



Decanato de Ingeniería e Informática

Escuela de Ingeniería

Tesis de Grado para Optar por el Título de:

Ingeniero Eléctrico Mención Potencia

Propuesta para la sincronización automática de 2 generadores de 600 KW de alta eficiencia para la sustitución de 2 generadores de 600 KW de baja eficiencia, sincronizados manualmente en Industrias Petroquímicas

Sustentantes:

Br. Natan Genao Hernández	2005-0270
Br. Mark Luis Casado Concet	2009-1621

Asesor:

Prof. César Félix

Distrito Nacional
República Dominicana
1 de Agosto del año 2015

DEDICATORIA

A mis padres quienes me han apoyado durante toda mi vida.

Mark Anthony Casado, gracias por todo tu apoyo, tus sacrificios y por siempre creer en mí.

Nancy Altagracia Concet, gracias por tu cariño, tu apoyo y por todos los valores que me has inculcado para hacer de mi un hombre de bien y responsable.

A mi hermano **Nicolás Casado**, por toda tu ayuda al final de este proceso.

A mi novia **Ashyadeé Santana**, por apoyarme, por creer en mí y por siempre estar dispuesta a ayudarme en cualquier situación de la vida.

A mis amigos **German Vargas, Jean Carlos Castillo, Raúl Díaz, Emil Rodríguez, Lyonel Virgil y Albert Santos**, con quienes he compartido muchas experiencias y han aportado su granito de arena durante toda mi trayectoria académica.

A mis profesores **Rogelio Caminero, Carlos Javier y Ramón Pérez** quienes siempre estuvieron a la disposición para orientarme tanto en lo personal como en lo académico.

Mark Luis Casado Concet

A **Dios** quien en todo el trayecto de mi vida ha estado presente siendo mi soporte.

Rafael Genao De Los Santos, por tan enorme esfuerzo durante mi niñez, juventud y todo el proceso, en el cual siempre has dicho presente para ser un padre ejemplar.

Edys Hernandez Rodriguez De Genao, gracias por ser columna de mi vida, muy en particular doy gracias a ti por creer en mí cuando nadie más creía.

A mi hermano **Jose David Genao Hernandez**, por orientarme durante toda mi carrera.

A mi hermana **Mailissy Elizabeth Genao Hernandez**, en cada momento dabas a entender que era un vencedor y esto me daba fuerzas para continuar, gracias.

A mi esposa **Denisse Adalisi Otero Terrero De Genao**, eres un ser muy especial enviado a mi vida para ser mi guía cuando perdía mis fuerzas, gracias por estar siempre para mí.

A mi hija **Janice Adeline Genao Otero**, eres el tesoro más grande que Dios me ha entregado, eres y siempre serás la fuerza de voluntad para continuar desarrollándome, gracias por existir en mi vida.

A mis amigos **Jean Carlos Castillo, Raúl Díaz, Emil Rodríguez, Lyonel Virgil y Albert Santos**, con quienes he compartido muchas experiencias y han aportado su granito de arena durante toda mi trayectoria académica.

A mis profesores **Cesar Félix y Carlos Javier** siempre prestos ayudarme en todo.

Natan Genao Hernandez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar al **Dios Todopoderoso**: Por darme la vida, salud, y ofrecerme los medios para poder llevar a cabo el plan de vida que solo El quiere para mí.

A la **Universidad APEC (UNAPEC)**: Por abrirme las puertas de sus aulas, enriquecer mis conocimientos y darme la oportunidad de convertirme en un profesional competente.

A nuestro Asesor, **Ing. César Félix**: Por su dedicación, orientación y por siempre ayudarnos en los momentos que le necesitamos.

A mi compañero de tesis **Natan Genao Hernández** quien me ha acompañado durante un largo trayecto y aparte de ser mi colega, se ha convertido en un gran amigo personal.

Mark Luis Casado Concet

En primer lugar a **Dios Todopoderoso**: Por darme todo lo que siempre necesite y he necesitado en momentos de abundancias y escases siempre estas presente.

