en el tablero de control, seis en total por motor. Por último el CSP2 – T como se encarga del control de cierre y apertura de los breaker frente a una falla eléctrica, ya que esta monitoreando el sistema permanentemente y detecta si hay presencia de fallas que el breaker no percibe ya que el breaker fue diseñado únicamente para actuar frente a un cortocircuito o sobre-corriente. A continuación se detalla el esquema de conexión básico del relé de protección utilizado para realizar el circuito de conexión:

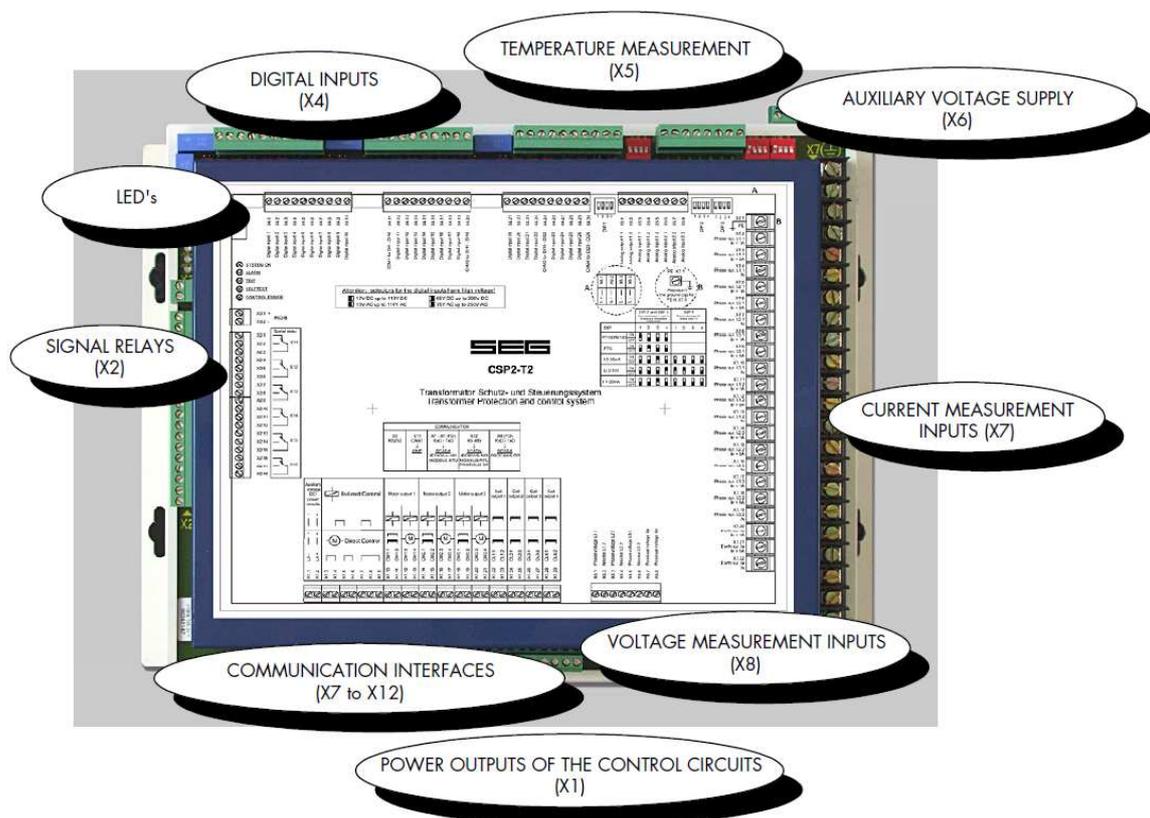


Figura 24 Gráfico de la distribución de pines del relé de protección CSP2 - T (Woodward)

En este capítulo se ha explicado brevemente las conexiones y los equipos en general, ya que en el capítulo siguiente antes de explicar cómo se realiza la

programación, hay que identificar muy bien todos los terminales de estos equipos para poder realizar el programa; sin embargo este ha sido un capítulo introductorio de los equipos usados en el circuito de control.

Después de estudiar los manuales de cada equipo a detalle, se procedió a realizar el circuito de control eléctrico del sistema de acuerdo a las características del sistema y requerimientos del cliente. El plano del circuito fue elaborado de acuerdo a la norma NEMA, todos los dispositivos eléctricos dibujados en el circuito, están referidos a la norma NEMA.

Los planos tienen dos partes:

Parte de Fuerza, donde se encuentran el censado de voltaje y corriente del sistema de barras, los elementos eléctricos que intervienen son los CT's o transformadores de corriente y los PT's o transformadores de potencial. A continuación se detallan las conexiones.

Se debe realizar las conexiones del mains en el easyGen, para censar y simular el voltaje que ingresa desde la empresa eléctrica, la conexión del buss-bar en el easyGen que monitorea el estado de la barra principal y que es la señal que sirve para la sincronización de varios grupos electrógenos. En el regulador de voltaje se realiza la conexión directa de la barra para el censado de voltaje, la conexión de la excitatriz y del imán permanente según el manual estudiado del regulador de voltaje Basler DECS-100, también se conecta la señal del speed-bias desde el easyGen que se encarga del control automático de voltaje como se explico en el funcionamiento de un regulador de voltaje discutido en el primer capítulo.

La conexión del censado de voltaje desde la barra principal hacia el relé de protección esta dado por medio de un PT, ya que al relé solo puede entrar un voltaje máximo de 220 volts. En el caso de los breaker cada breaker tiene un PT de servicios auxiliares, para activar las bobinas de cierre apertura y disparo frente a una falla, todas estas bobinas son activadas por un voltaje máximo de 220 VAC, es por ello la necesidad de un PT.

El censado de corriente como se dijo, dadas las características del alternador es del tipo diferencial, por lo tanto tres CT's están del lado del estator y tres del lado de generador en la caja de barras principal, para observar la presencia de fallas en la dirección de la corriente. Las conexiones en el tablero se realizan de la siguiente forma:

Los CT's del generador son censados por el easyGen, CSP2 T y el breaker del generador, haciendo una conexión en serie; el primario de los CT's se conecta en la bornera de conexión del primario del easyGen, de la bornera de conexión del secundario del easyGen se dirige la conexión a la bornera de conexión del primario del CSP2 – T, a s vez desde la bornera de conexión del CSP2 – T del secundario se conecta a la bornera de conexión del primario del breaker y por último la bornera de conexión del secundario del breaker se conecta al secundario de cada CT y se lo envía a tierra para cerrar al circuito.

Ahora se va a explicar la parte de control del circuito, que consta de los relés de control para el ciclo de encendido del motor, para cerrar el breaker automáticamente cuando hay sincronización entre dos o más generadores con la

barra principal y para encender las luces piloto que dan información acerca del estado del breaker y del generador.

Estos relés son controlados por el easyGen, son 5 alarma, start, run-stop, close-gcb, open-gcb. Todos estos relés actúan por medio de una bobina de 24 VDC, de acuerdo a la programación del easyGen estos relés van actuando, el primer relé se activa cuando hay alguna alarma en el easyGen cualquiera sea esta, los dos siguientes siguen el ciclo de encendido del motor (start y run-stop) y se activan en el arranque del motor, close-gcb se activa cuando el breaker del generador se acopla con la barra principal o se sincroniza cuando hay dos o más generadores en paralelo. El relé open-gcb se activa cuando el breaker va salir de funcionamiento es decir cuando se va a parar un generador o cuando por motivos de una falla y automáticamente se desacoplo de la barra principal. El sexto relé es controlado por el CSP2 - T, es el trip gcb, este relé se activa cuando hay fallas, si el CSP2 – T observa una falla, inmediatamente activa este relé para provocar una apertura en el breaker del generador. Y por último dependiendo de cada motor, se conectan todas las señales necesarias en el easyGen para controlar las variables del motor (niveles de presión, temperatura, etc).

Los planos se encuentran detallados en el anexo 7.

2.5 Comisionados del sistema eléctrico

2.5.1 Definición de Comisionado:

Es el proceso de asegurar que todos los sistemas y componentes de un proyecto (diversas disciplinas) estén diseñados, instalados, probados, operados y mantenidos de acuerdo a normas internacionales y requerimientos operacionales acordados con el cliente final.

Dentro de un Comisionado se debe incluir los siguientes puntos

- Revisión de los documentos de ingeniería
- Auditar todas las etapas de construcción y montaje
- Auditar la puesta en marcha y las pruebas finales
- Asegurar el entrenamiento del personal de Operación y Mantenimiento.

Para la evaluación integral del sistema de potencia primero se realizo una prueba con cada equipo por separado. Se comisiono todos los componentes del MCC por completo, además de cada componente que puede inferir en la operación del equipo.

Dentro del MCC se encuentra integrado con equipos a comisionar

- Interruptores
- Sistemas de Barras
- Transformadores de Potencial
- Transformadores de Corriente
- Cables de fuerza
- Cables de control

- Planos e ingeniería de detalle

Para ejecutar este requerimiento se tiene a disposición equipo sofisticado para garantizar el correcto funcionamiento de cada dispositivo que va a entrar en funcionamiento. A continuación una descripción de equipos para comisionado de la marca Megger.

2.5.2 Descripción Equipo

2.5.2.1 MIT 1022:

El MIT "Microprocessor Insulation Tester" es un equipo que permite medir el nivel de aislamiento en equipos por ejemplo: fases breaker, megohmetro de cables, para ello induce un voltaje de hasta 10kV, y determina la resistencia que ofrece el material de prueba



Figura 25 Gráfico del equipo de medición de aislación MIT 1022 (Megger)

Objetivo: Con esto se intenta comprobar el aislamiento de cable a diferentes voltajes, se estipula un buen aislamiento de suscritos de acuerdo las normas internacionales

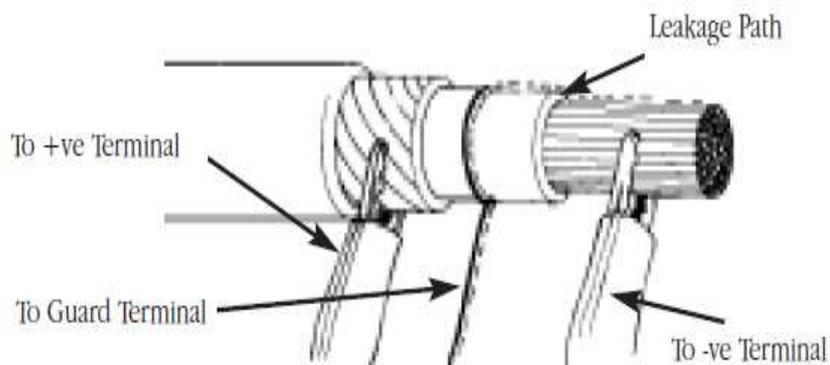


Figura 26 Gráfico de la prueba de aislamiento en un cable (Megger)

2.5.2.2 TTR 310 :

El TTR “Transformer Turn Ratio” es un equipo que permite comprobar el estado de los transformadores de tensión (PTs) y Transformadores de Corriente (CTs) a partir de la relación de transformación de los mismos.



Figura 27 Gráfico del equipo de medición de relación de transformación de transformadores TTR 310 (Megger)

Objetivo: La prueba permite a diferentes valores de tensión en un bobinado, registrar la corriente de excitación en el otro bobinado. Como consecuencia del registro de estos pares se obtiene una relación de transformación la cual se debe aproximar lo suficiente como especifique el fabricante al valor teórico. Además se obtendrá la curva de saturación del transformador.

Precisión (Accuracy). Es la relación en porciento, de la corrección que se haría para obtener una lectura verdadera. El ANSI C57.13-1968 designa la precisión

para protecciones con dos letras C y T. "C" significa que el porcentaje de error puede ser calculado, y esto se debe a que los devanados están uniformemente distribuidos, reduciendo el error producido por la dispersión del flujo en el núcleo. "T" significa que debe ser determinado por medio de pruebas, ya que los devanados no están distribuidos uniformemente en el núcleo produciendo errores apreciables.

El número de clasificación indica el voltaje que se tendría en las terminales del secundario del TC para un burden definido, cuando la corriente del secundario sea 20 veces la corriente nominal, sin exceder 10% el error de relación.

Burden o Potencia Nominal de un Transformador de Corriente. Es la capacidad de carga que se puede conectar a un transformador, expresada en VA o en Ohms a un factor de potencia dado. El término "Burden" se utiliza para diferenciarlo de la carga de potencia del sistema eléctrico. El factor de potencia referenciado es el del burden y no el de la carga.

Polaridad. Las marcas de polaridad designan la dirección relativa instantánea de la corriente. En el mismo instante de tiempo que la corriente entra a la terminal de alta tensión con la marca, la corriente secundaria correspondiente está saliendo por la terminal marcada.

Capacidad de Corriente Continua. Es la capacidad de corriente que el TC puede manejar constantemente sin producir sobrecalentamiento y errores apreciables. Si la corriente del secundario de un transformador de corriente está entre 3 y 4

amperes, cuando la corriente del primario esta a plena carga, se dice que el transformador está bien seleccionado.

Relación de transformación: Es una característica constructiva del transformador, la cual expresa la relación del numero de vueltas en el devanado de alto voltaje respecto al lado de bajo voltaje.

Corriente de Excitación: Es la corriente total en vacío en el núcleo, y se compone de la suma de la corriente de magnetización y la corriente por pérdidas en el núcleo. (El TTR 310 cuenta con una resolución de 0,1mA)

Desviación del ángulo de Fase: Es la relación angular de fases entre la señal de voltaje aplicado al lado de alto voltaje respecto al de baja de un transformador. (El equipo cuenta con una resolución de 1/600 parte de un grado).

- **Conexión para PT's**

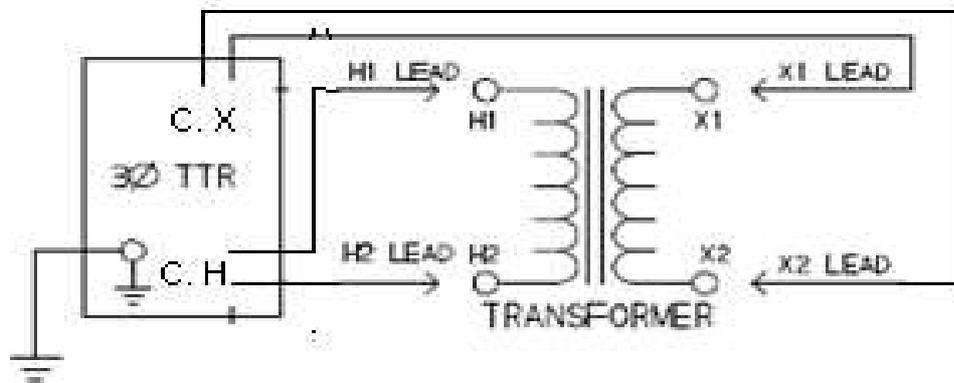


Figure 5-1. Setup for Testing Single-Phase Transformer

Figura 28 Gráfico de las conexiones para la realización de la prueba de relación de transformación en un PT (Megger)

- **Conexión para CT's**

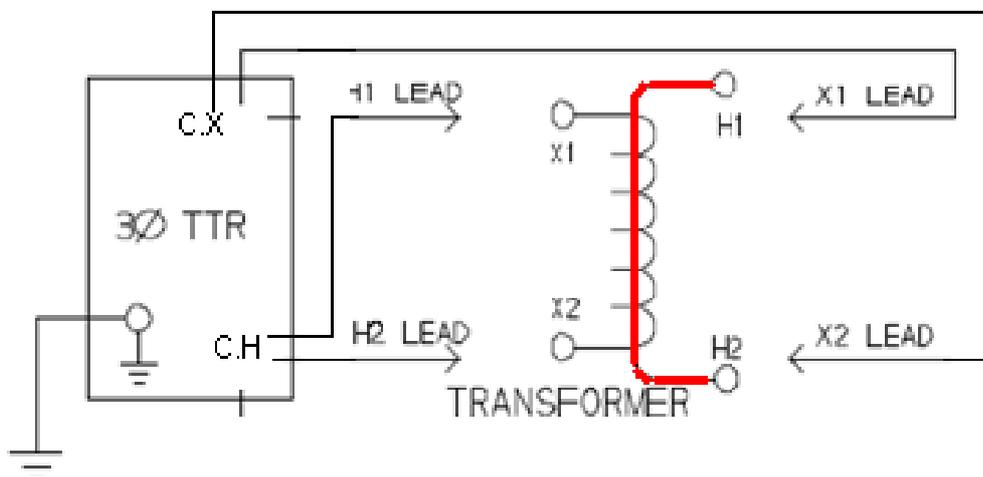
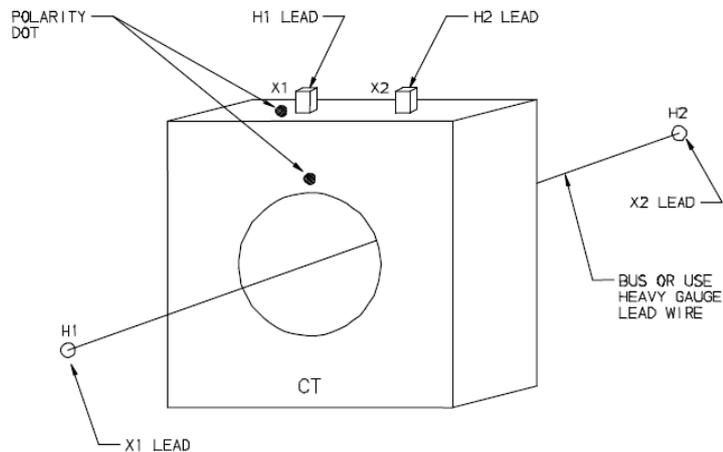


Figura 29 Gráfico de las conexiones para la realización de la prueba de relación de transformación en un CT (Megger)



NOTE: TEST PER DIAGRAM NO. 1 FOR ANSI,
 CEI/IEC & AUSTRALIAN STANDARDS

Figure 4-5. Setup for Testing Unmounted Current Transformer

Figura 30 Gráfico de las conexiones para la realización de la prueba de relación de transformación en un CT (Megger)

2.5.2.3 EGIL:

EL EGIL “circuit breaker analyzer”, sirve para determinar los tiempos de respuesta en la maniobra de cierre apertura de un breaker, y se determina en cada fase.

Los tiempos cortos, dentro de las especificaciones del fabricante del breaker, determinan un buen funcionamiento del mismo, ya que se evita la destrucción de las partes mecánicas debido a la enorme potencia eléctrica que se maneja.

EGIL



Figura 31 Gráfico del equipo analizador de breaker EGIL (Megger)

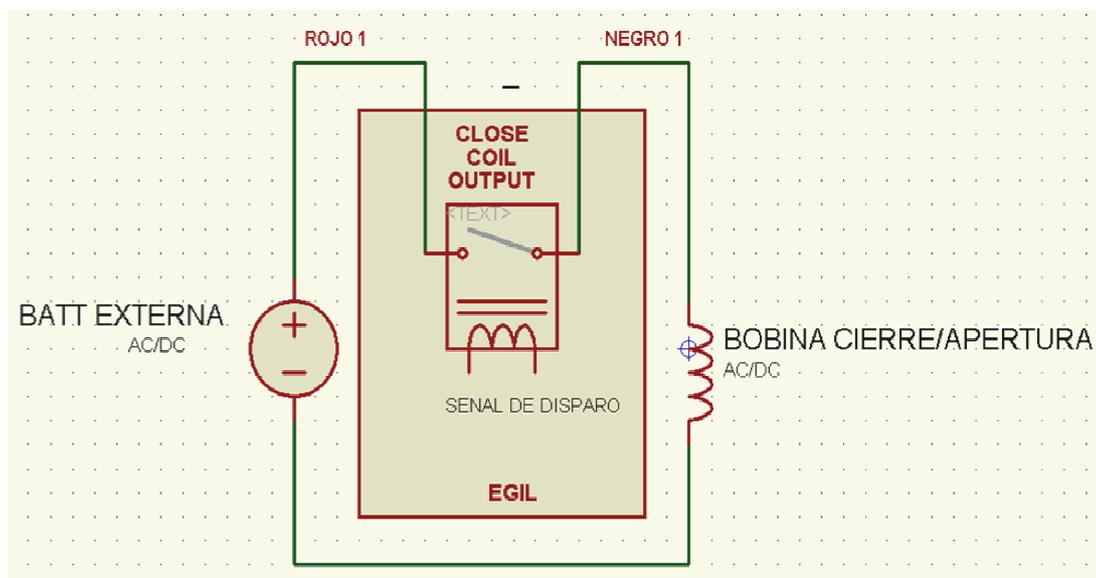


Figura 32 Gráfico de las conexiones para la realización de pruebas en el breaker (Megger)

2.5.2.4 Digital Low Resistance Ohmmeter:



Figura 33 Gráfico del óhmetro de baja resistencia DLRO (Megger)

El “Digital Low Resistance Ohmmeter” (Óhmetro digital de baja Resistencia) permite medir resistencias con una precisión desde $0,1 \mu\Omega$ hasta 10ohm en altas corrientes. Para ello el equipo puede proveer corrientes desde 10 hasta 200 Amperios, usando la técnica de 4 terminales para cancelar el efecto de impedancia de las puntas.

Esta prueba indicara cuan cerca se encuentra el interruptor en la práctica de la característica de contacto ideal (Resistencia=0)

Resistencia óhmica: es la propiedad de un conductor por la cual el paso de corriente eléctrica a través de este se opone, causando que la energía eléctrica se transforme en energía calorífica. Se la mide en ohm Ω .

Ohm Ω : es la unidad de resistencia eléctrica en el sistema internacional, definido como la resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante es aplicada entre estos puntos produce en el conductor una corriente de un Amperio.



Figura 34 Gráfico de la conexión para las pruebas de resistencia en un conductor (Megger)

2.5.2.5 DDA 6000:

Equipo del fabricante Megger utilizado para Inyectar corrientes de cortocircuito de hasta 100KA, siendo posible realizar pruebas de apertura en breaker por sobre corriente y opcionalmente pruebas de corriente de cortocircuito en barras de un switchgear.

LCD: Es un acrónimo de Liquid Crystal Display, Display de cristal líquido. En el DDA está pantalla permitirá la interacción con el equipo.

SCR: Rectificador controlado de Potencia, encargado de realizar el control del ángulo de disparo para la prueba, permitiendo así un control de la onda en el orden de los microsegundos.

AT-1: Es un transformador utilizado para alimentar el equipo DDA 6000 con 460v@350A, tomando diferentes niveles de voltaje ajustables por medio de la conexión de TAPs en su entrada

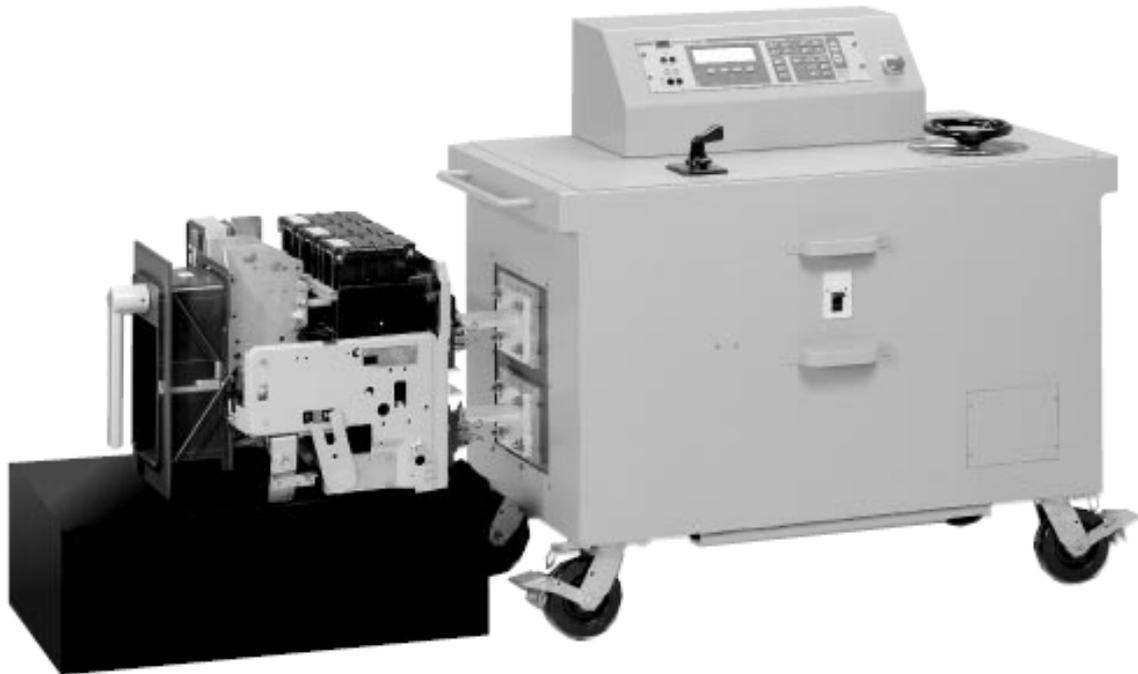


Figura 35 Gráfico del inyector de corriente DDA 6000 (Megger)

2.6 Implementación del sistema eléctrico

La implementación en sistema eléctrico de potencia es la parte fundamental dentro de la instalación de un sistema de control y fuerza. Se tiene como prioridad que esta se desarrolle bajo la escrita supervisión del personal indicado, que va a poner en marcha el MCC, ya que son los responsables de la correcta instalación y conexión.

Para este particular lo primordial fue la colocación de la malla de tierra en el sitio donde se iba a instalar el MCC. Posteriormente finalizado la implantación de sistema de tierra se procede a la construcción de la estructura que va ser una ampliación de MCC existente. Los materiales de construcción del MCC se consideraron según la estructura anterior para conservar la estética y la uniformidad de todo el centro de control, ya que fue ampliada acorde a los diseños estructurales detallados en la ingeniería civil de la obra.

Luego de preparar el terreno y el lugar donde se iba a colocar el nuevo switchgear el cual estaba siendo fabricado en los talleres de Turbomotores Ecuatorianos. Hay que recordar que se intenta realizar una interconexión de 2 Switchgear. Interconexión que se realiza a 480V mediante el grupo armado de barra de cobre 3/8"x4" con 4 metros de largo. Es sistema debe ser capaz de soportar el nivel de corto para lo que fue diseñado, tomando en cuenta nivel de corto circuito de interruptor mas grande. Que en nuestro caso es el ABB E6H 6300A que soporta 100kA como corriente de corto circuito.

Es sistema de barras armado íntegramente con aisladores de barra powermat, que son fundas termo contraíbles para barra, los cuales permiten tener un nivel de protección más alto. Subiendo el nivel de aislamiento del juego de barras se garantiza que toda la parte de fuerza está aislado 1 cm por cada 1kV. Con esto sería posible tocar el sistema de barras cuando estas estén energizadas, pero altamente posible que existían cortes, piquetes o fugas de corriente dentro del juego de barras. Por lo cual no se recomienda realizar este ejercicio. El propósito de esto es tener el nivel más alto de aislamiento entre las barras. Cuando el

sistema de barras sufre un aumento de temperatura en un cortocircuito las barras tienden a deformarse debido al aumento de corriente, vibración y temperatura. Por esta razón es importante el espacio entre fase y fase en las barras es de suma importancia, ya que esto determinante en caso que las barras sufran esfuerzo electromecánico en un cortocircuito. En nuestro caso las barras se instalaron con 7cm de separación, y cada uno de los soportes aisladores aproximadamente se encuentra entre 25cm y 30cm.

Una vez montado y nivelado el switchgear, se procede a evaluar los detalles de la interconexión. Para esto era obligatorio des energizar el sistema de barraje antiguo. Asegurando la operación para el personal que trabajaría en esta parte del montaje, aproximadamente fueron 36 horas continuas para realizar la unificación del juego de barras. Además se realizo un desplazamiento de un generador hacia el nuevo grupo de barras. Esto con la finalidad del flujo de carga sea distribuido a lo largo de toda la barra aliviando así la sobrecarga en puntos donde hay mayor consumo.

El parte de control cada uno de los tableros que fueron fabricados en los talleres de Turbomotores Ecuatorianos, ya en campo los tableros se montaron de acuerdo al diseño de ingeniería. Previo al montaje de interruptores, transformadores de potencia y corriente se realizo el comisionado respectivo a cada equipo antes de ser montado. Esto se realiza para garantizar que todos los equipos están operativos y cumplen con las exigencias que la norma exige. Se puede acotar que este proceso se realiza antes de montar los equipos, además también previamente antes de su operación. Se comisionó el cable utilizado para la

conexión de los generadores, Cables de fuerza súper-flexible 750MCM THHN donde se verificó el nivel de aislamiento con Megger MIT, Además el juego de barras fueron megadas con el mismo equipo sobrepasando lo que la norma nos exige que son $100M\Omega$ a 1000V y 2500v. Los resultados de estos comisionados están en el capítulo de análisis de resultados.

Además se realizó la evaluación de todos los interruptores verificando su tiempo de apertura y cierre. La importancia de esta evaluación es saber si la bobina de apertura y cierre está operando de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Además es importante este megado, ya que en un cortocircuito el tiempo de apertura en la bobina (YO) es crítico pues puede significar una demora significativa en un estado crítico del sistema eléctrico, afectando así a los equipos o hasta personas. También el tiempo de cierre de la bobina (YC) es importante ya que en algunas aplicaciones se requiere rapidez en su operación. Estos resultados también se presentan en el capítulo 4. En los Interruptores también se considera el nivel de aislamiento entre fases, garantizando así que las fases por ningún motivo se lleguen a juntar y causar un cortocircuito. El comisionado de los transformadores se lo realizan con el TTR 310 se evaluar la relación de transformación, en el caso de los transformadores de potencial (PT) se verifica que tenga la relación correcta. Para los transformadores de Corriente (CT) es necesario estimar una curva de saturación (Burden)) para evaluar la precisión del transformador en la parte no lineal de la curva. Para esta aplicación se requiere un transformador de corriente con precisión de 0.5.

Tomando en cuenta el diseño eléctrico explicado en el capítulo anterior y con la correcta utilización de los equipos previamente comisionados se procede a conectar la parte de fuerza y de control. Las conexiones de los cables de fuerza que provienen de los generadores se colocan a la entrada de cada interruptor, además de la conexión del cable de neutro se conecta también al sistema de barras. Es de gran importancia la colocación correcta de los transformadores de Corriente verificando la polaridad de acuerdo con el flujo de corriente a través de estos. Hay que recordar que el punto de polaridad lo define el punto por donde entra la corriente al devanado primario y su salida positiva por el devanado secundario. De acuerdo al diseño eléctrico del alternador se tiene la configuración de 3 fases 4 hilos donde se implementa la protección diferencia del corriente. Esta funcionalidad la controla el relay de protección CSP2 T la cual se explican en el siguiente capítulo.

Capítulo 3: Programación de Equipos de Control

3.1 Introducción.

La plataforma del easyGen 3000 ofrece un nuevo nivel de tecnología para la industria de generación de energía. Nuevo Software y hardware permiten a los usuarios personalizar el sistema de control con sus requerimientos exactos, esto permite también trabajar con casi todos los tipos de aplicaciones en la industria. Las funciones tanto básicas como avanzadas de las diferentes aplicaciones están incorporadas en un solo número de parte con un precio realmente competitivo. El easyGen-3000 es el resultado de un gran esfuerzo del staff de Woodward, el cual integro las mejores características y opciones de control de sus equipos más destacados lanzados al mercado en años pasados alrededor del mundo. El easyGen-3000 permite a cada usuario diferenciarse en el mercado mediante un sistema personalizable y ofrece las herramientas con capacidad para enfrentar los desafíos del futuro.

El módulo easyGen-3000 es una unidad para la gestión de aplicaciones de grupos electrógenos. Las numerosas entradas y salidas, junto con su estructura modular de software, le permite utilizar el módulo easyGen3000 en múltiples aplicaciones sólo con una única referencia de producto: emergencia, grupos en paralelo, paralelo con la red, cogeneración, entre otras.

Con el módulo easyGen-3000 se pueden realizar plantas de hasta 32 grupos en paralelo con gestión automática de arranque/parada en función de la carga.

El módulo easyGen-3000 está disponible en 2 versiones: easyGen-3100 para montaje en placa de armario, y easyGen-3200 con pantalla gráfica y teclado, para montaje en puerta de armario.

3.1.1 Campos de cobertura

El easyGen cuenta con tres campos de cobertura los mismos que son:

- Control y Supervisión de sistemas de generación.
- Sistema de Alarmas de aviso y monitorización de 7 niveles programables.
- Un sistema de interfaz múltiple que permite al usuario controlarlo o configurarlo desde una computadora que se encuentre cerca del equipo o de una manera remota por medio de una red o sistema de bus de información.

3.1.2 Características

- Modos de operación: Auto, Stop, Manual, y Test con/sin carga mediante entradas digitales.
- Control de interruptores: sincronización por deslizamiento/bloqueo de fase, control de apertura/cierre, monitorización de interruptores.

- Transferencia de carga: transición abierta/cerrada, con rampa de carga/descarga, paralelo con red.
- Arranque/parada en función de la carga con prioridad fija o dinámica.
- Reparto de carga activa y reactiva en plantas de hasta 32 grupos.
- Control remoto mediante entradas analógicas/digitales para el control de velocidad, frecuencia, tensión, potencia y factor de potencia.
- Protección integrada del motor y generador, con secuencias de arranque para motores diesel y gas, y monitorización de la red.
- Reguladores PID libres para funciones de control, como control También del circuito de agua, nivel de agua, nivel de combustible, control de presión, etc.

3.2 Woodward EasyGen 3100, parámetros básicos de programación

Lo componentes básico para la operación se definen por el usuario desde el software de configuración por el usuario. Los valores aquí son ingresados para la configuración

- Menús de configuración
- Configuración de Generador
- Configuración de Motor

- Configuración de Modo de operación
- Configuración GCB y MCB
- Configuración Inputs / Outputs
- Configuración Controller Voltaje y Frecuencia Bias
- Configuración Monitoreo de Alarmas
- Configuración de Interfaces
- Configuración Parámetros Generales
- Configuración de FlexLimits
- Configuración de Logic Manager
- Configuración de Velocidad nominal del Motor
- Configuración de V, I, Kw, Kvar, Barra principal, Red Principal del Generador.
- Configuración de Transformadores de corriente y Potencial.

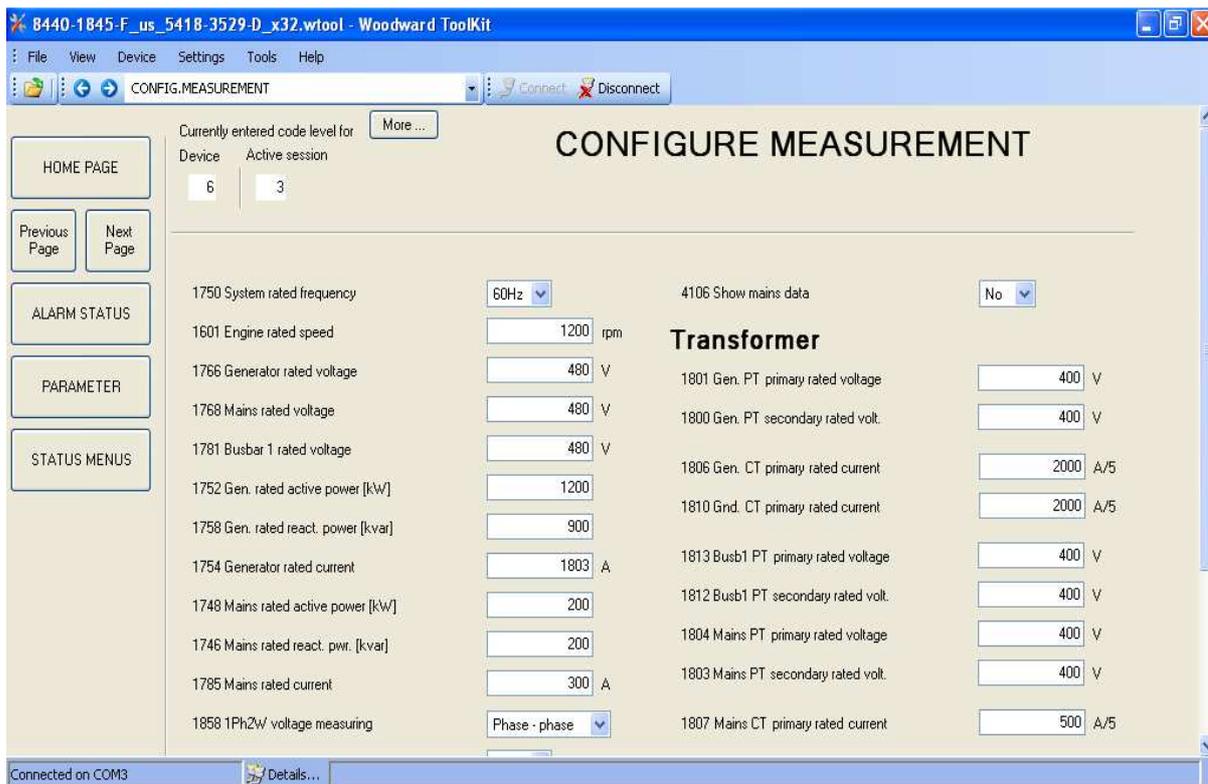


Figura 36 Gráfico de la consola de configuración easyGen 3100 (Woodward)

Configuración Aplicación

- En este menú se configura los siguiente parámetros:
 - Parámetros del motor
 - Configuración de arranque en automático
 - Configuración en modo critico
 - Configurar modo Arranque/parada dependiendo de la carga
 - Configurar LDSS en configuración IOP/MOP

- Configuración de arranque en emergencia
- Configuración de Modo de operación Breaker
- Configuración de operación de GCB/MCB
- Configuración de Sincronoscopio

Sincronización

- El easyGen-3200 tiene un sincronoscopio en el Display

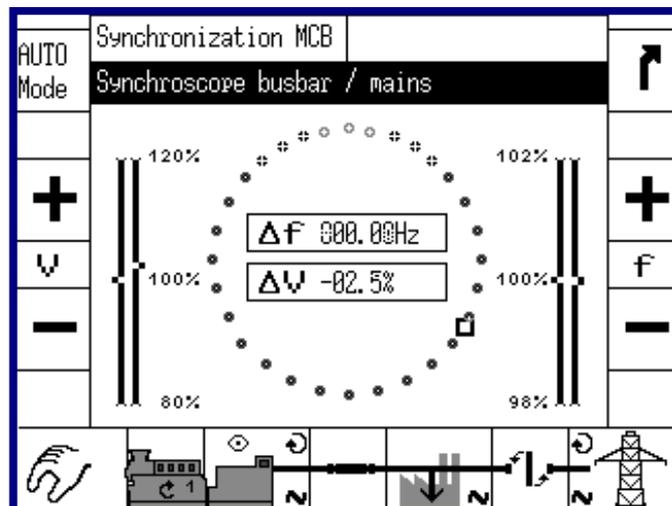


Figura 37 Gráfico de la consola de sincronización easyGen 3100 (Woodward)

Configure Inputs/ Outputs

Se puede configurar las siguientes I/O:

- Configurar Entradas Discretas
- Configurar Salidas discretas
- Configurar entradas análogas
- Configurar Salidas análogas
- Configurar I/O Externas
- Configurar tablas para dimensionar I/O Análogas
- Configure Salidas Discretas
- Usando las salidas digitales de relé se puede conectar cualquier dispositivo externo, como otro relé que comande o accione los comandos de apertura y cierre del breaker, Zumbadores, Luces piloto, encendido.

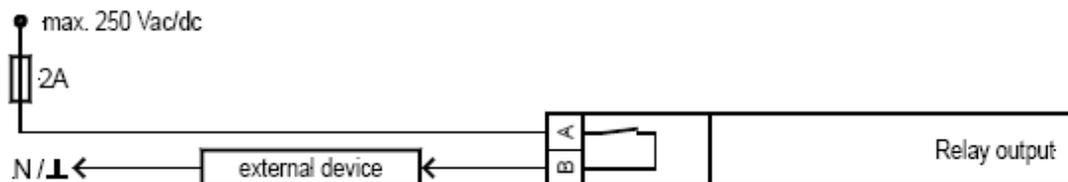


Figura 38 Gráfico de un relé de salida del easyGen 3100 (Woodward)

I/O Análogas

2 x Salidas Análogas

- Máximo +/- 20mA o +/- 10V o PWM (500 Hz)
- Pre-configurado para salidas de control de velocidad y voltaje y configurable para salida escalable para valores medidos (Kw) (ext. Medidores análogos)
- Cambio entre voltaje y corriente usando simples jumper

3.3 Implementación vía Software

Todos los productos de la empresa WOODWARD, tienen soporte en software ya sea en programas para HMI basados en Windows (Toolkit™.)

Este tipo de programas son muy útiles ya que facilitan al usuario la utilización de los dispositivos y a la vez se visualiza todo el contorno del sistema.

WOODWARD TOOLKIT

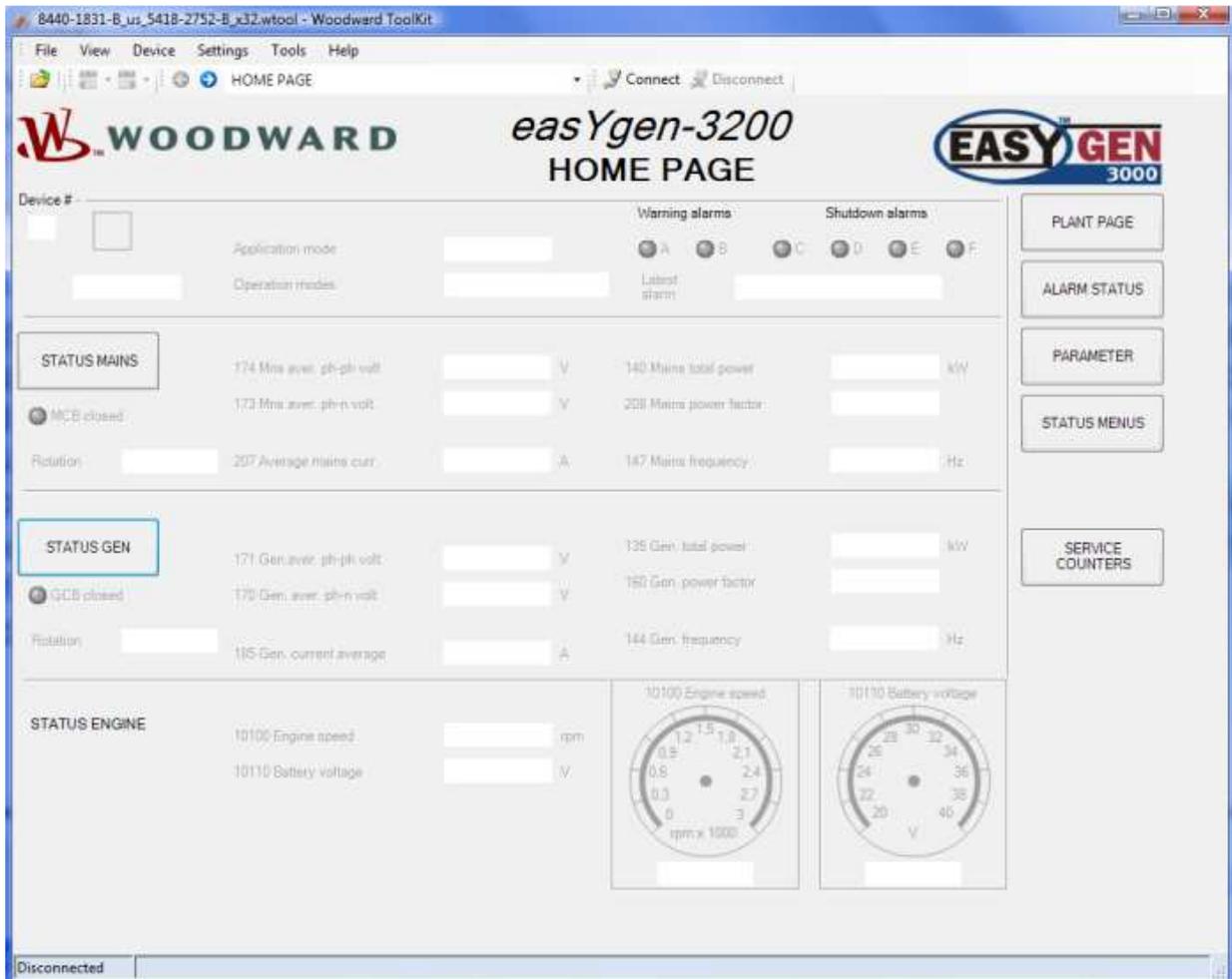


Figura 39 Toolkit woodward (Woodward)

Toolkit es un programa basado en plataforma de windows usado para crear HMI's (Human Machine Interface) para trabajar con productos Woodward.