A la **Universidad APEC (UNAPEC)**: Por abrirme las puertas de sus aulas, enriquecer mis conocimientos y darme la oportunidad de convertirme en un profesional competente.

A nuestro Asesor, **Ing. César Féliz**: Siendo el ente que se esforzó para que terminara mi universidad, quiero agradecerle en gran manera, más que un profesor es mi amigo.

A mi compañero de tesis **Mark Luis Casado Concet** buen amigo y colega, agradezco por ser parte de este proceso, eres un gran amigo.

Natan Genao Hernandez

Lista de figuras

Figura 1 Sección Transversal del Generador de Cuatro Polos (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011)	17
Figura 2 Generador auto-excitado (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015)	20
Figura 3. Generador con Excitación por Separado (PMG) (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015).....	21
Figura 4 Motor de dos tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)	22
Figura 5. Motor de dos tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)	23
Figura 6 Motor de cuatro tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)	25
Figura 7 Motor rotativo tipo Wankel. (1) Admisión, (2) Compresión, (3) Expansión, (4) Escape (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)	26
Figura 8. Gobernador mecánico (Governors Training Module, Cummins, 2001)	29
Figura 9. Gobernador speed-droop (Governors Training Module, Cummins, 2001).....	30
Figura 10. Gobernador isochronous (Governors Training Module, Cummins, 2001)	31
Figura 11. Gobernador electrónico Woodward (www.woodward.com/PreProgrammedEGDSpeedAPECSDPG.aspx).....	32
Figura 12. Diagrama unifilar interruptor de transferencia (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014).....	43

Figura 13 Switch de transferencia automática Cummins Power Generation (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)	46
Figura 14. Control instalado en grupo electrógeno. (CMT0177 - Fundamentals of Power Generation PG V1.2, 2011)	47
Figura 15. PowerCommand 3300 Cummins Power Generation. (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	49
Figura 16. Topología Independiente (Standalone) (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	55
Figura 17. Topología Synchronizer only (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	55
Figura 18. Topología barra aislada (Isolated Bus) (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	56
Figura 19. Topología utilidad Individual (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	56
Figura 20. Topología utilidad múltiple (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	57
Figura 21. Topología control de transferencia de potencia (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)	57
Figura 22. Grupos Generadores conectados a una barra común, simultaneamente alimentando a una carga común (T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014).	65
Figura 23. Grupos generadores conectados a una barra comun, simultaneamente alimentando una carga comun (T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014).....	67

Figura 24. Switchgear en Cummins Power Generation ubicado en Fridley (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)	69
Figura 25. Arreglo de barras horizontal “Cross Buss” Switchgear en Cummins Power Generation ubicado en Fridley (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).	70
Figura 26. Esquema de un breaker de montaje fijo motorizado (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).....	71
Figura 27. Esquema de un breaker móvil motorizado (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).	72
Figura 28.. Instrumentación de un switchgear (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)	73
Figura 29. Fusible montado en un CPT (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).	74
Figura 30. (1) Transformadores de potencia (PT) o de voltaje (VT) instalados en el panel de un switchgear. (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).....	75
Figura 31. Transformadores de corriente (CT) instalados en barras alimentadoras. (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).....	76
Figura 32. (1) Transductor Power Plex Bitronics, (2) Transductor 70 (M572) (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)	77
Figura 33. Comparación de voltajes con la red. (Elaboración propia)	78
Figura 34. Sincronización de un generador monofásico con la barra infinita, por medio de lámparas. (Elaboración propia).....	79