El programa Toolkit está diseñado específicamente para trabajar con el software via RS-232/-422/-485, CANopen o comunicación Ethernet TCP/IP.

3.3.1 COMPONENTES BÁSICOS DE CONFIGURACION

Toolkit tiene componentes de uso como:

- **Monitoreo de parámetros I/O análogos** : Indicadores radiales, indicadores de barras, herramientas de gráficas de registro.
- **Monitores de parámetros I/O Digitales**: Entradas y salidas totalmente abierta a ser configuradas dependiendo lo que se requiera hacer. De ser necesario se tiene módulos de expansión.
- **Temporizadores y controladores**: Amplia gama de parámetros con alta posibilidad de ser programados para cualquier aplicación.
- **Manejo de Datos**: Permite en la configuración descargar o subir archivos de configuración, así como la comparación de diferencias entre diferentes registros, también se puede hacer esta programación Offline.
- **Parámetros de tendencia**: herramientas en tiempo real y gráficos de históricos permiten al usuario monitorear señales y eventos durante algún acontecimiento o luego de que este haya pasado.
- **Selección de componentes gráficos**: dependiendo del parámetro puesto en la hoja, automáticamente Toolkit muestra los diferentes tipos de gráficos compatibles, consiguiendo una herramienta de creación fácil y rápida.
- **Contenido dinámico**: Toolkit provee la habilidad de mostrar u ocultar contenido basado en los parámetros de configuración. Esto reduce la confusión de los usuarios ya que estos pueden ver solo la información más relevante en la configuración.

- **Manejo de niveles de seguridad:** Se tiene ciertos niveles de acceso para ingreso al software lo cual permite proteger la información o mal uso del equipo

3.3.2 FUNCIONES BÁSICAS

Toolkit da soporte a las siguientes funciones primarias:

- **Monitoreo de parámetros:** por medio de diferentes componentes visuales e indicadores gráficos.
- **Ajuste de parámetros:** vía selecciones momentáneas, entradas de cursor o botones de entrada de selección directa.
- **Visualización de Eventos y Alarmas:** por medio de la herramienta de monitoreo de alarma y eventos.
- **Múltiples niveles de seguridad:** por medio de varias contraseñas, se da el nivel de prioridad al usuario.

3.3.3 FUNCIONES

Toolkit da soporte a las siguientes funciones:

- **Monitoreo y cambio en los valores de parámetros de dispositivos:** la herramienta de desarrollo del Toolkit contiene una o más páginas de parámetros para varias resoluciones de medidas o procedimientos de afinación.

- **Administración de configuración:** Toolkit puede cargar o guardar todas las preferencias de algún programa realizado.. Esto permite al usuario guardar todos los parámetros seleccionados en una sola base de datos de control y al mismo tiempo, permite cargar todos los parámetros en otra base de datos.
- **Históricos:** Toolkit proporciona una herramienta gráfica de históricos y de visualización de datos de un HMI. Los gráficos de datos pueden guardarse en una hoja de cálculo compatible par ser utilizada en futuros análisis.
- **Diseño de herramientas personalizadas:** parámetros basados en pueden ser arrastrados y soltados en un entorno visual para crear páginas personalizadas dentro de un archivo de la herramienta. Hay varios componentes que pueden utilizarse para representar el parámetro basado en indicadores tales como, menús desplegables, textos, etc. La licencia de desarrollador es requerida para crear y diseñar herramientas personalizadas.
- **Cargando Aplicación de Programa:** Toolkit proporciona servicios para cargar un programa de aplicación nueva en hardware de control.

3.4 Programación del EasyGen 3100 para el control de los grupos electrógenos.

Como se vio en la sección 3.1, Toolkit es un programa fácil y amigable con el usuario. A continuación se procederá a revisar todos los parámetros necesarios

para configurar el EasyGen 3200 Woodward en la planta de generación del campo MDC de SIPEC.

3.4.1 ADMINISTRACIÓN

En esta pestaña de configuración, se configuran parámetros como el lenguaje, ajustes de fábrica, etc.

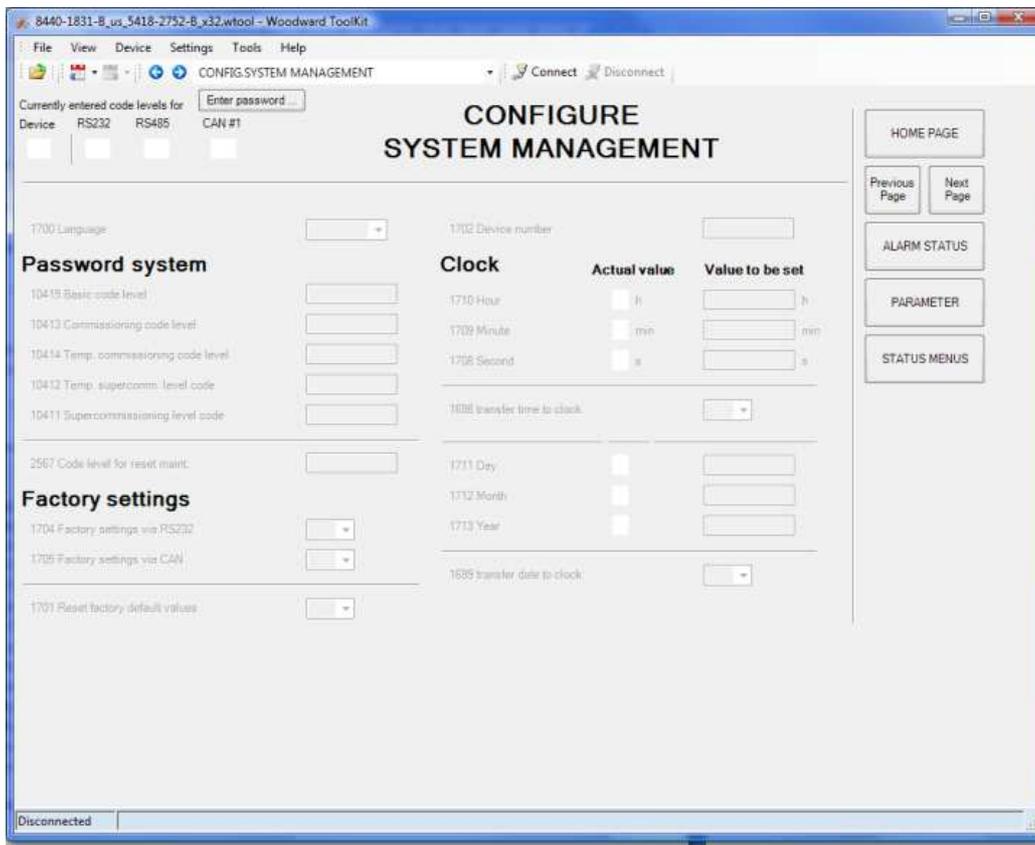


Figura 40 Administración woodward easyGen 3200 (Woodward)

1700 Language

Español

1702 Device number

6

3.4.2 APLICACIÓN

Esta sección trata sobre la configuración que se le debe hacer al EasyGen 3200 para que trabaje con el grupo electrógeno montado en la planta.

3.4.2.1 BREAKER

En este segmento, hay que desplegarse por tres ventanas para configurar los parámetros requeridos.

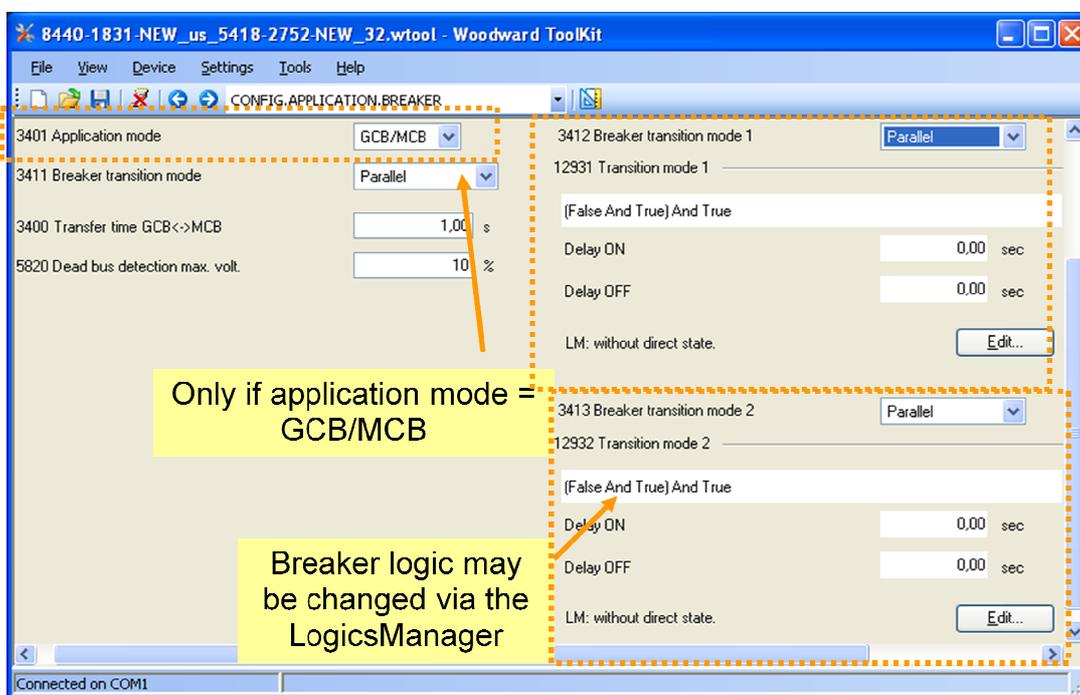


Figura 41 Gráfica del modo de aplicación para el breaker (Woodward)

3401 Application mode	GCB
3411 Breaker transition mode	Parallel
5820 Dead bus detection max. volt.	10%

3403 GCB open relay	N.O.
3414 GCB close command	Impulse
3415 Generator stable time	2s
3416 GCB time pulse	0,5s
3432 Dead bus closure GCB	On
5703 Max. positive phase angle	GCB 7°
5704 Max. negative phase angle GCB	-7°
5705 Closing time GCB	80ms
5707 Phase matching GCB dwell time	0,8s
5729 Synchronization GCB	Phase matching
5728chronization mode	RUN

3.4.3 MOTOR

Dirigirse a la pestaña de configuración de motor.

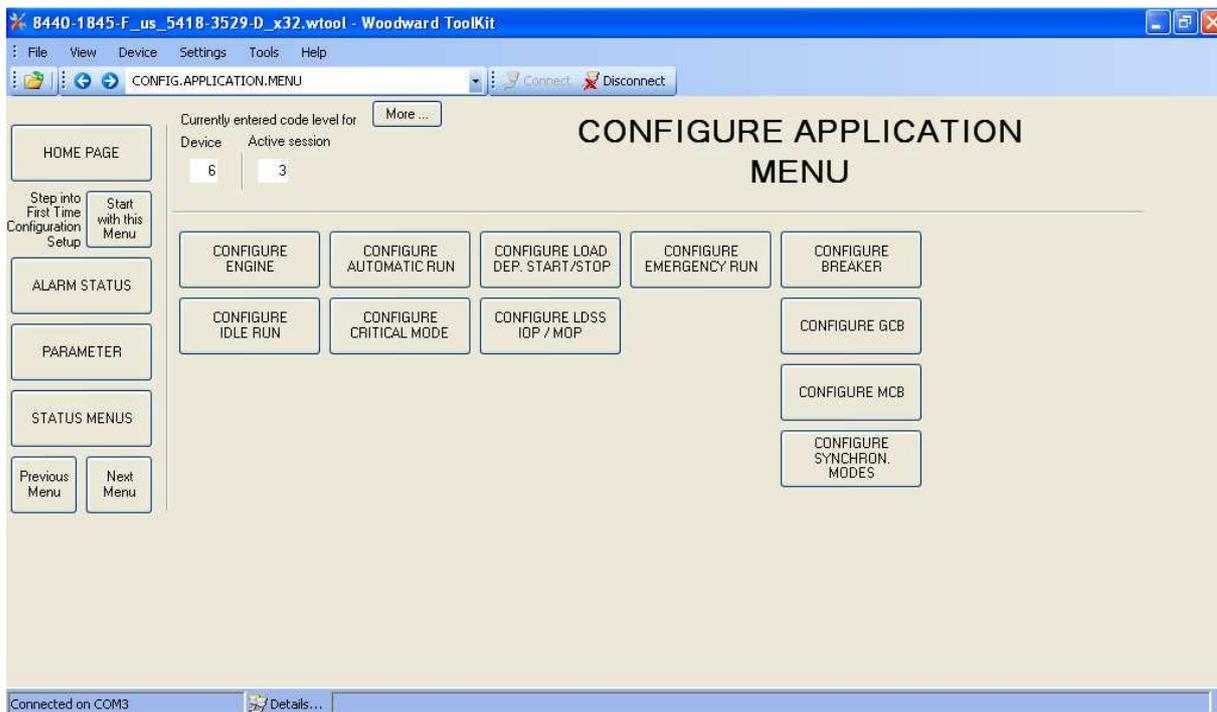


Figura 42 Menú de configuración del motor (Woodward)

3321 Start/Stop mode logic	Gas
3310 Ignition delay	1s
3311 Gas valve delay	1s
3312 Minimum speed for ignition	100rpm
3302 Start attempts	3
3306 Starter time	99s
3307 Start pause time	1s
3313 Firing speed	15Hz
3315 Engine monitoring delay time	20s

3316 Cool down time	180s
3319 Cool down in STOP mode	Yes
3326 Stop time of engine	10s
4102rt attempts critical mode	10

3.4.4 COMUNICACIÓN

Aquí se indica el tipo de comunicación entre los dispositivos easyGen 3200 conectados en el campo.

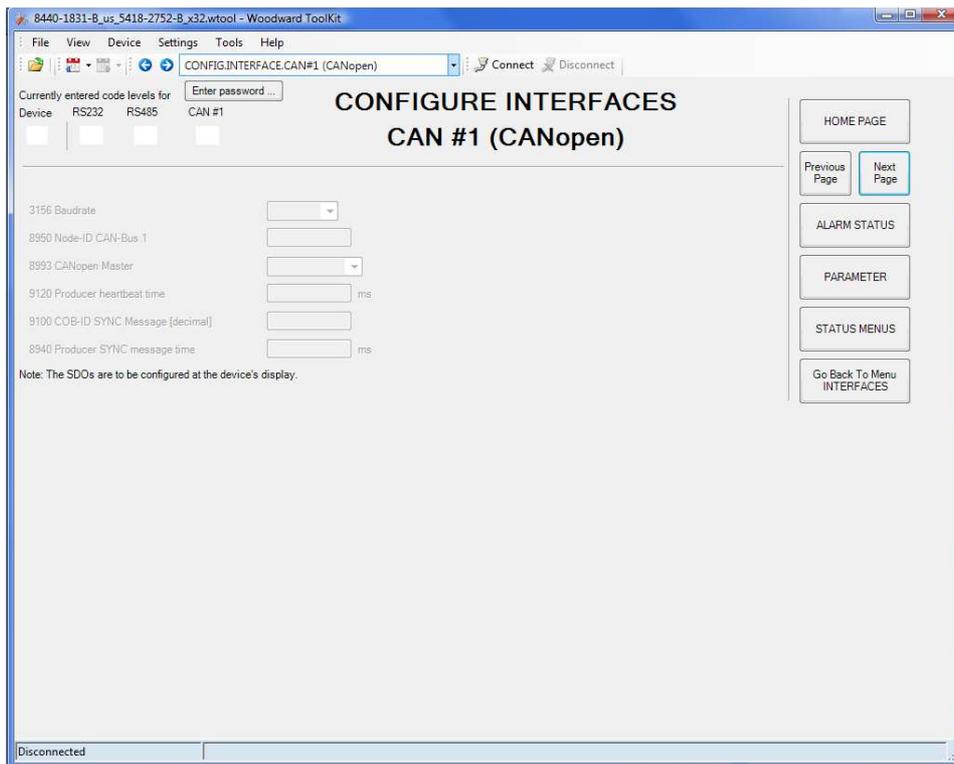


Figura 43 Modulo de comunicación CAN-OPEN (Woodward)

3156 Baudrate

800 kBd

8940 Producer SYNC message time	1ms
8950 Node-ID CAN-Bus 1	1
8993 CANopen Master	Default Master
9100 COB-ID SYNC Message [decimal]	128
9120ducer heartbeat time	2000ms

3.4.5 CONTROLADORES

En esta sección se verá los tipos de control que se integran en la planta.

3.4.6 FRECUENCIA

En esta ventana se puede configurar la frecuencia a la que va a trabajar el sistema.

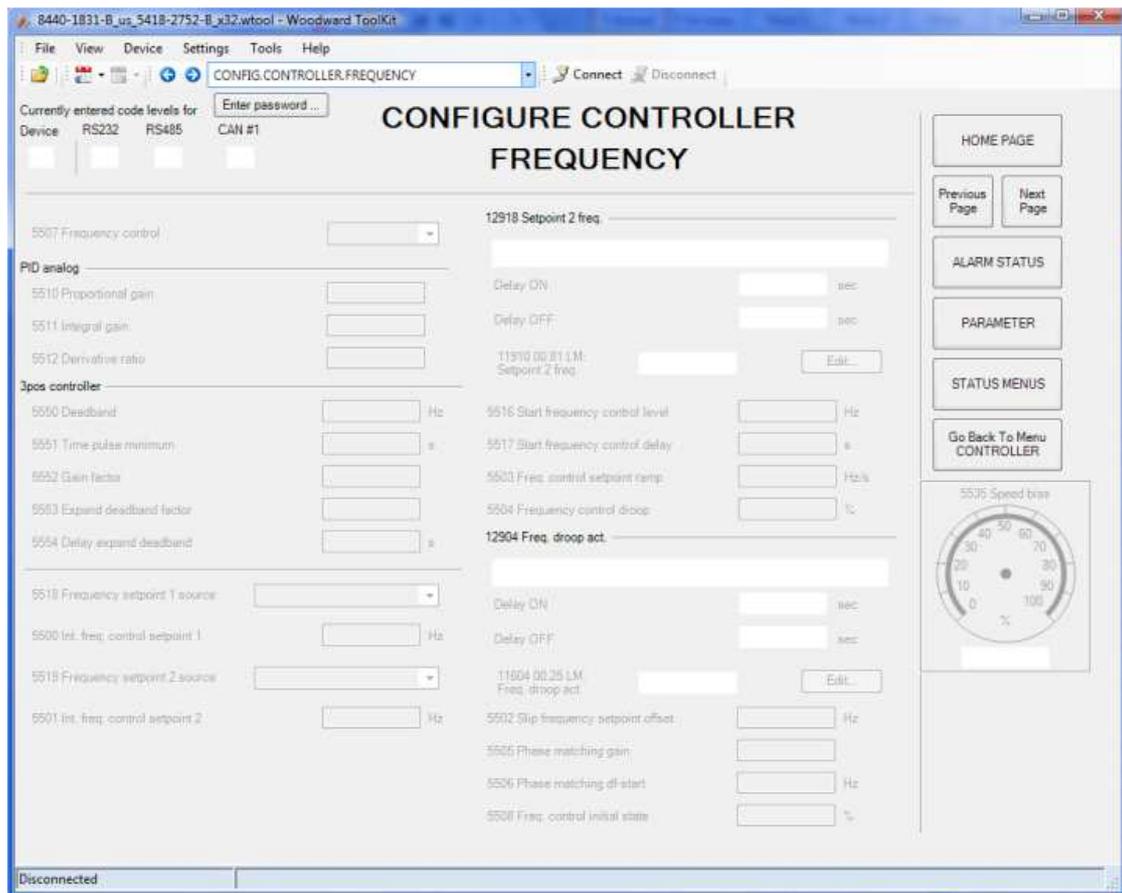


Figura 44 Gráfico del configurador de frecuencia (Woodward)

5500 Int. freq. control setpoint 1	60Hz
5501 Int. freq. control setpoint 2	60Hz
5502 Slip frequency setpoint offset	0,1Hz
5503 Freq. control setpoint ramp	5Hz/s
5504 Frequency control droop	0%
5507 Frequency control	PID analog
5508 Freq. control initial state	50%

5516 Start frequency control level	30Hz
5517 Start frequency control delay	5s
5510 Proportional gain	2,2
5511 Integral gain	1,8
5512 Derivative ratio	0,09

3.4.7 CARGA

Esta opción permite controlar la carga que van a manejar los generadores.