Figura 35. Desigualdad de secuencia de fases, las lámparas no brillan simultáneamente (Elaboración propia).....	81
Figura 36. Excitatriz y AVR (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015).....	83
Figura 37.Método de sincronización por medio de lámparas. (Elaboración propia).....	84
Figura 38. Sincronización de generador trifásico con la barra infinita, por medio de lámparas. (Elaboración propia).	85
Figura 39. Método de las lámparas apagadas. (Elaboración propia).	87
Figura 40. Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga. (Elaboración propia).	88
Figura 41.Discrepancia de frecuencia entre un generador y la barra de carga. (Elaboración propia).....	88
Figura 42.Sincronoscopio en fase cero Siemens Instruments (http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5517-funcionamento-de-um- sincronoscopio/).....	90
Figura 43. Generador Cummins Power Generation con motor VTA28 (Data Sheet VTA28 C600D6, Cummins power Generation, 2015)	114
Figura 44.Control PowerCommand 3300 (Data Sheet VTA28 C600D6, Cummins power Generation, 2015)	116
Figura 45. Digital Master Control 200 (DMC200) (DMC200 Operation and Maintenance Manual, Cummins power Generation, 2012).....	118
Figura 46.Diagrama unifilar que mostraría la pantalla HDMI táctil del Digital Master Control 200 a instalar (Elaboración propia).....	120
Figura 47.Vista frontal sección de potencia DMC200 (Elaboración propia)	122

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE FIGURAS.....	1
RESUMEN.....	12
INTRODUCCION	13
CAPITULO I	16
1. GRUPO GENERADOR.....	17
1.1 GENERADOR	17
1.2 TIPOS DE GENERADORES	18
1.2.1 GENERADORES AUTO EXCITADOS.....	18
1.2.2 GENERADORES CON EXCITACIÓN POR SEPARADO.....	20
1.3 TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	21
1.3.1 MOTOR DE DOS TIEMPOS	22
1.3.1.1 ADMISIÓN – COMPRESIÓN.....	22
1.3.1.2 EXPANSIÓN - ESCAPE DE GASES.....	23
1.3.2 MOTOR DE CUATRO TIEMPOS	24
1.3.2.1 ADMISIÓN.....	24
1.3.2.2 COMPRESIÓN.....	24
1.3.2.3 EXPANSIÓN.....	24
1.3.2.4 ESCAPE DE GASES.....	25
1.3.3 MOTORES ROTATIVOS (TIPO WANKEL):	25
1.3.3.1 ADMISIÓN.....	25

1.3.3.2	COMPRESIÓN.....	26
1.3.3.3	EXPANSIÓN.....	26
1.3.3.4	ESCAPE DE GASES.....	26
1.4	GOBERNADOR.....	27
1.4.1	TIPOS DE GOBERNADORES.....	28
1.4.1.1	GOBERNADORES MECÁNICOS.....	28
1.4.1.2	GOBERNADORES SPEED-DROOP.....	29
1.4.1.3	GOBERNADORES ISOCHRONOUS.....	31
1.4.1.4	GOBERNADORES ELECTRÓNICOS.....	31
1.4.2	COMPONENTES DE UN GOBERNADOR.....	33
1.5	REGULADOR DE VOLTAJE.....	33
1.5.1	ARRANQUE EN FRÍO.....	33
1.5.2	TENSIÓN DE MEDICIÓN.....	34
1.5.3	PROTECCIÓN POR BAJA FRECUENCIA.....	34
1.6	SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL GRUPO GENERADOR.....	34
1.7	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE GRUPOS GENERADORES.....	36
1.7.1	CAPACIDADES DE SERVICIO DEL CONJUNTO.....	38
1.7.1.1	EN ESPERA (STANDBY).....	38
1.7.1.2	PRINCIPAL (PRIME).....	38
1.7.2	APLICACIONES OBLIGADAS Y OPCIONALES.....	39
1.7.2.1	OBLIGADAS POR CÓDIGO.....	39
1.7.2.2	EN ESPERA (STANDBY) OPCIONAL.....	40
2.	CONTROL DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA.....	40
2.1	CONCEPTO DE TRANSFER SWITCH.....	40