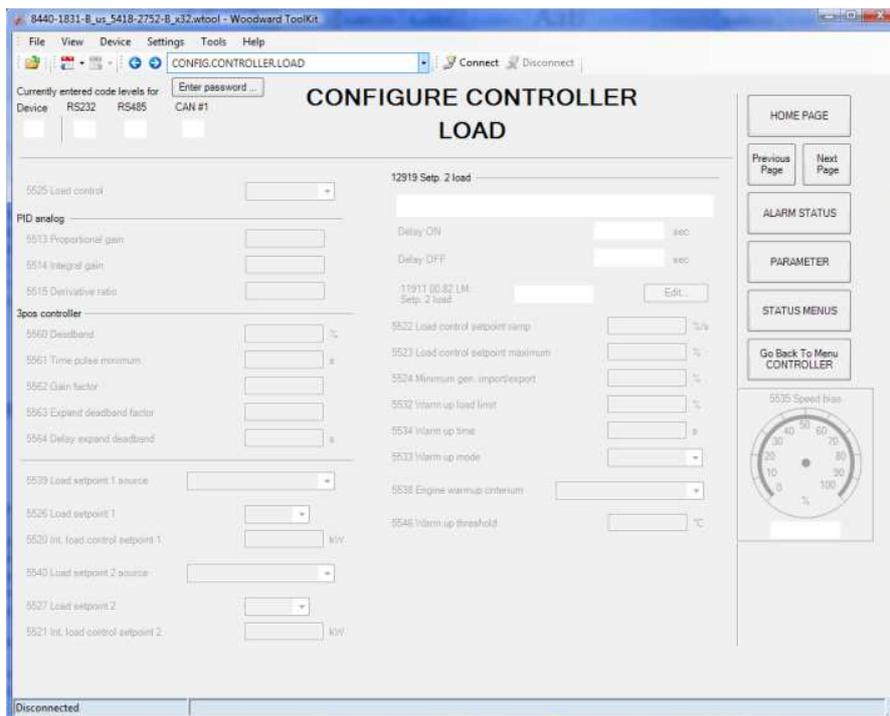


Figura 45 Gráfico del configurador de carga (Woodward)

5520 Int. load control setpoint 1	560kW
5521 Int. load control setpoint 2	100kW

5522 Load control setpoint ramp	3%/s
5523 Load control setpoint maximum	100%
5525 Load control	PID analog
5513 Proportional gain	1,1
5514 Integral gain	1
5515 ivative ratio	0,01

3.4.8 COMPARTICIÓN DE CARGA

Se selecciona el modo de repartición de la carga entre los generadores.

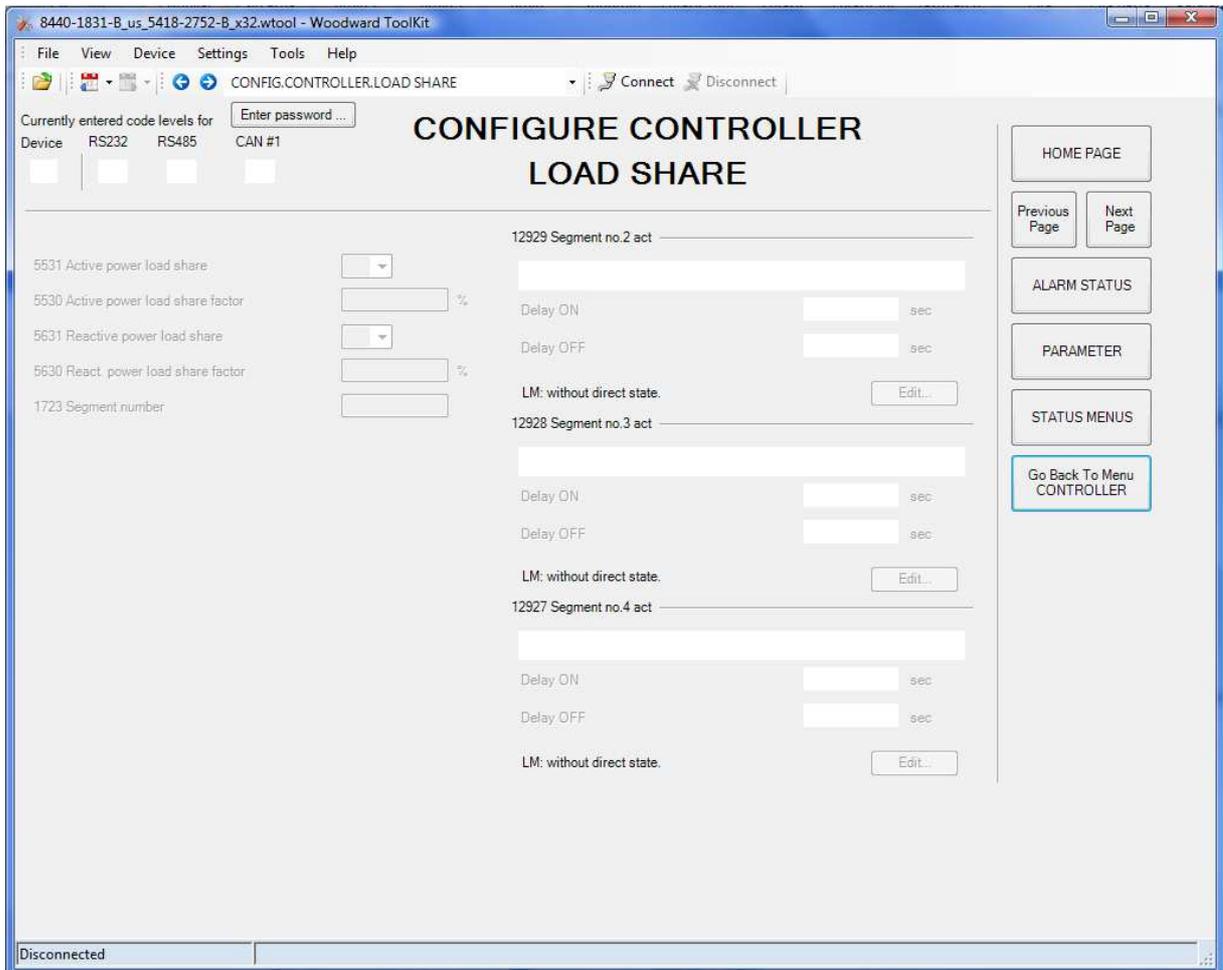


Figura 46 Gráfico del configurador de compartición de carga (Woodward).

1723 Segment number	1
5530 Active power load share factor	50%
5531 Active power load share	On
5630 React. power load share factor	50%
5631 Active power load share	On

3.4.9 FACTOR DE POTENCIA

En la ventana de factor de potencia debe constar:

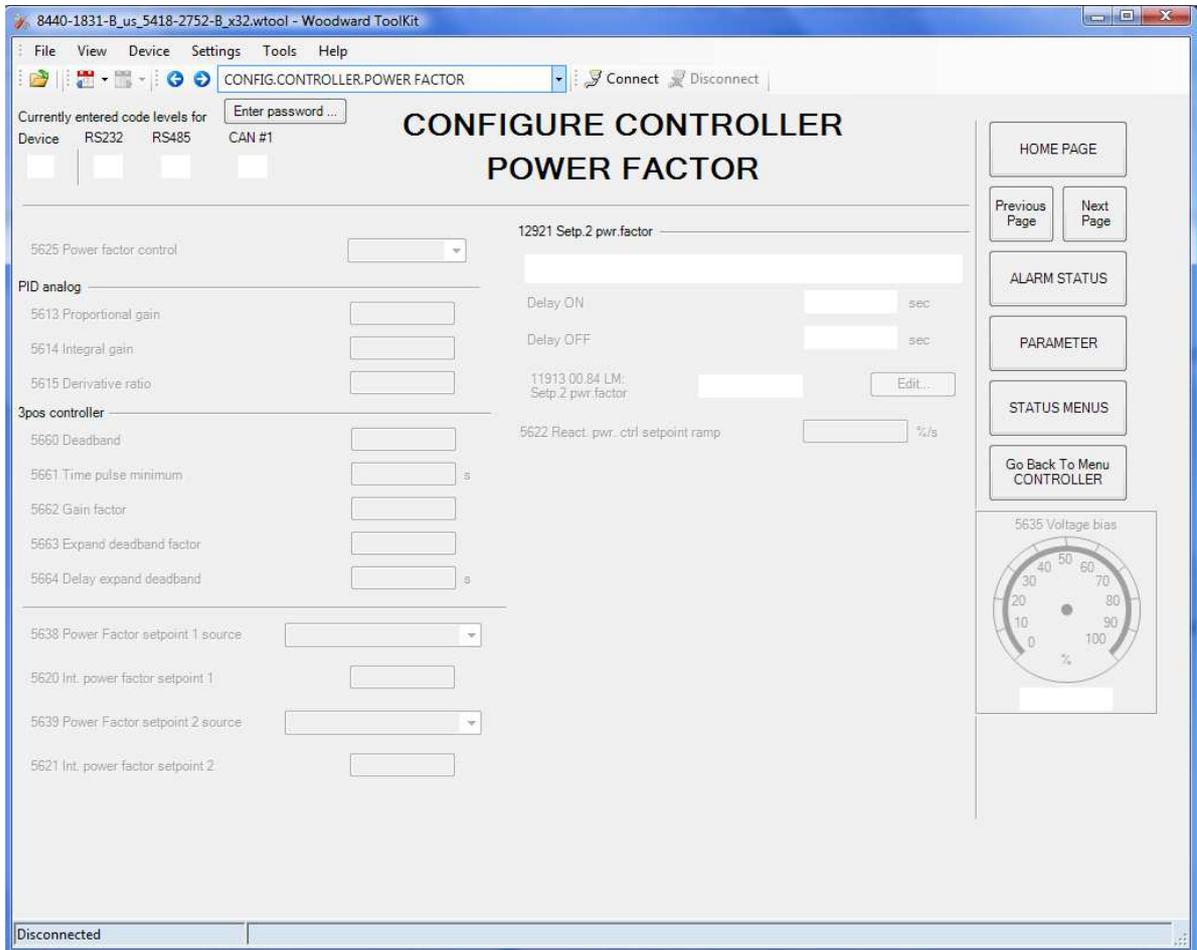


Figura 47 Gráfico del configurador del factor de potencia (Woodward).

5620 Int. power factor setpoint 1	0,8
5621 Int. power factor setpoint 2	0,98
5622 React. pwr. ctrl setpoint ramp	3%/s
5625 Power factor control	PID analog
5613 Proportional gain	1

5614 Integral gain

1

5615ivative ratio

0,01

3.4.10 VOLTAJE

La configuración de voltaje se la realiza de la siguiente manera:

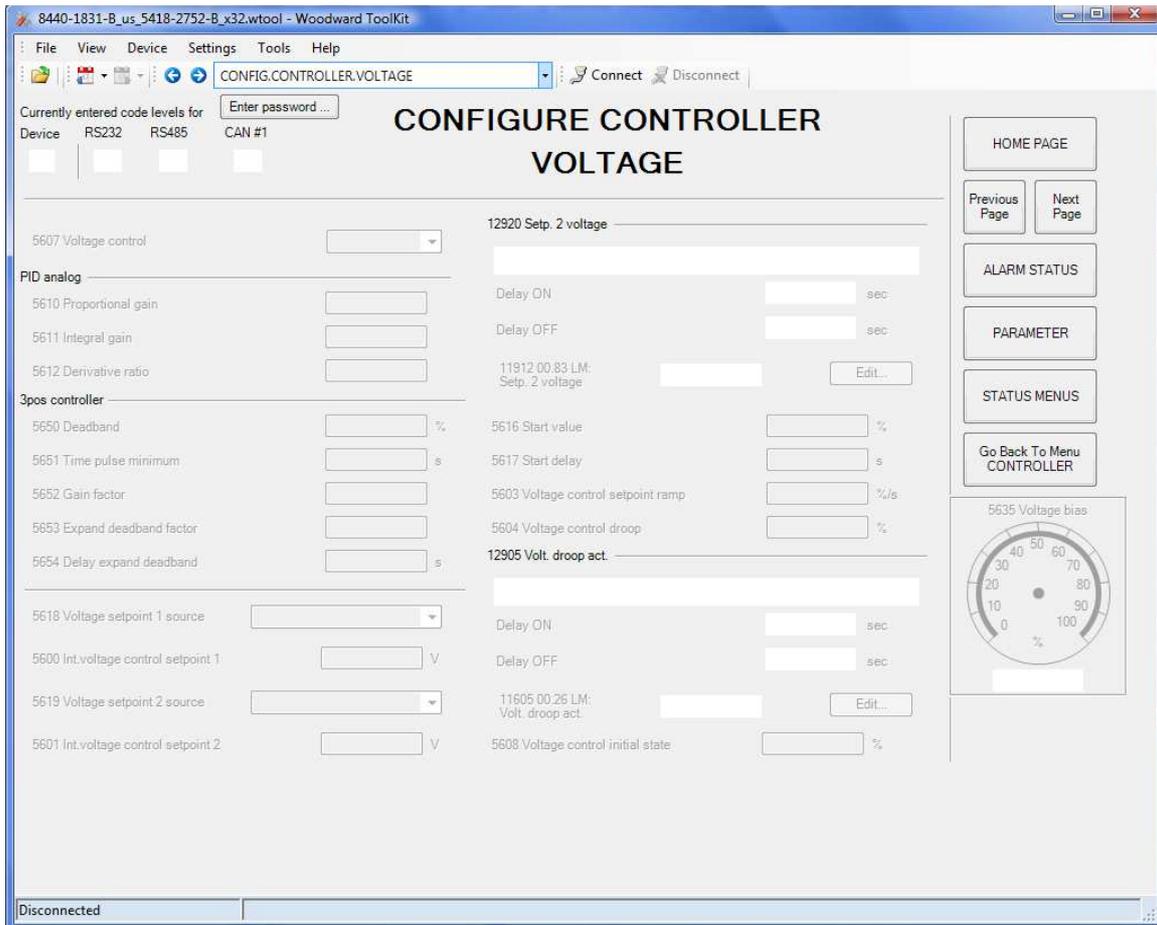


Figura 48 Gráfico del configurador de voltaje (Woodward)

5600 Int.voltage control setpoint 1

480V

5601 Int.voltage control setpoint 2

480V

5603 Voltage control setpoint ramp	5%/s
5604 Voltage control droop	5%
5607 Voltage control	PID analog
5608 Voltage control initial state	50%
5616 Start value	5%
5617 Start delay	5s
5610 Proportional gain	1,7
5611 Integral gain	2,8
5612ivative ratio	0,15

3.4.11 INTERFACES

Aquí se configura la conexión entre los dispositivos EasyGen 3200 Woodward.

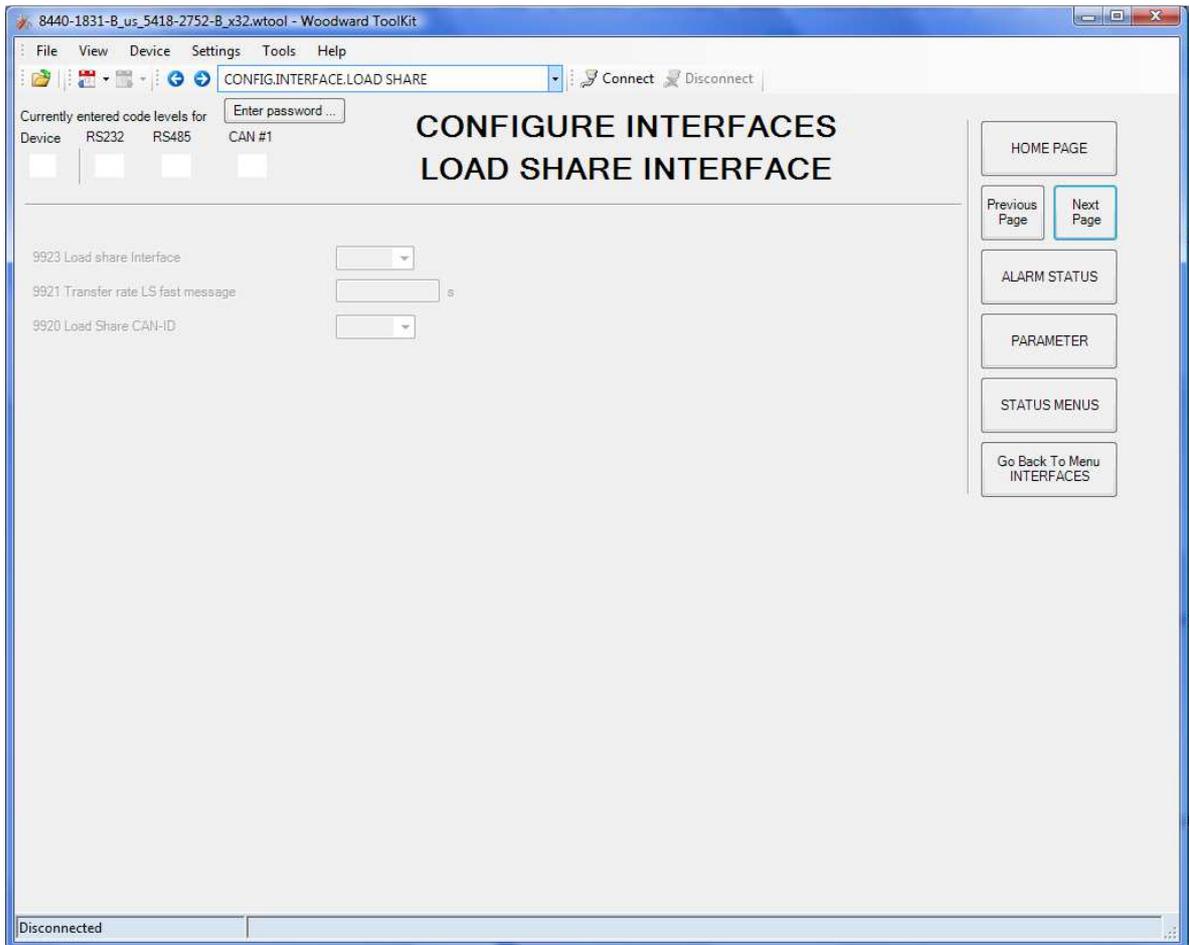


Figura 49 Gráfico del configurador del interface de compartición de carga (Woodward)

9920 Load Share CAN-ID	5xx Hex
9921 Transfer rate LS fast message	0,1s
9923d share Interface	CAN #1

3.4.12 ENTRADAS Y SALIDAS

En cuanto a entradas y salidas se tiene varias, del tipo análoga y discreta.

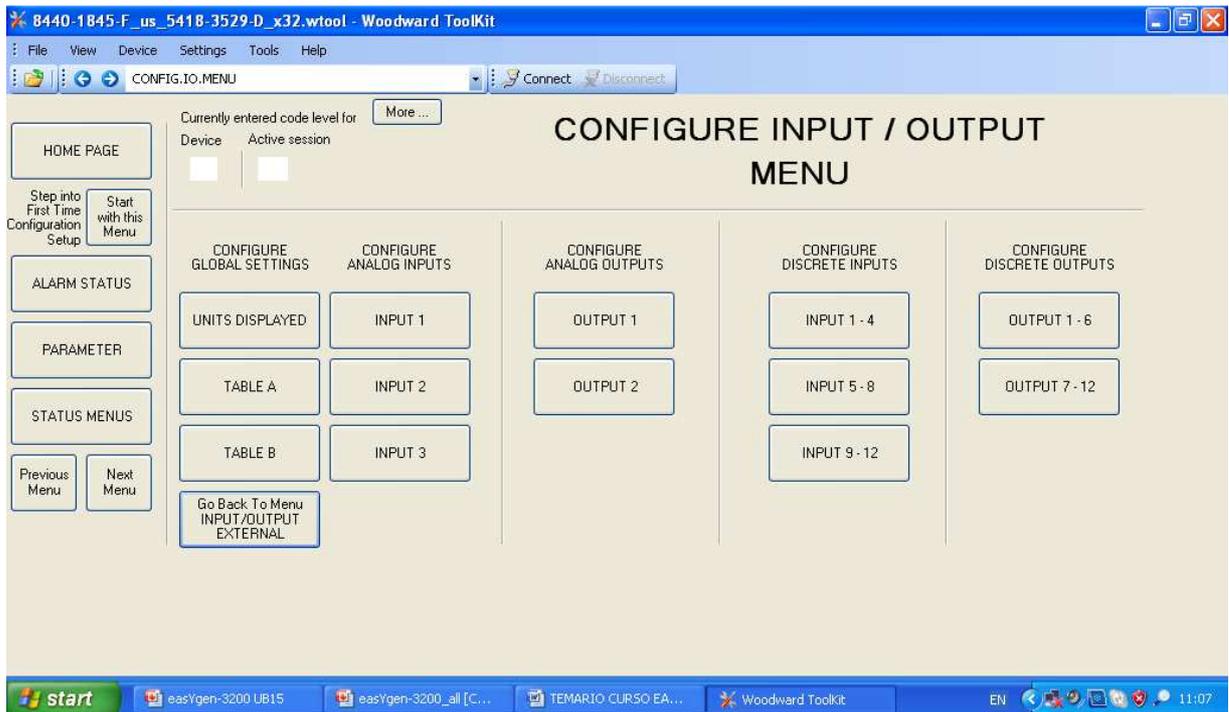


Figura 50 Gráfico de la consola de configuración de entradas y salidas (Woodward)

3.4.13 SALIDA ANÁLOGA # 1

Se encuentra configurada para controlar el voltaje del Generador por medio del AVR.

5200 Data source	00.02 Voltage bias
5201 Selected hardware type	±1V
5202 PWM signal	Off
5203 Filter time constant	Off
5204 Source value at minimal output	0
5206 Source value at maximum output	10000

5208 User defined min. output value	0%
5209 User defined max. output value	100%
5210 PWM output level	10V

3.4.14 SALIDA ANALOGA # 2

Se establece para controlar la velocidad del Generador por medio del ESM.