2.2	DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFERENCIA	42
2.3	SISTEMA DE TRANSFERENCIA (TRANSFER SWITCHES).....	43
2.3.1	SWITCHES DE TRANSFERENCIA MANUALES	45
2.3.2	SWITCHES DE TRANSFERENCIA SEMI-AUTOMÁTICOS	45
2.3.3	SWITCHES DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICOS	46
3.	SISTEMA DE CONTROL PARA GRUPOS ELECTROGENOS	47
3.1	BENEFICIOS DE LOS CONTROLES EN GRUPOS ELECTRÓGENOS	47
3.2	POWERCOMMAND 3300 (PCC 3300)	48
3.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL POWERCOMMAND 3300 (PC3300).....	48
3.3	FUNCIONES DE PARALELISMO DEL POWERCOMMAND 3300 (PC3300)	49
3.3.1	SISTEMA CON SENSOR DE FIRST START.	49
3.3.2	SINCRONIZACIÓN.....	50
3.3.3	CONTROL DE REPARTO DE CARGA (LOAD SHARING CONTROL).....	50
3.3.4	LOAD GOVERN CONTROL	51
3.3.5	CONTROL DE DEMANDA DE CARGA (LOAD DEMAND CONTROL).....	51
3.3.6	SYNC CHECK.....	51
3.3.7	CONTROL DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA.....	52
3.3.8	CONTROL DE BREAKER	53
3.3.9	SINCRONIZACIÓN EXTENDIDA.....	54
3.3.10	RELOJ DE EJERCICIOS (EXERCISER CLOCK)	54
3.4	TIPOS DE APLICACIÓN DEL POWERCOMMAND PCC3300	55
3.5	FUNCIONES DE PROTECCIÓN PARA EL POWERCOMMAND 3300	58
3.5.1	MODO BATTLE SHORT.....	58
3.5.2	MODO DE REDUCCIÓN DE POTENCIA (DERATE).....	58
3.5.3	ENTRADAS CONFIGURABLES DE ALARMA Y DE ESTADO	59

3.5.4	PARADA DE EMERGENCIA	59
3.5.5	PROTECCIÓN GENERAL DEL MOTOR	59
3.5.6	PROTECCIÓN DEL GENERADOR.....	60
3.5.6.1	RELÉ DE PROTECCIÓN AMPSENTRY.....	60
3.5.6.1.1	PARADA DEL ALTO VOLTAJE CA/ CÓDIGO (59).....	61
3.5.6.1.2	APAGADO POR BAJA FRECUENCIA/ CÓDIGO (81 U)	61
3.5.6.1.3	PARADA POR ALTA FRECUENCIA / CÓDIGO (810).....	61
3.5.6.1.4	ALERTA DE SOBRECORRIENTE / CÓDIGO (51)	61
3.5.6.1.5	ALERTA DE SOBRE CARGA (KW)	62
3.5.6.1.6	APAGADO POR POTENCIA REAL INVERSA (KW) / CÓDIGO (32)	62
3.5.6.1.7	APAGADO POR POTENCIA REACTIVA INVERSA (KVAR).....	62
3.6	CERTIFICACIONES DEL POWERCOMMAND 3300.....	63
CAPITULO II.....		64
2.	SINCRONIZACION DE GRUPOS GENERADORES	65
2.1	GRUPOS GENERADORES EN PARALELO	65
2.2	BENEFICIOS DE UN SISTEMA DE PARALELISMO.....	66
2.2.1	MAYOR FIABILIDAD	67
2.2.2	AHORRO DE COSTOS.....	68
2.2.3	CONVENIENCIA DE SERVICIO	68
2.3	SWITCHGEAR.....	69
2.4	DISEÑO DE UN SWITCHGEAR.....	70
2.5	TIPOS DE CIRCUIT BREAKERS	71
2.5.1	LOS CIRCUIT BREAKERS DE MONTAJE FIJO O FIXED MOUNT (MF).....	71
2.5.2	CIRCUIT BREAKERS MÓVILES O DRAW OUT (DO)	72
2.6	INSTRUMENTACIÓN DE UN SWITCHGEAR.....	73