5214 Data source	00.03 Speed bias
5215 Selected hardware type	±2.5V
5216 PWM signal	Off
5217 Filter time constant	Off
5218 Source value at minimal output	0
5220 Source value at maximum output	10000
5222 User defined min. output value	0%
5223 User defined max. output value	100%
5224 PWM output level	10V

3.4.15 ENTRADAS DISCRETAS 1 – 4

Censan señales de alarmas con lógicas discretas.

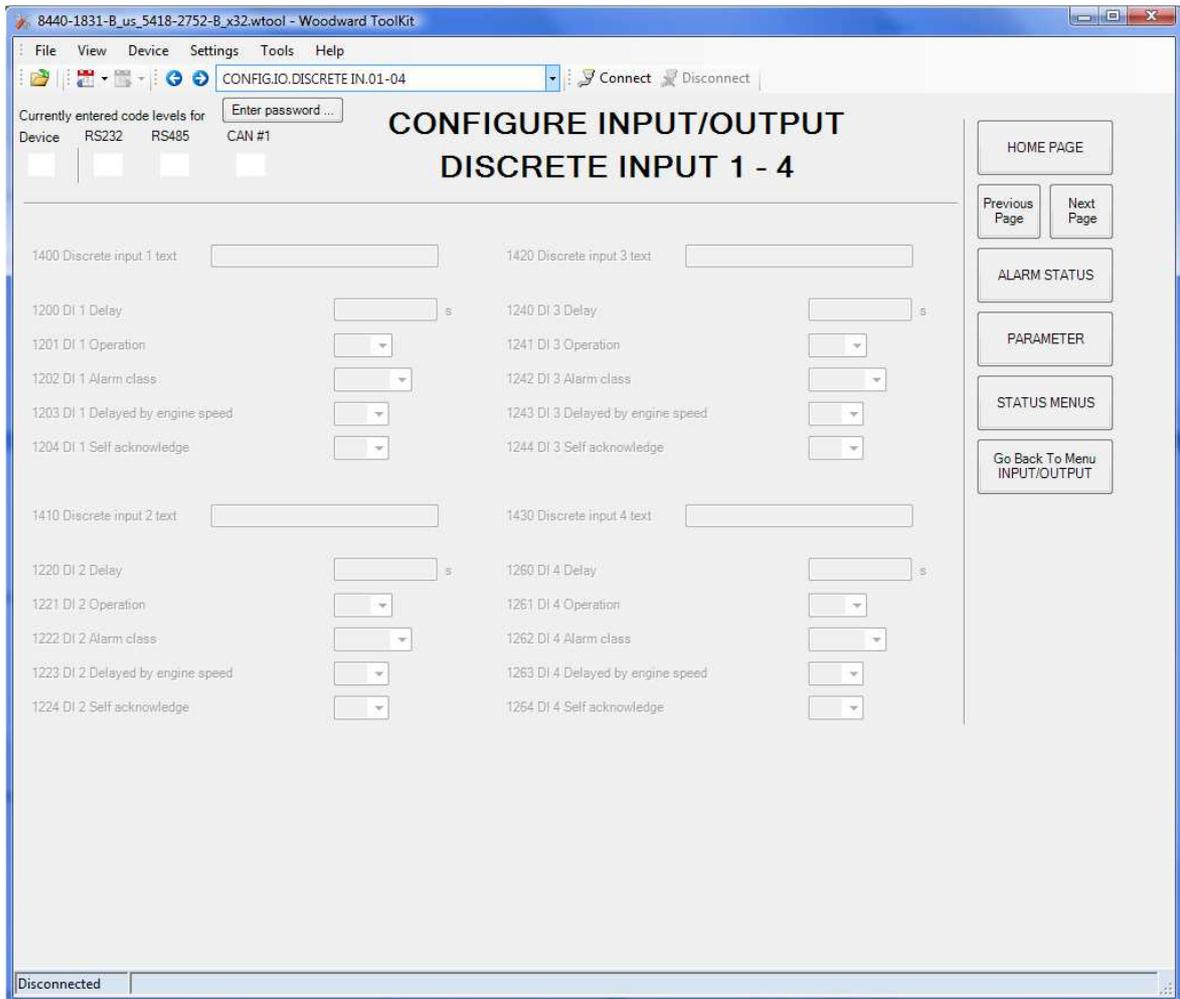


Figura 51 Gráfico de la consola de configuración de entradas discretas 1 - 4 (Woodward)

- **Entrada discreta 1**

1200 DI 1 Delay	0,2s
1201 DI 1 Operation	N.O.
1202 DI 1 Alarm class	Class F
1203 DI 1 Delayed by engine speed	No
1204 DI 1 Self acknowledge	No

1400 Discrete input 1 text Emergency Stop

- **Entrada discreta 2**

1220 DI 2 Delay 0,5s

1221 DI 2 Operation N.O.

1222 DI 2 Alarm class Class A

1223 DI 2 Delayed by engine speed No

1224 DI 2 Self acknowledge No

1410 Discrete input 2 text Engine Alarm

- **Entrada discreta 3**

1240 DI 3 Delay 0,5s

1241 DI 3 Operation N.O.

1242 DI 3 Alarm class Class F

1243 DI 3 Delayed by engine speed No

1244 DI 3 Self acknowledge No

1420 Discrete input 3 text Engine S/D

- **Entrada discreta 4**

1260 DI 4 Delay 0,5s

1261 DI 4 Operation	N.O.
1262 DI 4 Alarm class	Class F
1263 DI 4 Delayed by engine speed	No
1264 DI 4 Self acknowledge	No
1430 Discrete input 4 text	Oil Level S/D

3.4.16 ENTRADAS DISCRETAS 5 Y 6

Sensan señales de alarmas con lógicas discretas.

- **Entrada discreta 5**

1280 DI 5 Delay	0,5s
1281 DI 5 Operation	N.O.
1282 DI 5 Alarm class	Class B
1283 DI 5 Delayed by engine speed	No
1284 DI 5 Self acknowledge	No
1440 Discrete input 5 text	Oil Level

- **Entrada discreta 6**

1300 DI 6 Delay	2s
1301 DI 6 Operation	N.O.

1302 DI 6 Alarm class	Class F
1303 DI 6 Delayed by engine speed	No
1304 DI 6 Self acknowledge	No
1450 Discrete input 6 text	Water Lvl S/D

3.4.17 ENTRADAS DISCRETAS 9 – 12

Sensan señales de alarmas con lógicas discretas.

- **Entrada discreta 9**

1360 DI 9 Delay	0,5s
1361 DI 9 Operation	N.O.
1362 DI 9 Alarm class	Class B
1363 DI 9 Delayed by engine speed	No
1364 DI 9 Self acknowledge	No
1480 Discrete input 9 text	Water Level

- **Entrada discreta 10**

1380 DI 10 Delay	2s
1381 DI 10 Operation	N.O.

1382 DI 10 Alarm class	Class A
1383 DI 10 Delayed by engine speed	No
1384 DI 10 Self acknowledge	No
1488 Discrete input 10 text	Vibration S/D

- **Entrada discreta 11**

1205 DI 11 Delay	0,5s
1206 DI 11 Operation	N.O.
1207 DI 11 Alarm class	Class A
1208 DI 11 Delayed by engine speed	No
1209 DI 11 Self acknowledge	No
1496 Discrete input 11 text	Vibration

- **Entrada discreta 12**

1225 DI 12 Delay	0,2s
1226 DI 12 Operation	N.O.
1227 DI 12 Alarm class	Class D
1228 DI 12 Delayed by engine speed	No
1229 DI 12 Self acknowledge	No

1504 Discrete input 12 text

Trip Relay

3.4.18 SALIDAS DISCRETAS 2 – 6

Realizan funciones operativas del equipo EasyGen 3200.

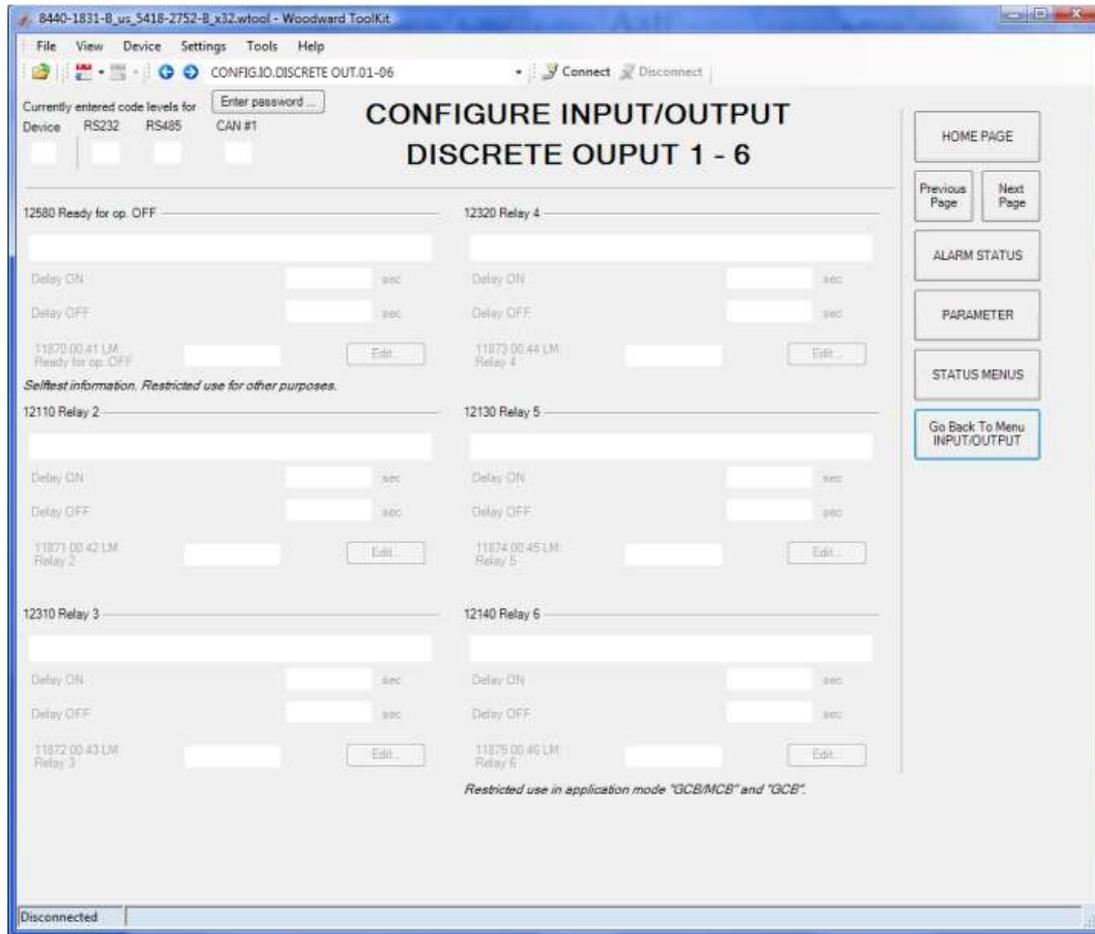


Figura 52 Gráfico de la consola de configuración de salidas discretas 2 - 6 (Woodward)

- **Salida discreta 2: Lámpara de Alarma**

12110 Relay 2

(03.05 Horn And True) And

True

Delay ON

0 sec

Delay OFF 0 sec

- **Salida discreta 3: Señal de arranque del motor**

12310 Relay 3 (03.02 Starter And True) And
True

Delay ON 0,5 sec

Delay OFF 0 sec

- **Salida discreta 4: Encendido/Apagado del motor**

12320 Relay 4 (03.28 Start/Gas And True) And
True

Delay ON 0 sec

Delay OFF 0 sec

- **Salida discreta 5: Señal de Generador encendido**

12130 Relay 5 (02.02 Speed detected And True) And
True

Delay ON 0 sec

Delay OFF 0 sec

- **Salida discreta 6: Cierre de Breaker**

12140 Relay 6 (False And True) And True

Delay ON 0 sec

Delay OFF 0 sec

3.4.19 SALIDA DISCRETA 7

Realizan funciones operativas del equipo EasyGen 3200

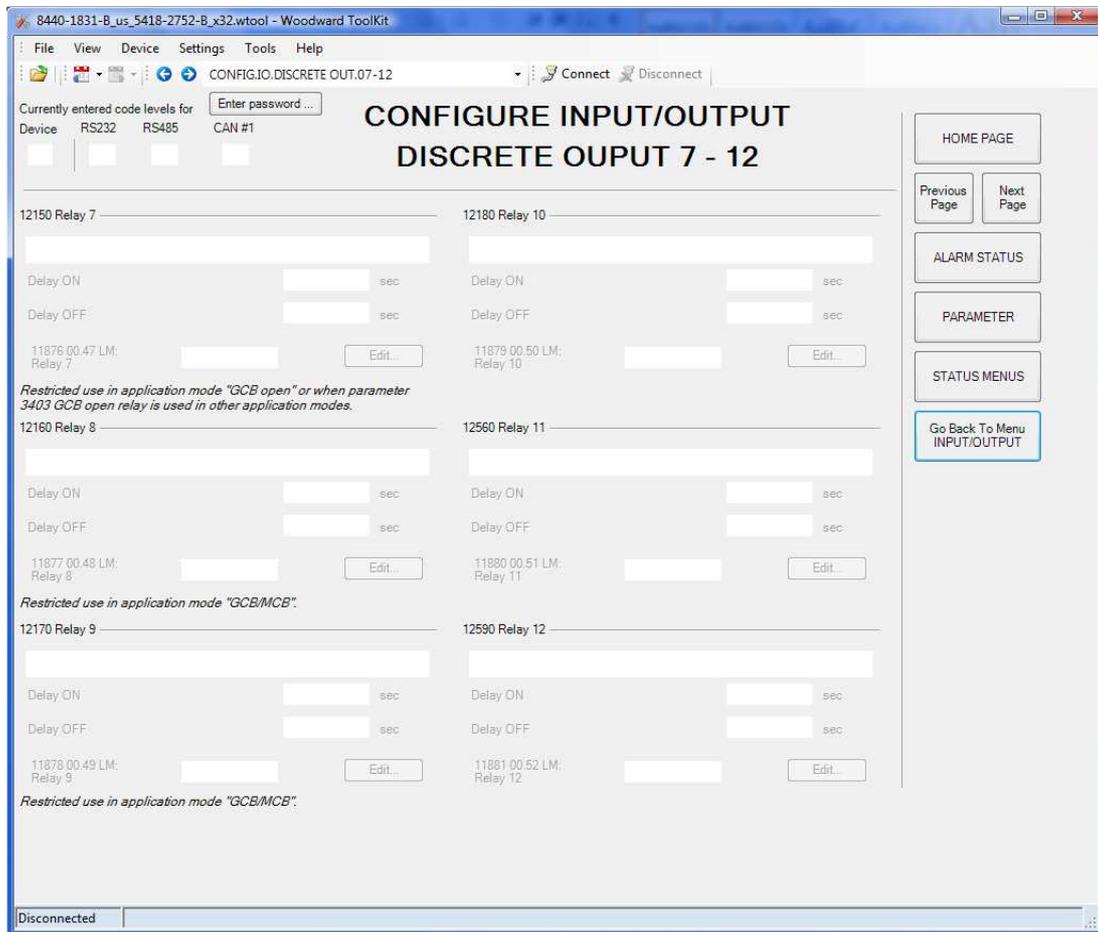


Figura 53 Gráfico de la consola de configuración de salida discreta 7 (Woodward)

- **Salida discreta 7: Apertura de Breaker**

12150 Relay 7 (07.25 Mains decoupling And True) And True

Delay ON 0 sec

Delay OFF 0 sec

3.4.20 MEDIDAS

En estas opciones se configura los parámetros a los cuales va a trabajar mi sistema; es decir, los valores de voltaje, manejo del breaker del generador, etc.

3.4.21 CONFIGURACIÓN DE MEDIDAS

Se setean datos del generador.

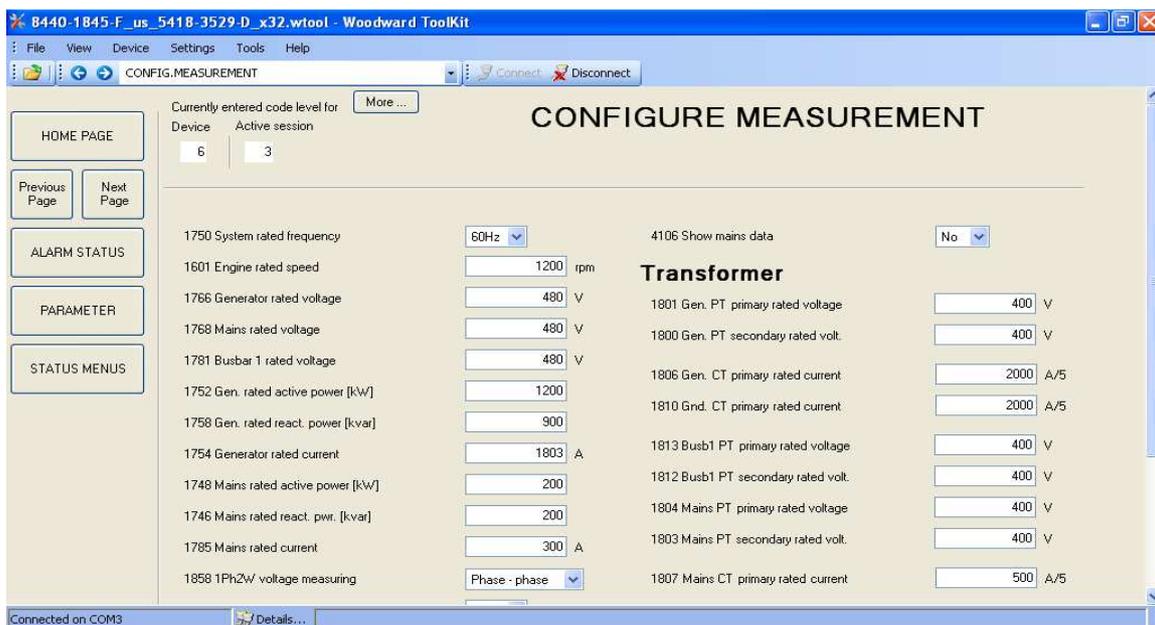


Figura 54 Gráfico de la consola de configuración de medidas (Woodward)

1601 Engine rated speed 1200rpm

1750 System rated frequency 60Hz

1752 Gen. rated active power [Kw] 1200

1754 Generator rated current [A]	1804
1758 Gen. rated react. power [kvar]	900
1766 Generator rated voltage	480V
1781 Busbar 1 rated voltage	480V
1850 Generator current measuring	L1 L2 L3
1851 Generator voltage measuring	3Ph 4W
1858 1Ph2W voltage measuring	Phase - phase
1859 1Ph2W phase rotation	CW
4106 Show mains data	No

- **Transformador**

1800 Gen. PT secondary rated volt.	480V
1801 Gen. PT primary rated voltage	480V
1806 Gen. CT primary rated current	2000A/5
1808 Gen. CT primary rated current	2000A/1
1812 Busb1 PT secondary rated volt.	480V
1813 Busb1 PT primary rated voltage	480V

3.4.22 VOLTAJE DE BATERIA

En esta sección se configura el voltaje de la batería externa que va a alimentar el EasyGen 3200 Woodward.

- **Sobre Voltaje nivel 1**

3450 Monitoring	On
3451 Alarm class	Class B
3452 Self acknowledge	No
3453 Delayed by engine speed	No
3454 Limit	28V
3455 Delay	5s

- **Sobre voltaje nivel 2**

3456 Monitoring	On
3457 Alarm class	Class B
3458 Self acknowledge	No
3459 Delayed by engine speed	No
3460 Limit	30V
3461 Delay	1s

- **Bajo Voltaje nivel 1**

3500 Monitoring	On
-----------------	----

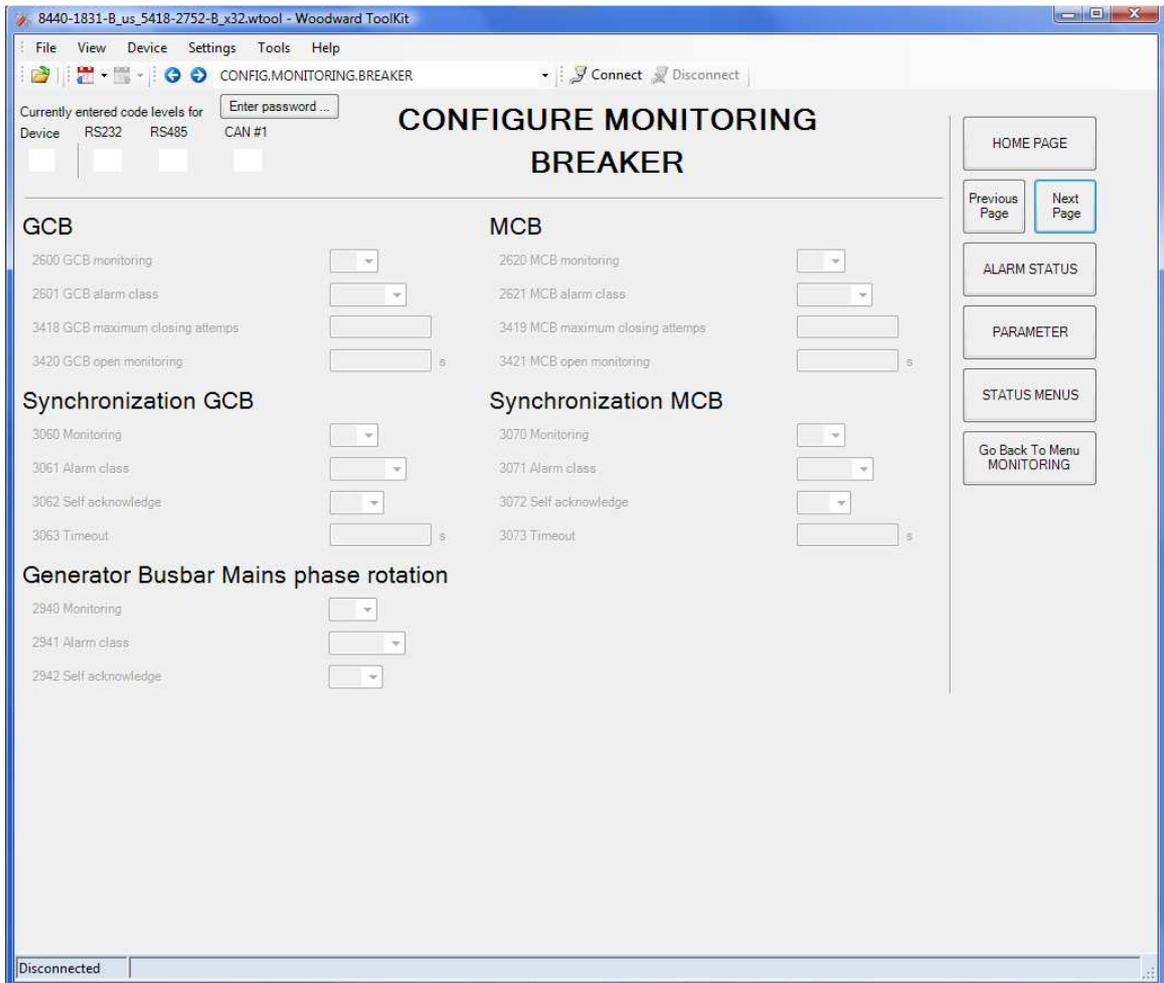


Figura 55 Gráfico de la consola de monitoreo del breaker (Woodward)

- **Circuito del Breaker**

2600 GCB monitoring	On
2601 GCB alarm class	Class C
3418 GCB maximum closing attempts	5
3420 GCB open monitoring	2s

- **Rotación de fase de BUSBAR**

2940 Monitoring	On
2941 Alarm class	Class B
2942 Self acknowledge	Yes

- **Sincronismo**

3060 Monitoring	On
3061 Alarm class	Class B
3062 f acknowledge	No
3063 Timeout	60s

3.4.24 GENERADOR

Este menú nos permite configurar los valores correctos para monitorear el generador.

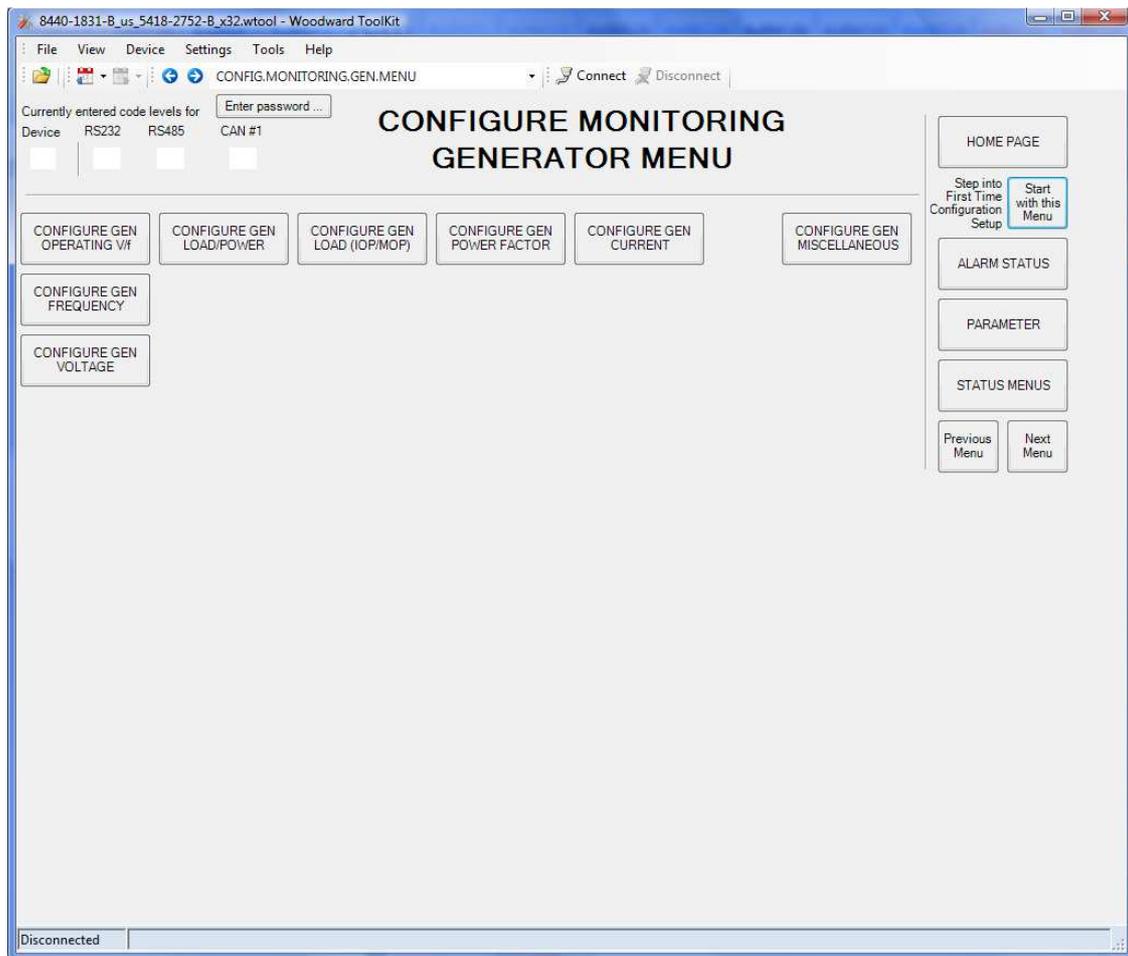


Figura 56 Gráfico de la consola de monitoreo del generador (Woodward)

3.4.25 VOLTAJE DEL GENERADOR

Se configura tanto los límites de sobre y bajo voltaje como el tipo de monitoreo de voltaje de líneas.

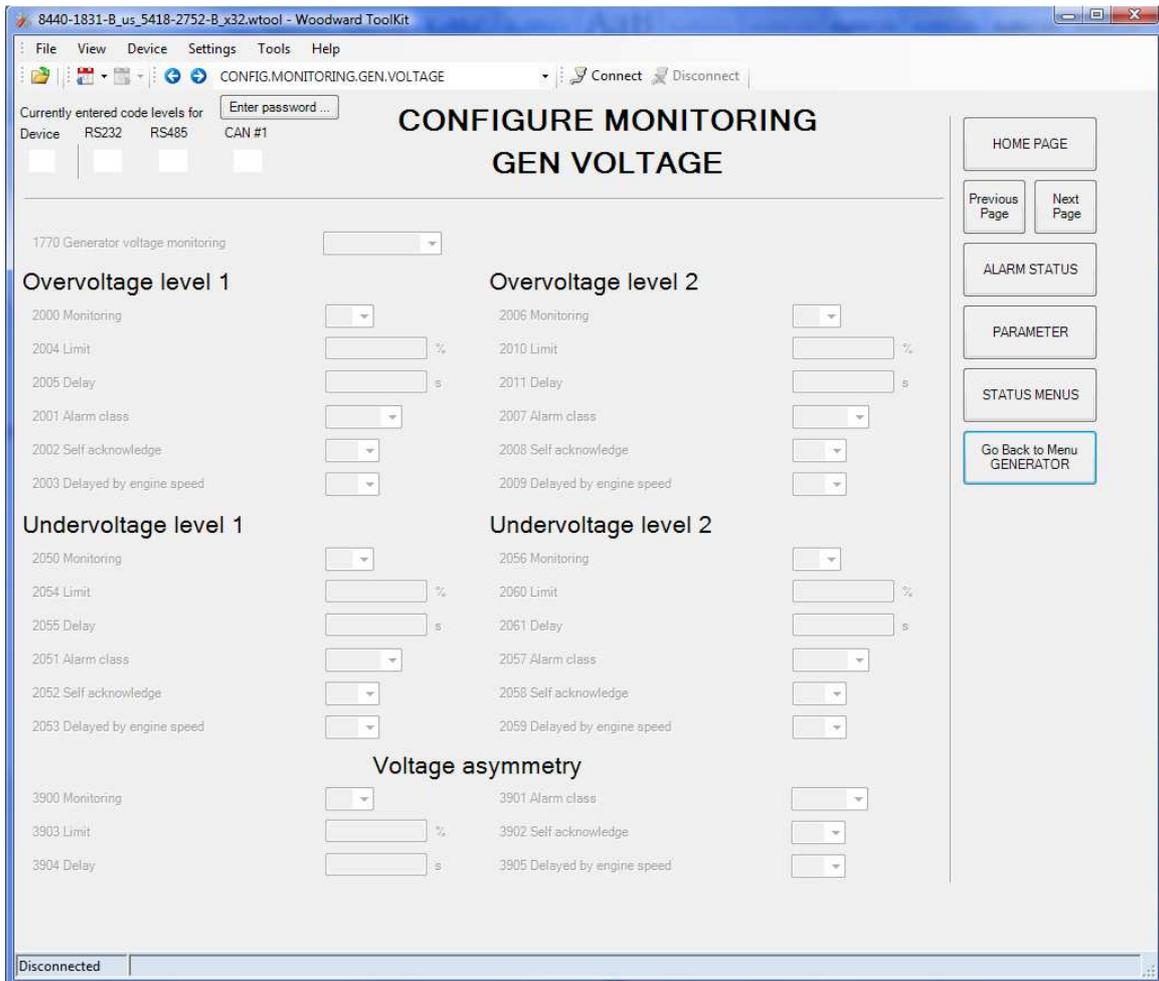


Figura 57 Gráfico de la consola de monitoreo del voltaje (Woodward)

1770 Generator voltage monitoring

Phase – phase

- **Sobre Voltaje Nivel 1**

2000 Monitoring On

2001 Alarm class Class B

2002 Self acknowledge No

2003 Delayed by engine speed No

2004 Limit 102%

2005 Delay 5,4s

- **Sobre Voltaje Nivel 2**

2006 Monitoring On

2007 Alarm class Class F

2008 Self acknowledge No

2009 Delayed by engine speed No

2010 Limit 103%

2011 Delay 2,4s

- **Bajo Voltaje Nivel 1**

2050 Monitoring On

2051 Alarm class Class B

2052 Self acknowledge No

2053 Delayed by engine speed Yes

2054 Limit 98%

2055 Delay 5,4s

- **Bajo Voltaje Nivel 2**

2056 Monitoring	On
2057 Alarm class	Class F
2058 Self acknowledge	No
2059 Delayed by engine speed	Yes
2060 Limit	97%
2061 Delay	3,4s

3.4.26 FACTOR DE POTENCIA

Aquí se configura el factor de potencia.

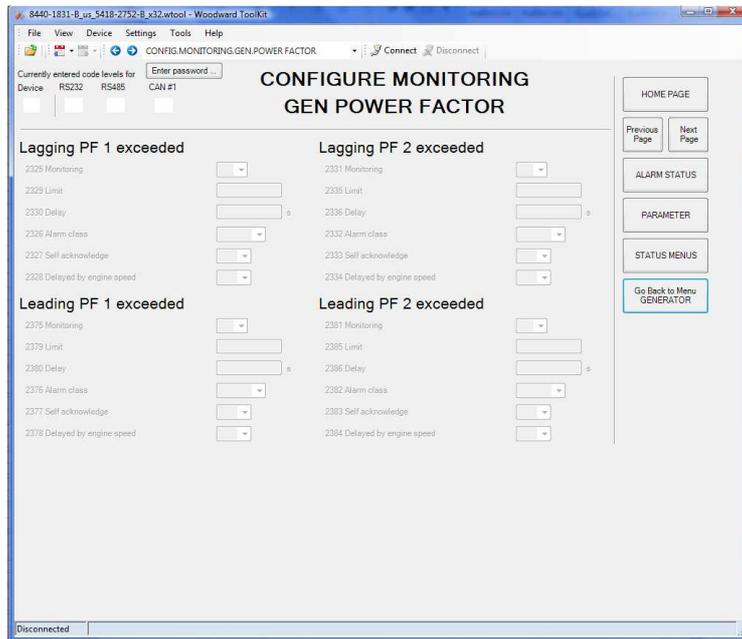


Figura 58 Gráfico de la consola de monitoreo del factor de potencia (Woodward)

- **Exceso del Factor de Potencia en retraso nivel 1**

2325 Monitoring	On
2326 Alarm class	Class B
2327 Self acknowledge	No
2328 Delayed by engine speed	Yes
2329 Limit	0,6
2330 Delay	30s

- **Exceso del Factor de Potencia en retraso nivel 2**

2331 Monitoring	On
2332 Alarm class	Class B
2333 Self acknowledge	No
2334 Delayed by engine speed	Yes
2335 Limit	0,5
2336 Delay	10s

- **Exceso del Factor de Potencia en adelanto nivel 1**

2375 Monitoring	On
2376 Alarm class	Class B
2377 Self acknowledge	No

2378 Delayed by engine speed Yes

2379 Limit -0,9

2380 Delay 30s

- **Exceso del Factor de Potencia en adelanto nivel 2**

2381 Monitoring On

2382 Alarm class Class B

2383 Self acknowledge No

2384 Delayed by engine speed Yes

2385 Limit -0,7

2386 Delay 10s

3.4.27 CORRIENTE

Límites y tiempo de sobrecorriente.

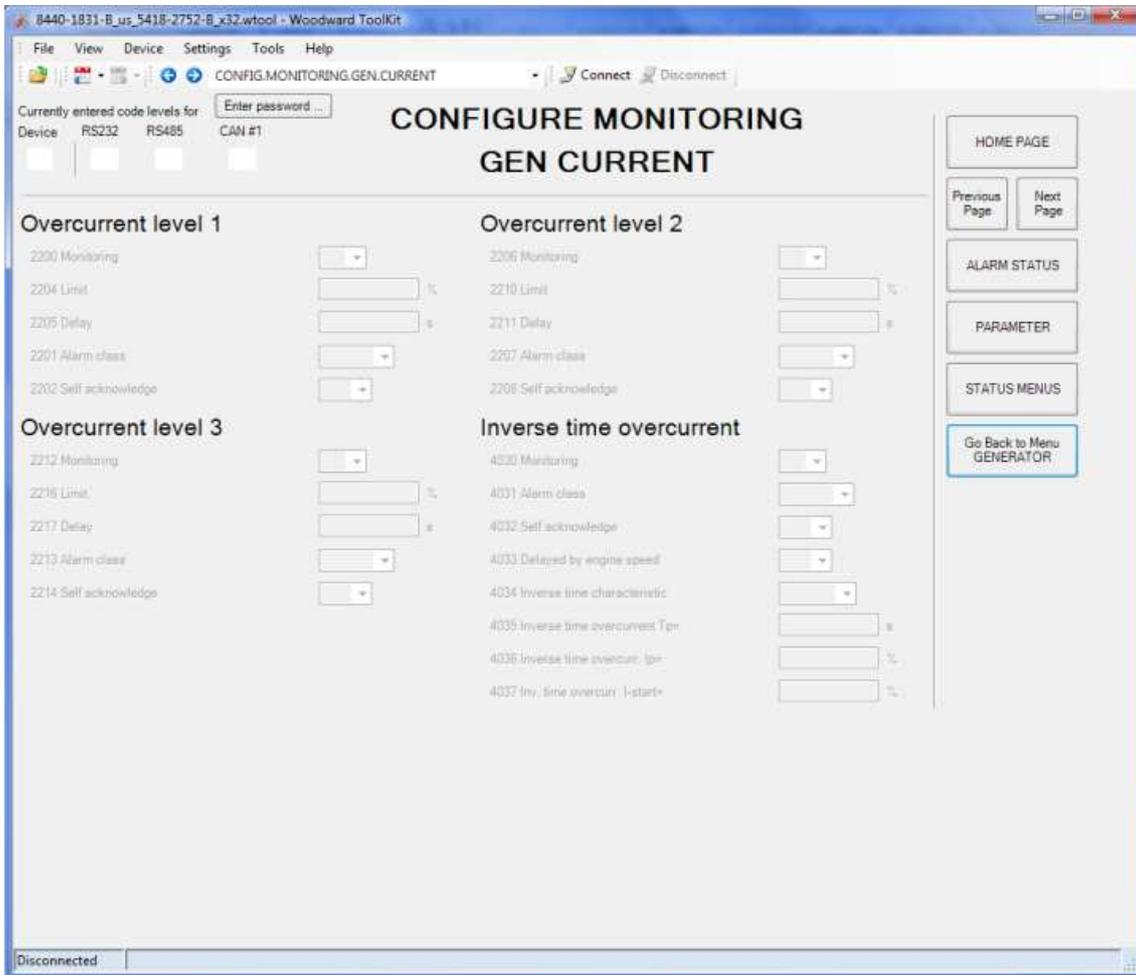


Figura 59 Gráfico de la consola de monitoreo de la corriente (Woodward)

- **Tiempo de sobrecorriente inversa**

4030 Monitoring	On
4031 Alarm class	Class F
4032 Self acknowledge	No
4033 Delayed by engine speed	No

4034 Inverse time characteristic	Normal
4035 Inverse time overcurrent $T_p=$	0,06s
4036 Inverse time overcurr. $I_p=$	100%
4037 Inv. time overcurr. $I_{start}=$	115%

- **Sobre corriente nivel 1**

2200 Monitoring	On
2201 Alarm class	Class E
2202 Self acknowledge	No
2204 Limit	110%
2205 Delay	30s

- **Sobre corriente nivel 2**

2206 Monitoring	On
2207 Alarm class	Class F
2208 Self acknowledge	No
2210 Limit	150%
2211 Delay	1s

- **Sobre corriente nivel 3**

2212 Monitoring	Off
2213 Alarm class	Class F
2214 Self acknowledge	No
2216 Limit	250%
2217 Delay	0,4s

3.4.28 FRECUENCIA

Límites de Frecuencia.

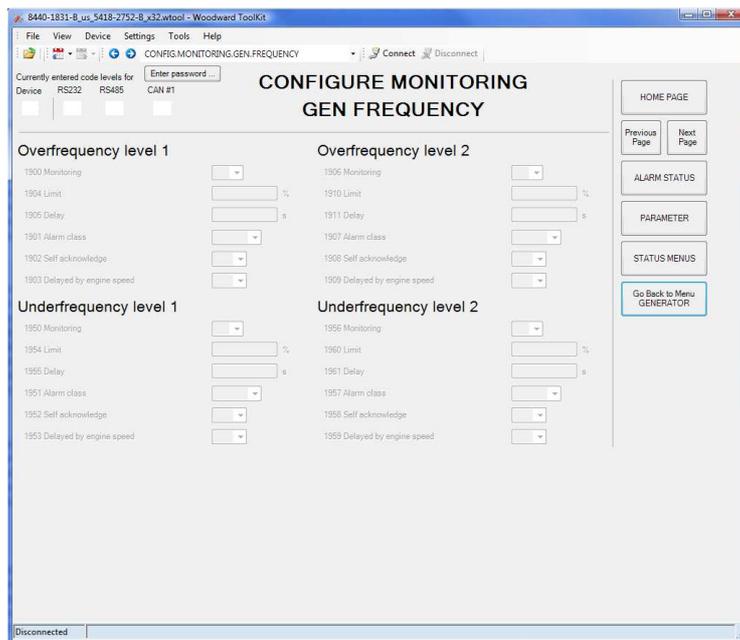


Figura 60 Gráfico de la consola de monitoreo de la frecuencia (Woodward)

- **Sobre Frecuencia Nivel 1**

1900 Monitoring	On
1901 Alarm class	Class B

1902 Self acknowledge	No
1903 Delayed by engine speed	No
1904 Limit	101%
1905 Delay	2s

- **Sobre Frecuencia Nivel 2**

1906 Monitoring	On
1907 Alarm class	Class F
1908 Self acknowledge	No
1909 Delayed by engine speed	No
1910 Limit	102%
1911 Delay	3s

- **Baja Frecuencia Nivel 1**

1950 Monitoring	On
1951 Alarm class	Class B
1952 Self acknowledge	No
1953 Delayed by engine speed	Yes
1954 Limit	98%

1955 Delay 2,4s

- **Baja Frecuencia Nivel 2**

1956 Monitoring On

1957 Alarm class Class F

1958 Self acknowledge No

1959 Delayed by engine speed Yes

1960 Limit 96,6%

1961 Delay 5,4s

3.4.29 SOBRECARGA

Niveles de sobrecarga.