2.6.1 TRANSFORMADORES DE CONTROL DE POTENCIA CPT.....	73
2.6.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIA PT.....	74
2.6.3 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE CT.	75
2.6.4 TRANSDUCTORES.....	76
2.7 CONDICIONES PARA SINCRONIZAR.....	77
2.7.1 VOLTAJE.....	77
2.7.2 TENSIONES EN FASE.....	78
2.7.3 FRECUENCIA.....	79
2.7.4 IGUALDAD DE SECUENCIA DE FASE.....	81
2.8 TÉCNICAS DE SINCRONISMO.....	82
2.8.1 TÉCNICAS PARA MODIFICAR LA FRECUENCIA.....	82
2.8.2 SISTEMA DE CONTROL DE VOLTAJE.....	83
2.9 MÉTODOS DE SINCRONIZACIÓN POR MEDIO DE LÁMPARAS.....	84
2.9.1 METODO DE LAS LAMPARAS APAGADAS.....	87
2.9.2 MÉTODO DE SINCRONIZACIÓN POR MEDIO DEL SINCRONOSCOPIO.....	89
2.9.2.1 MODO DE CORRECCIÓN.....	90
CAPITULO III.....	92
3. ANALISIS ECONOMICO DE LA PROPUESTA PARA LA SINCRONIZACION AUTOMATICA DE 2 GENERADORES DE 600WK DE ALTA EFICIENCIA PARA INDUSTRIAS PETROQUIM.	93
3.1 MANTENIMIENTO DE LOS GRUPOS GENERADORES EXISTENTES.....	93
3.1.1 COSTO DE MANTENIMIENTO DE LOS GRUPOS GENERADORES EXISTENTES.....	101
3.3 OVERHAUL EN SISTEMA DE GENERACIÓN EXISTENTE.....	102
3.4 OVERHAUL EN SISTEMA DE GENERACIÓN PROPUESTO.....	111
3.5 INVERSIÓN EN INGENIERÍA E INSTALACIÓN.....	113

3.5.1 GRUPO GENERADOR.....	113
3.5.2 POWERCOMMAND PCC3300.....	116
3.5.3 COSTOS DEL GRUPO GENERADOR INCLUYENDO EL PCC3300.....	117
3.5.4 MASTER CONTROL DMC200.....	117
3.5.4.1 FUNCIONES DEL MASTER CONTROL DMC200	119
3.5.4.2 SWITCHGEAR.....	120
3.5.4.3 SECUENCIA DE OPERACIÓN	122
3.5.4.4 POWER COMMAND NETWORKS	125
3.5.5 COSTO DE MASTER CONTROL DMC200	126
3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OVERHAUL ENTRE EL SISTEMA INSTALADO Y EL PROPUESTO.....	127
CONCLUSION	128
BIBLIOGRAFIA	129
ANEXOS	130
ANEXO A.....	131
ANEXO B.....	132
ANEXO C.....	133

RESUMEN

Debido a la crisis energética en la que se encuentra inmersa la República Dominicana, tanto la población como el sector industrial, se han visto en la necesidad de buscar fuentes alternativas de generación que sirvan como respaldo durante las jornadas de apagones. Partiendo de esta necesidad, el usuario cuenta con varias opciones, que pueden ser adaptadas para suplir la ausencia de energía y dependiendo de su potencia instalada y el factor económico, se puede analizar y seleccionar la más factible.

Un sistema de respaldo de energía eficiente, además de utilizar una máquina generadora de electricidad, debe de contar con un sistema de transferencia automática, el cual dependiendo de su configuración permite hacer un cambio temporizado del suministro de la energía pública a un sistema auxiliar el cual pueda suplir la demanda de carga del momento. Si el usuario posee más de una máquina generadora de respaldo, será necesario contar con un buen sistema de sincronización, el cual hará que dichos generadores trabajen en la misma secuencia y así suministrar de manera eficiente la energía demandada. En el desarrollo de este trabajo de grado, se le hará una propuesta a Industrias Petroquim para la sustitución de su grupo de generadores de baja eficiencia los cuales están siendo sincronizados manualmente por un grupo de generadores de la misma potencia, sincronizados automáticamente y de mayor eficiencia. Se analizan los aspectos técnicos de ambos grupos de equipos y el impacto económico que conlleva la sustitución.

INTRODUCCION

Dentro de la evolución de las industrias, los generadores eléctricos han sido un aspecto clave en el desarrollo de la producción y los costos asociados a esta, una de esas variables es el costo de la energía eléctrica y esta a su vez, ha sido, es y seguirá siendo un recurso importante para nuestra vida cotidiana. En la mayoría de las actividades la energía eléctrica está presente, en hogares, en las calles, en los edificios, en los trabajos, etc.