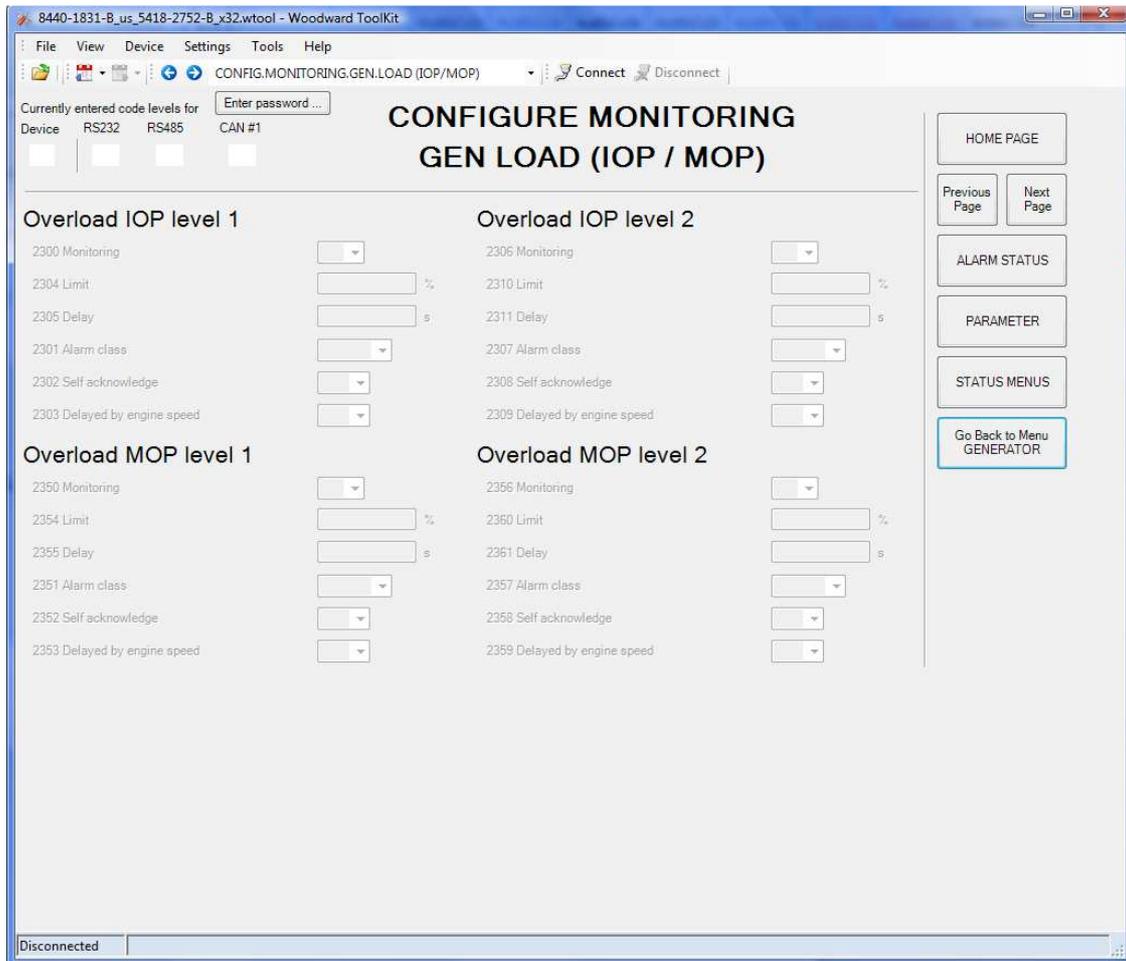


Figura 61 Gráfico de la consola de monitoreo de la carga (Woodward)

- **Sobre Carga Nivel 1**

2300 Monitoring	On
2301 Alarm class	Class B
2302 Self acknowledge	No
2303 Delayed by engine speed	No
2304 Limit	90%

2305 Delay 11s

- **Sobre Carga Nivel 2**

2306 Monitoring On

2307 Alarm class Class D

2308 Self acknowledge No

2309 Delayed by engine speed No

2310 Limit 100%

2311 Delay 0,1s

3.4.30 POTENCIA

Límites de potencia.

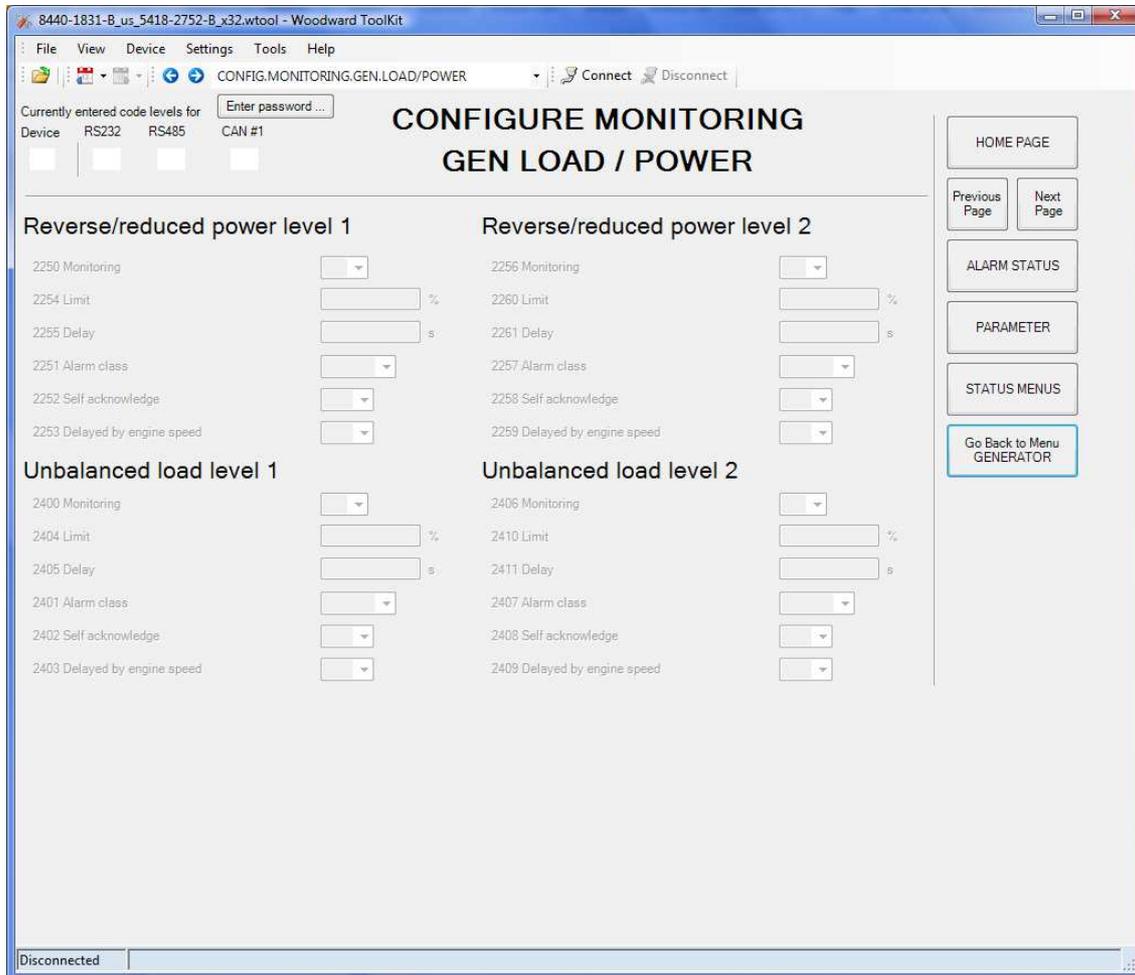


Figura 62 Gráfico de la consola de monitoreo de la carga / potencia (Woodward)

- **Potencia Inversa Nivel 1**

2250 Monitoring	On
2251 Alarm class	Class B
2252 Self acknowledge	No
2253 Delayed by engine speed	No

2254 Limit	-3%
2255 Delay	5s
<ul style="list-style-type: none"> • Potencia Inversa Nivel 2 	
2256 Monitoring	On
2257 Alarm class	Class F
2258 Self acknowledge	No
2259 Delayed by engine speed	No
2260 Limit	-5%
3 Delay	3s

3.4.31 REPARTICIÓN DE CARGA

Configuración de la repartición de carga.

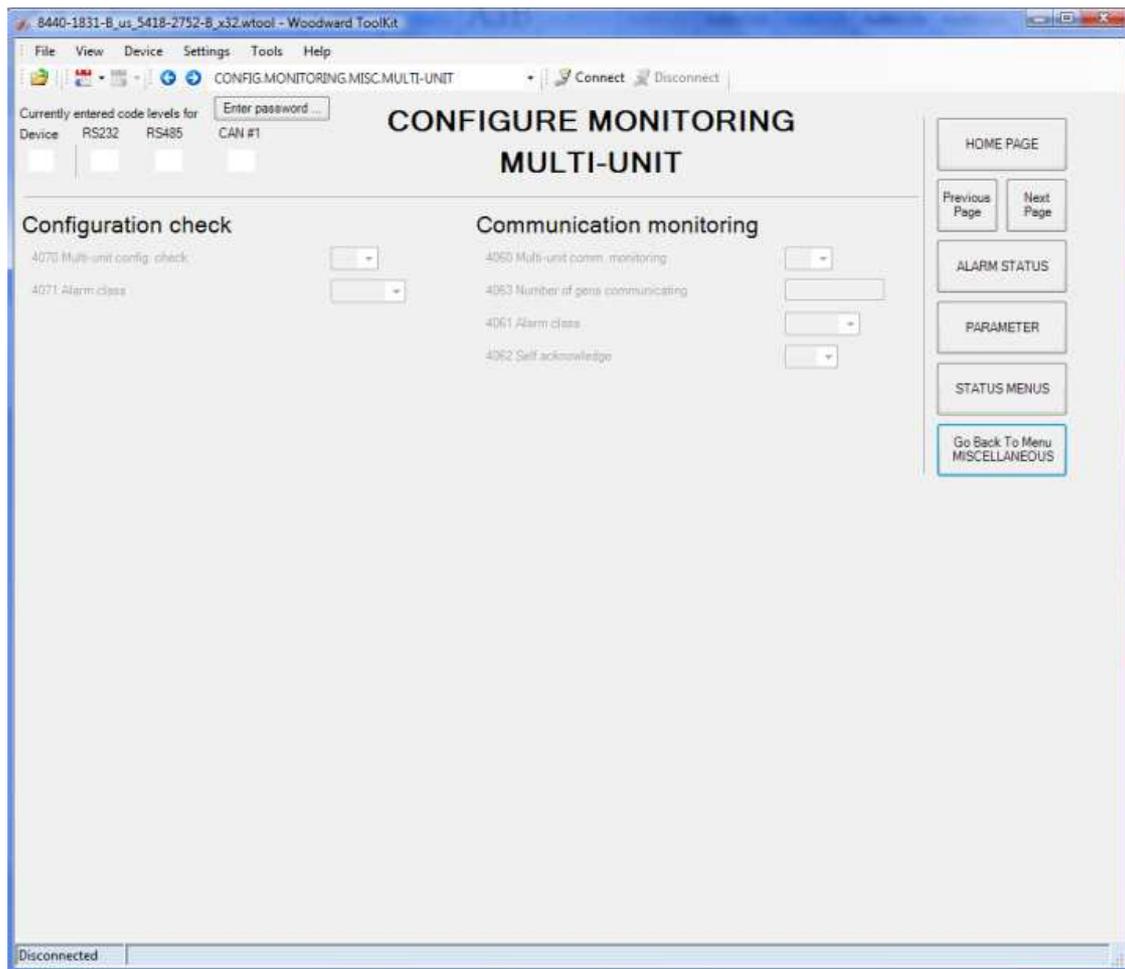


Figura 63 Gráfico de la consola de monitoreo de varias unidades (Woodward)

- **Repartición de carga**

4061 Alarm class	Class F
4062 Self acknowledge	No
4063 Number of gens communicating	6

3.4.32 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El diagrama de flujo se basa en el funcionamiento del equipo EasyGen 3200, al encender el equipo este por default se encuentra en modo STOP y permanece así hasta que el operador lo coloque en modo MANUAL y encienda el generador, en ese momento el equipo realiza el proceso de arranque y estabilización del generador, cuando el generador alcanza su tiempo un tiempo de establecimiento en vacío, entra a funcionar el sistema de monitoreo de alarmas del equipo el cual verifica si el generador se encuentra estable, el generador se encuentra en vacío hasta que el operador cambie el modo del equipo a AUTO, en este momento el equipo verifica se existe Barra Muerta o no, para escoger el modo de cierre del Breaker. Al cerrar el Breaker el generador entra en modo Isócrono, para detener al generador el operador colocará al equipo en modo STOP o en caso de detectarse una alarma que requiera del apagado del generador el equipo se colocará automáticamente en modo STOP.

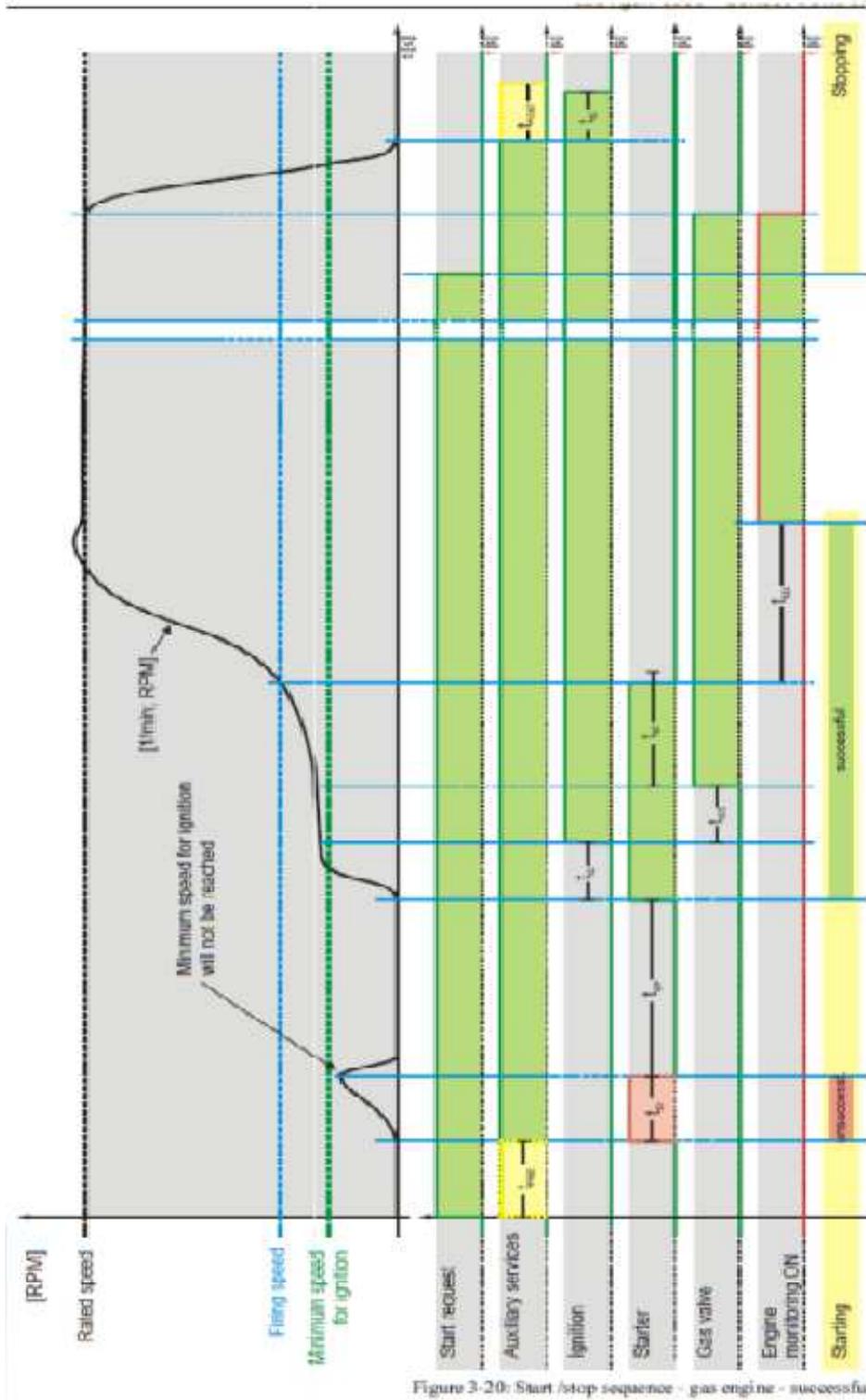


Figura 64 Gráfico del ciclo de arranque de los generadores (Woodward)

3.5 Relé de protección multifunción Woodward CSP2-T, parámetros básicos de programación.

En el anexo 8 se detallan los parámetros básicos de programación del relé de protección Woodward CSP2 - T

3.5.1 Definición de Diagrama Unifilar.

Un diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica o parte de una. Se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol.

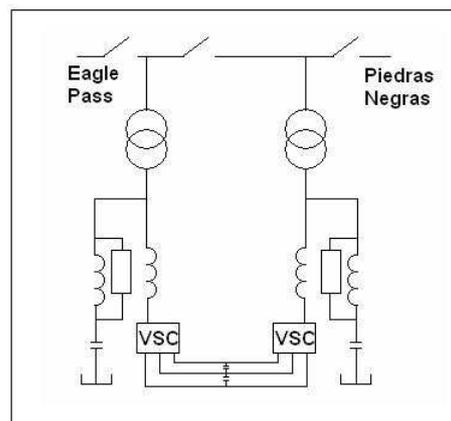


Figura 65 Gráfico de un diagrama unifilar

(<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno07/FACTS/20.JPG>)

3.5.2 Diagrama del relé de protección CSP2 - T.

A continuación se anexa la grafica del relé de protección CSP2 – T.

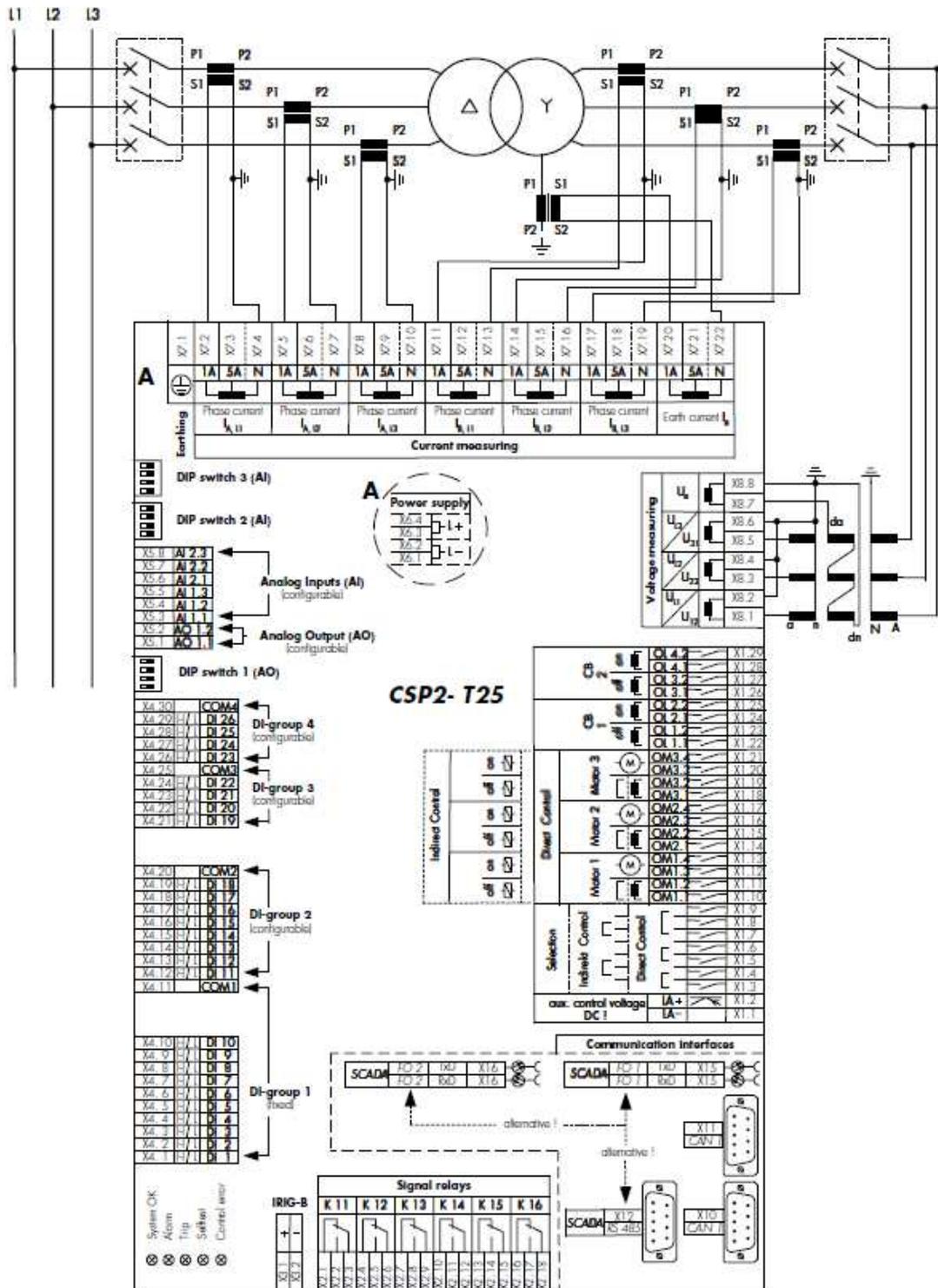


Figura 66 Gráfico del diagrama de conexión del relé CSP2 - T (Woodward)

3.6 Programación del CSP2-T, para el monitoreo del sistema eléctrico y coordinación de protecciones

En el anexo 9 se detalla la coordinación de protecciones eléctricas de acuerdo al diagrama unifilar del anexo 6 del cual se tomó los datos para realizar el estudio.

Capítulo 4: Análisis de resultados

4.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo mostrar el funcionamiento del nuevo sistema de generación, administración energética y de protecciones que se instaló en el campo de facilidades MDC de la compañía ENAP SIPETROL. Además también se anexa los datos del comisionado para su análisis de acuerdo a las pruebas que se realizaron del sistema de control y fuerza. Se discutirá la importancia de esta implementación y cuáles fueron sus aportes al sistema global que la empresa requería para su utilización en MDC y otras facilidades. A continuación se detallan las pruebas de desempeño a las que fueron sometidos los equipos de generación, protecciones y control. Donde se analiza los puntos más críticos que significa poner en servicio un sistema de generación, administración energética y protecciones anexo a un sistema antiguo de similares características.

Proceso de comisionado

Exposición de datos y Análisis

A continuación se recoge los datos de los comisionados realizados a cada equipo y guiados como referencia para la aceptación nos basamos en la norma NETA (National Electrical Test Association) la cual se adjunta en los anexos para soporte.

Para realizar el comisionado de los cables de fuerza de cada generador, se agruparon por fase y se aislaron por completo a cada extremo del cableado, verificando que no exista ninguna posibilidad de que haya contacto entre fases o

con alguna persona. Se realizo el comisionado diferentes medidas. Fase-Fase, Fase- Aislamiento, Fase tierra.