Los problemas en el suministro eléctrico, lo que incluye costo y calidad, están entre "los principales obstáculos al funcionamiento de las empresas pequeñas y medianas", dichas empresas se han visto en la necesidad de adquirir grupos generadores para abastecerse de energía eléctrica durante jornadas prolongadas de apagones o fallas del sistema eléctrico.

Desde el siglo XX, la República Dominicana enfrenta amplios problemas en su sector energético nacional provocando inestabilidad total en los sectores de su sociedad, recaudaciones precarias, altos subsidios, irregularidades de su manejo y como si todo esto fuera poco, debido a las altas tarifas por concepto de electricidad, ha mantenido a este país al margen de la competitividad internacional al privarles a las industrias de costos de operación relativamente bajos si son comparados con los costos en países de la región latinoamericana donde en promedio más del 61% de sus fuentes de energía son renovables y por lo tanto más económicas a diferencia del caso dominicano donde más del 47% de las fuentes son de FUELS (combustibles derivados de petróleo, no renovables) siendo este panorama una de las causas principales de las limitantes.

En la actualidad es de suma importancia que cada empresa cuente con un sistema de respaldo debido a la crisis energética y fallas que puedan presentarse durante y fuera de la jornada laboral.

Un sistema de respaldo eficiente debe de contar con interruptores de transferencia automáticos de emergencia, ya que estos cumplen la función de suministrar potencia eléctrica a las instalaciones cuando el suministro de energía eléctrica comercial falla. El presente trabajo de grado es una propuesta que tiene como objetivo principal la sustitución y sincronización automática de 2 generadores de 600kw de alta eficiencia, sustituyendo 2 generadores de 600kw de baja eficiencia sincronizados manualmente en Industrias Petroquim, ubicada en la Av. Nicolás de Ovando 334, D.N., Santo Domingo, República Dominicana, fundada en 1957 con el fin de suplir a los fabricantes locales de calzados las tapas, entresuelas y tacos de caucho necesarios para la elaboración de sus productos. Como objetivos específicos, esta propuesta establece la descripción de las partes que conforman el control y la fuerza para un sistema de sincronización automática del sistema de generadores de emergencia, las principales características de los generadores a proponer y determinación de la factibilidad económica del sistema de transferencia automática en conjunto con la sincronización de los generadores,

Este trabajo está dividido en tres capítulos que describen secuencialmente las etapas seguidas a lo largo del proyecto.

El Capítulo I comprende la descripción general de los grupos generadores, sus distintas partes, funcionamientos. Se describe el tipo de motor y las partes más importantes para producir la frecuencia necesaria del sistema. Se describen los distintos tipos de Transfer Switchs y conceptos de paralelismo y las condiciones que deben darse para llevar a cabo una sincronización efectiva.

En el Capítulo II se exponen los métodos de sincronización, las limitaciones que se presentan durante y después del sincronismo, limitaciones debido a la incompatibilidad de motores y generadores que poseen los grupos generadores, explica detalladamente el funcionamiento del sistema de transferencia automática y sincronismo de energía como un conjunto. Parte de este capítulo está dedicado al control de carga aplicado en los equipos para realizar la transferencia de carga. En esta sección se ha incluido el dimensionamiento de los equipos de fuerza como: conductoras y los switch de potencia.

El Capítulo III describe la instalación del cliente, disponibilidad de cambios en el cuarto de generadores actual, instalación que se propone. Cambio de la topología de potencia, desarrollo del sistema de sincronización inteligente, incluye rechazo de carga por sobre carga o corto circuito, apagado de generador por demanda de carga, análisis económico para los grupos generadores instalados y el grupo generador propuesto, comparación de precios de mantenimientos y overhaul.

CAPITULO I

1. GRUPO GENERADOR

1.1 Generador

Un generador es una máquina estacionaria rotatoria, la cual cumple la función de convertir la energía mecánica producida por el movimiento de rotación, en energía eléctrica. Esta máquina está compuesta por un estator y un rotor, como se muestra en la **Figura 1**. El rotor contiene el campo del generador, el cual girará en conjunto con el motor de combustión. El campo se energiza con una fuente CD llamada excitador, el cual se conecta a las líneas positiva y negativa de los devanados del campo. El generador es construido para que las líneas del campo magnético corten perpendicularmente los devanados del estator cuando el motor haga girar al rotor, esto produce que se induzca un voltaje al devanado del estator. Dicho voltaje se invertirá cada vez que la polaridad cambie.

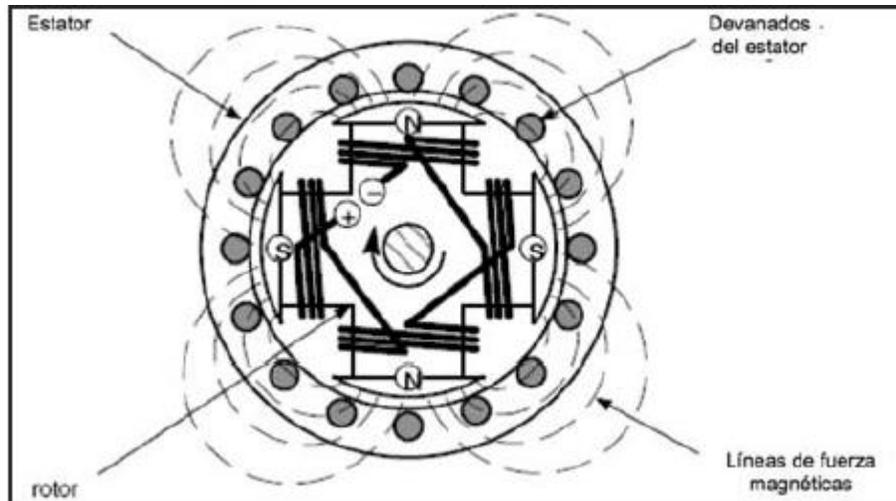


Figura 1 Sección Transversal del Generador de Cuatro Polos (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011)

El voltaje inducido en cada elemento del devanado depende de la intensidad de campo (la cual podría representarse por una mayor densidad de las líneas de fuerza), la velocidad a la que las líneas de fuerza cortan los elementos del devanado (RPM) y la “longitud de las placas”. Por lo tanto, para variar el voltaje de salida de un generador de un tamaño y velocidad de operación dados, es necesario variar la intensidad de campo. Esto se hace con el regulador de voltaje, el cual controla la corriente de salida del excitador. (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011)

1.2 Tipos de generadores

Dependiendo del tipo de excitación los generadores pueden ser clasificados como: Generadores con sistemas de excitación auto excitados y Generadores con excitación por separado (PMG).

1.2.1 Generadores Auto Excitados

El sistema de excitación se energiza por vía del regulador de voltaje automático (AVR), derivando la energía de la salida del generador. El regulador de voltaje detecta la tensión y la frecuencia de salida del generador, las compara con los valores de referencia dentro del algoritmo del AVR y luego suministra una salida CD regulada a los devanados de campo del excitador. El campo del excitador induce una salida CA en el rotor del excitador, que está en el eje del generador impulsado por el motor de combustión. La salida del excitador se rectifica a CD con diodos giratorios, también en el eje del generador para suministrar CD al rotor principal (campo del generador).

El regulador de voltaje aumenta o disminuye la corriente del excitador al detectar cambios en el voltaje y frecuencia de salida debido a los cambios de carga, aumentando o disminuyendo la intensidad de campo del generador. La salida del generador es directamente proporcional a la intensidad de campo. Consulte la **Figura 2**.

Típicamente, un sistema de excitación auto-excitado es el más popular y disponible en el mercado. Proporciona buen servicio bajo todas las condiciones de operación cuando el conjunto generador se dimensiona apropiadamente para la aplicación. La ventaja de un sistema auto-excitado sobre un sistema excitado por separado es que el auto-excitado inherentemente se auto-protege bajo condiciones simétricas de corto circuito, ya que el campo colapsa debido a la demanda de energía que no puede ser suministrada por este tipo de sistema de excitación. Debido a esto un interruptor de circuito de línea principal, se usa para proteger el generador y los conductores del primer nivel de distribución, pueden considerarse no ser necesarios, reduciendo aún más el costo del sistema instalado. (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011)

Las desventajas de un sistema auto-excitado son:

- Es necesario seleccionar un generador grande para proporcionar un desempeño aceptable de arranque del motor.
- Las máquinas auto-excitadas dependen del magnetismo residual para energizar el campo. Si el magnetismo residual no es suficiente o se pierde por humedad y/o corrosión, será necesario aplicar voltaje al campo con una fuente de energía CD.