Comisionado Cables Generador #5

Calibre: 750 AWG-KCMIL

Longitud Aprox: 125m

Capacidad : 885A

Espesor aislacion: 1.78mm

Diametro Total: 25mm

Voltaje Aplicado: 1000 V

Fase	Fase-Aislamiento (GΩ) 1'	Fase-Aislamiento (GΩ) 2'	Fase-Tierra (GΩ) 1'	Fase-Tierra (GΩ) 2'	Fase-Fase (GΩ) 1'	Fase-Fase (GΩ) 2'
R1	581	850	5.54	13.5	3.03	4.45
R2	249	268	5.8	20.8	5.8	12.9
R3	139	185	12.6	49.9		
S1	204	249	5.8	13.6	3.03	
S2	220	299	6.5	14.6	2.38	3.52
S3	145	200	1.32	1.66	5.5	10.4
T1	260	342	5.74	12.3		
T2	324	400	3.48	12.5	13.8	20.2
T3	165	207	17.5	34.4	7.34	15
N1	268	315	9.62	31.8	11.2	19.9
N2	669	669	9.27	27.1	12.6	20.7

Tabla 3 Resultados del comisionado de cables Generador 5

Comisionado Cables Generador #6

Calibre: 750 AWG-KCMIL

Longitud Aprox: 125m

Capacidad : 885^a

Espesor aislacion: 1.78mm

Diametro Total: 25mm

Voltaje Aplicado: 1000V

Fase	Fase-Aislamiento (GΩ) 1'	Fase-Aislamiento (GΩ) 2'	Fase-Tierra (GΩ) 1'	Fase-Tierra (GΩ) 2'	Fase-Fase (GΩ) 1'	Fase-Fase (GΩ) 2'
R1	581	850	6.59	12.3	13.2	12.3
R2	249	268	6.68	14.1		
R3	139	185	8.7	17.7		
S1	204	249	6.1	14.6	13.2	
S2	220	299	8.17	16.6	5.6	13.5
S3	145	200	6.78	13.1		
T1	260	342	6	12.6	5.6	
T2	324	400	8.3	18.1	8.6	13.8
T3	165	207	8.4	20.5		
N1	268	315	5.4	9.52	6.8	10.4
N2	669	669	8.55	16.6	7.4	12.3

Tabla 4 Resultados del comisionado de cables Generador 6

Análisis Pruebas de Aislamiento de Cables: Para el nivel de trabajo del sistema de generación es suficiente tener un nivel de aislamiento de 100MΩ a 1000V, estos datos son tomados de la norma NETA Anexo XX.

Como se puede observar en todas las conexiones que se realizaron se obtuvieron valores por sobre lo que requiere el sistema. Durante la instalación y tendido de cable se realiza esta prueba, además previo a la puesta en marcha, ya que durante la instalación su chaqueta aislante puede sufrir daños o cortes que podrían significar que sus propiedades aislantes se minoren, La fuga de corriente en un cable puede llegar a causar la muerte a una persona. Con el tiempo y la temperatura la chaqueta de los cables tiende a cristalizarse volviéndose más frágil para su manipulación.

MEGADO AISLAMIENTO ENTRE

FASES INTERRUPTORES

E2NBK3

SACE E2N ABB 2000A, 480V, MODULATED CASE

Tiempo: 60s

	A-B (GΩ)	B-C (GΩ)	A-C (GΩ)
250V	233	441	517
500V	241	336	342
1000V	216	308.6	293
2500V	909.6	126	163
5000V	59.6	65.5	98.5

Tabla 5 Resultados del comisionado de aislamiento entre fases de interruptores

E2NBK5

SACE E2N ABB 2000A, 480V, MODULATED CASE

Tiempo: 60s

	A-B (GΩ)	B-C (GΩ)	A-C (GΩ)
250V	750	750	750
500V	979	965	1500
1000V	395	990	940
2500V	556	724	559
5000V	327	339	396

Tabla 6 Resultados del comisionado de aislamiento entre fases de interruptores

Análisis Pruebas de Aislamiento de Interruptores: Para el caso de los interruptores el nivel del aislamiento esta por sobre los que requiere sistemas de 1000V, el aislamiento mínimo debe ser 100MΩ, por lo que con esto podemos constatar que tenemos nivel de aislamiento optimo.

Con esto se puede constatar que en caso que el sistema sufra un cortocircuito entre fases el menos

probable que tengamos daño al nivel de interruptores.

Aislamiento entre sistema de barras

8000A, 480V, 100kA.

Tiempo: 60s

	1000V	2500V
$\phi A-\phi B$ (G Ω)	888	997
$\phi B-\phi C$ (G Ω)	1146	1126
$\phi A-\phi C$ (G Ω)	1846	1456
$\phi A-N$ (G Ω)	42.6	27.2
$\phi B-N$ (G Ω)	54.7	24.1
$\phi C-N$ (G Ω)	55.7	27.5
$\phi A-Gr$ (G Ω)	389	357
$\phi B-Gr$ (G Ω)	697	681
$\phi C-Gr$ (G Ω)	876	66

Tabla 7 Resultados del comisionado de aislamiento del sistema de barras

Análisis Pruebas de Aislamiento del sistema de barras: Dentro de la interconexión entre el sistema antiguo y el nuevo fue de suma importancia realizar el análisis del nivel de aislamiento de la barra unificada, ya que de esta manera se garantiza que las conexiones se realizaron correctamente. Para el caso de las barras el nivel del aislamiento esta por sobre los que requiere el sistema, a 1000V el

aislamiento mínimo debe ser 100MΩ, por lo que con esto podemos constatar que tenemos nivel de aislamiento optimo en todas la mediciones realizadas.

MEGADO RESISTENCIA ENTRE CONTACTOS DE LOS INTERRUPTORES

E2BK1
SACE E2N ABB 2000A, 480V,
MODULATED CASE

	Resistencia (mΩ)	Amps	Volts
Fase A	7.93	100.6	797.8
Fase B	5.13	100.6	515
Fase C	6.66	100.6	669.9

Tabla 8 Resultados del comisionado de resistencia de contactos breaker E2BK1

E2BK2
SACE E2N ABB 2000A, 480V,
MODULATED CASE

	Resistencia (mΩ)	Amps	Volts
Fase A	10.07	100.7	1012
Fase B	4.78	100.6	480.5
Fase C	4.72	100.6	475

Tabla 9 Resultados del comisionado de resistencia de contactos breaker E2BK2

E2BK3
SACE E2N ABB 2000A, 480V,
MODULATED CASE

	Resistencia (mΩ)	Amps	Volts
Fase A	4.93	100.6	495
Fase B	10.06	100.5	1014
Fase C	4.07	100.5	409.2

Tabla 10 Resultados del comisionado de resistencia de contactos breaker E2BK3

Análisis Pruebas de Resistencia mínima de contactos: Esta evaluación se realiza para verificar el buen estado de los contactos en los interruptores. Como se puede ver se tiene valores que no superan los 10 mΩ con lo que se puede dar por aceptado la resistencia mínima de contacto de los interruptores.

4.2 Pruebas de desempeño.

Parte más crítica de un proyecto son las pruebas de desempeño, que es donde realmente se evalúa si el sistema responde de acuerdo a sus diseño, comisionado e implementación. Inicialmente se comprobaron por separado los circuitos de encendido del motor Waukesha. Esta prueba se hace netamente en vacío, el objetivo principal es la verificación de que el sistema responde correctamente con la secuencia de arranque. Con esto se fijan los parámetros de encendido del motor, parámetros que deben de estar relacionados con la programación en el easyGen3200:

- Tiempo de Pre-lubricado
- Tiempo de funcionamiento de motor de arranque
- Tiempo de apertura de válvula de gas
- Acciones en caso de arranque fallido
- Encendido del sistema de radiadores
- Compatibilidad de señales
- Tiempo de paso velocidad Idle a nominal

- Accionamiento de sistema de parada de emergencia

Este proceso tiene la finalidad de realizar un ajuste en todo el sistema mecánico lo que incluye regulación de válvulas de gas, regulación de medidores de presión, calibración de y programación de señales en el ESM (Engine System Manager). Toda esta secuencia se realiza en vacío sin interferir desde el control remoto del EasyGen 3200.

Posteriormente se efectúa el arranque desde los tableros de control específicamente desde cada tablero. La verificación de la correcta programación de las entradas digitales que monitorean al motor como son:

- Alto nivel de condensados.
- Bajo nivel de aceite.
- Bajo nivel de agua.
- Alarma y Shut Down de motor (ESM).
- Estatus del ventilador.

Todas estas entradas deben ser visualizadas y tener correspondencia con las conexiones en el tablero de control. Otro objetivo de este procedimiento es definir el tipo de alarma al que está sujeto estas estradas desde el motor. Recordemos que el equipo tiene 7 niveles de alarmas dependiendo la acción o injerencia se requiera. Es de vital importancia verificar esto ya que con de esta manera se garantiza un monitoreo real del funcionamiento del motor. Una vez finalizadas estas dos partes preliminares es seguro continuar con el arranque con plena

certeza de que en cualquier emergencia vamos a ser capaces de detener esta secuencia si hubiere algún inconveniente.

El Arranque se da accionando el equipo de acuerdo modo de utilización del easyGen3200 por medio del Display LCD, a continuación una muestra de los botones con los cuales se inicia el arranque del generador, cambiando el equipo de modo STOP a modo MANUAL, accionando directamente el encendido del motor.

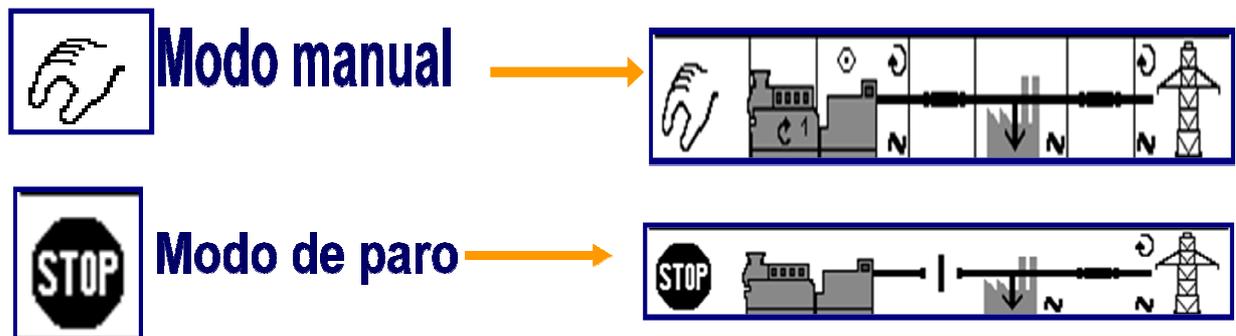


Figura 67 Gráfico de los modos de operación easyGen 3100 (Woodward)

Las Salidas digitales comienzan a accionarse de acuerdo a la lógica definida para cada relay, para nuestra aplicación se tiene una bomba de pre-lubricado antes de encender el motor de arranque, se cumplen 30 Segundos antes de que comienza a dar giro al motor. También se acciona el sistema eléctrico para arranque de radiadores que funcionan a 480V, los cuales cumplen con la funcionalidad de enfriar al sistema de refrigeración.

Desde el momento de encendido el easyGen3200 comienza a monitorear todas la variables del motor y generador, como por ejemplo la frecuencia del sistema(o

RPM en términos mecánicos) los cuales tiene una respuesta a de acuerdo al estado del Motor-Generador, la frecuencia en la que el controlador de EasyGen3200 comienza a tener injerencia sobre la velocidad del grupo es de 40Hz, a partir de este valor el speed bias empieza a funcionar, este valor es netamente programable. Así también se puede controlar cambio de velocidad Idle a la velocidad de operación o nominal que son 60Hz.

Por otro lado para el control del voltaje se tiene un porcentaje desde el cual el control se empieza a ejercer sobre el alternador, en la programación se evidencia que se lo programo desde el 5% de su voltaje nominal. El equipo va a procurar estabilizar el grupo electrógeno a sus valores nominales, dependiendo de la calibración mecánica que el motor tenga ya que de esto depende mucho la estabilidad de todo el grupo electrógeno. En nuestro caso le toma al equipo 120 segundos alcanzar estos valores y que estén preparados para el sincronismo.

Antes que el generador sea colocado en sincronismo se realiza una última prueba con el interruptor, verificándolo en Modo TEST (tiene todas las funcionalidades de apertura y cierre mas no conecta al generador con las barras) esto se efectúa con la finalidad de probar la apertura y cierre del breaker. Además se debe verificar que exista comunicación CAN BUS entre todos los módulos del sistema eléctrico, para que se pueda realizar la repartición de carga activa y reactiva. Luego de cerciorarse de que tenemos control sobre interruptor, las variables de frecuencia y voltaje, insertamos el interruptor y se inicia la secuencia de sincronismo colocando en modo AUTO el equipo.



Modo automático

En este momento tanto el controlador de velocidad como el controlador de Voltaje comienzan a buscar las condiciones de sincronismo, con referencia al bus bar se busca tener las siguientes condiciones:

- Mismo Amplitud de Voltaje
- Mismo Frecuencia
- Mismo Angulo de Fase

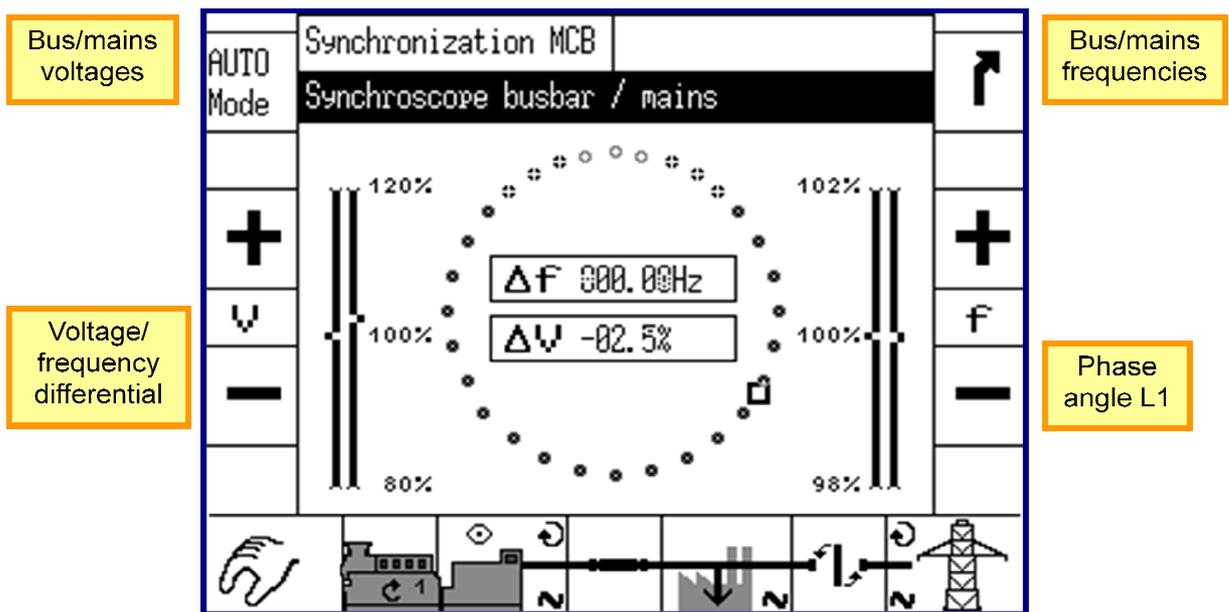


Figura 68 Gráfico del modo automatico de sincronización (Woodward)

El sincronoscopio nos indica cual el estado de las variables para sincronizarse. Se puede visualizar la diferencia de Frecuencia y Diferencia de Voltaje. La ventana de

sincronismo es configurable dependiendo de la aplicación, ajustando los límites de operación.

Cuando se cumplan las condiciones de sincronismo el equipo ordena el cierre del interruptor. Sincronizando así el generador contra la barra principal, el generador comienza a tomar carga en rampa. Alcanzando 570 Kw se reparte la carga activa y reactiva de manera uniforme, en este punto se debe de calibrar los controladores de voltaje y de frecuencia por medio de control PID para tener la mínima variación con lo programado previo a su arranque es necesario verificar que los comandos de arranque corresponda a cada acción.

4.3 Ventajas y desventajas del nuevo sistema implementado

- El acoplamiento de los dos generadores no presentaron ningún problema en el momento de que todos los equipos trabajen en paralelo, se distribuyan la carga activa y reactiva. Lo que demuestra la alta compatibilidad de los equipos y eficiencia en el manejo de sus variables. Con esto se puede evidenciar el rendimiento de los equipos, la funcionalidad del diseño y la eficacia de la programación.
- El sistema tiene una gran ventaja de trabajar independientemente y cuando se requiera se acople con el tablero de control antiguo, en los dos casos luego de realizadas las pruebas de desempeño, se pudo evidenciar que el sistema en sus dos formas de funcionamiento trabaja muy establemente.

- Es un sistema netamente automatizado, el operador únicamente tiene que aplastar un botón para que comience a funcionar todo el sistema, a diferencia de otros equipos de sincronización y administración de carga que necesitan en todo momento la acción del ser humano a lo largo del proceso de encendido de los mismos.
- Todo el sistema posee una distribución uniforme de carga, lo que permite que cuando un generador caiga por alguna falla o apagado accidental o de emergencia del mismo, se distribuya la carga de este entre los otros grupos electrógenos que se encuentren funcionando en ese instante.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

- La estructura de soportes de la caja de barras principal después de realizados los ajustes en los pernos con los torques adecuados no evidenciaron ningún tipo de estrés mecánico ni daños en su estructura por exceso de peso, trabajan perfectamente con el peso total de la caja principal de barras.
- Después de las pruebas de aislamiento realizadas entre las fases de la caja de barras principales y entre las fases y tierra, los resultados obtenidos en las pruebas resultaron que para un voltaje de 1000 VAC los niveles de aislamiento entre fases y entre fases y tierra son los adecuados; con la finalidad de asegurar al máximo esta condición, se realizaron las mismas pruebas en el equipo para un nivel máximo de voltaje de 2500 VAC, obteniendo excelentes resultados en este nivel de voltaje, lo cual indica que el sistema es muy robusto y que cumple con todas las normas bajo las cuales se lo construyó.
- Todos los equipos y dispositivos eléctricos fueron sometidos a pruebas con los equipos MEGGER, y pasaron las mismas, esto nos aseguró el funcionamiento del sistema antes de someterlo a las pruebas de desempeño, por ello ya en las pruebas de desempeño no hubo ningún inconveniente o falla en el sistema lo que nos indica que el realizar un comisionado exhaustivo de todos los equipos asegura el funcionamiento general del sistema y reduce al máximo la posibilidad de fallas y riesgos para los seres humanos que operan el mismo.

- De acuerdo con los diseños iniciales de este proyecto hasta la implementación del mismo se dio cumplimiento un 96% de la ingeniería aprobada por el cliente. Siendo una cifra significativa donde se logró acercarse a los diseños iniciales gracias al dominio de los responsables de obra que fueron los encargados de cumplir con todos los requerimientos que se oferto desde el comienzo. Por parte del cliente hubo gran aceptación de la obra en general
- La implementación de este nuevo sistema favorece en gran medida al sistema de generación global, debido a que se tiene en operación barras separadas con opción a que se interconecten por medio de un breaker de 6000A. Esto da gran versatilidad al sistema ya que se puede trabajar como un sistema centralizado de generación para abastecer todo el consumo de este campamento o de manera separada de acuerdo a la demanda energética.
- El Rendimiento de los motores se estima llega al 76% de su capacidad, este factor es muy independiente del equipo ya que está más enfocado al combustible que se está usado para estos motores. El cual no tiene un tratamiento previo para su mejoramiento. Esto significa una reducción de su capacidad sin embargo por la parte del control se tiene un 100% en la utilización de las herramientas para sacar el máximo provecho de la capacidad del motor.
- En el diseño de la caja principal de barras de distribución hay que reducir al máximo el uso de empalmes entre barras, para evitar puntos calientes en

las uniones de los mismos, por esta razón es recomendable idearse un diseño que tenga barras con un solo cuerpo para la interconexión entre los breaker y la caja principal de barras; si es inevitable realizar un empalme de barras hay que asegurarse de utilizar un soporte metálico adecuado y que los pernos de unión sean ajustados según la norma dependiendo del tipo de pernos que se usen.

- Todos los equipos y dispositivos eléctricos que se vayan a usar en la construcción del circuito de control deben tener normas internacionales de construcción y regirse a las normas usadas según los términos del contrato, para evitar daños en el equipo y dar completa garantía al cliente.
- A lo largo de la construcción del circuito de control es recomendable realizar un pre-comisionado en el mismo para reducir al máximo la posibilidad de fallas cuando se instale definitivamente el sistema y al realizar el comisionado final y detectar algún problema, los cambios para remediarlo sean mínimos y fáciles de implementar.

Bibliografía

1. Caterpillar. Curso de sistemas del generador.
2. Cooper Development Association. Ampacities and Mechanical Properties of
Rectangular Copper Busbars.
3. S.A. Nasar. Máquinas Eléctricas operación en estado estacionario.
México: Compañía editorial continental S.A., primera edición
1993.
4. Powermat Manual. Busbar supports manuals.
5. Serway y Beichner. Tomo II Física para las ciencias e ingeniería
México: McGRAW-HILL, quinta edición 2000.
6. Woodward Manuals. SEG, Combined protection and control system CSP2 –
T
transformer differential protection.
7. Woodward Manuals. easyGen 3000 – series Genset control installation
manual.
8. Woodward Manuals. easyGen 3000–series Genset control configuration
manual.

9. Woodward Manuals. easyGen 3000 – series Genset control operation manual.
10. Woodward Manuals easyGen 3000 – series Genset control application manual.
11. Woodward Manuals easyGen 3000 – series Genset control interface manual.
12. Woodward Manuals easyGen 3000 – series Genset control parameter list.