- Podría no soportar lo suficiente las corrientes de falla para disparar los interruptores de circuitos posteriores.

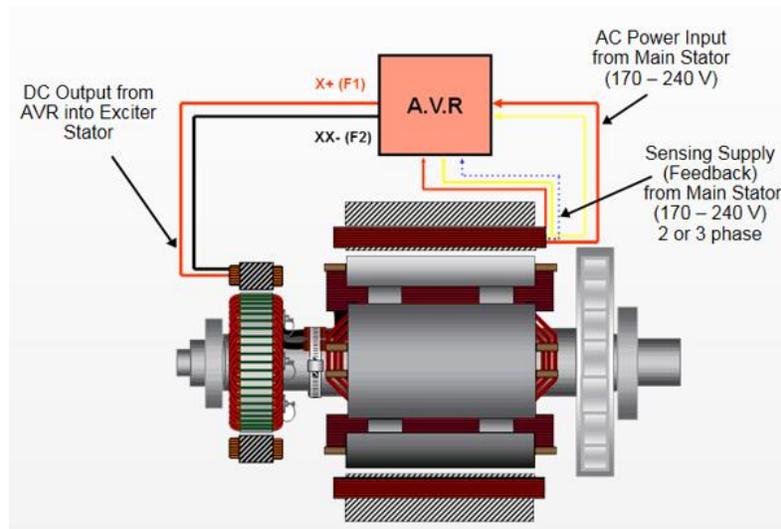


Figura 2 Generador auto-excitado (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015)

1.2.2 Generadores con Excitación por Separado

El sistema de excitación de estos tipos de generadores es similar al de un generador auto-excitado, excepto que un generador de imán permanente (PMG) por separado localizado en el extremo del eje del generador principal energiza el regulador de voltaje. Como es una fuente de poder por separado, el circuito de excitación no se ve afectado por las cargas repentinas en el generador. Este es capaz de soportar dos o tres veces la corriente nominal por 10 segundos aproximadamente.

Por esta razón, los sistemas de excitación en estos tipos de generadores se recomiendan para aplicaciones donde es necesario una capacidad mejorada de arranque del motor, buen rendimiento con cargas no lineales o un desempeño de corto circuito de duración prolongada.

Consulte la **Figura 3**. (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011)

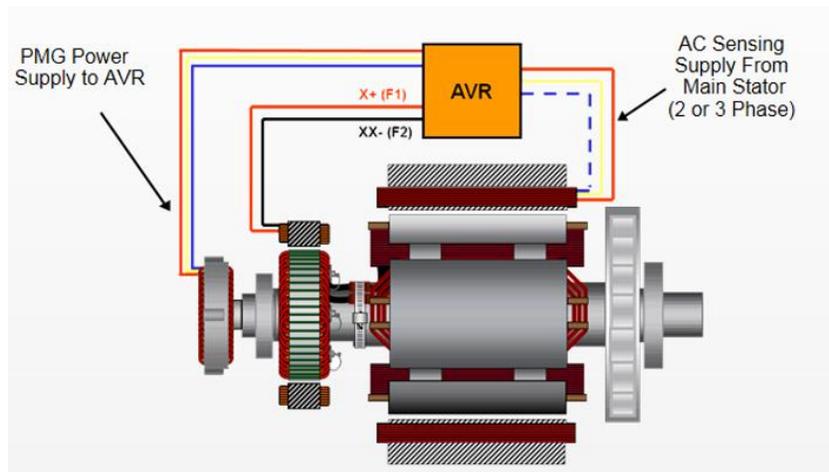


Figura 3. Generador con Excitación por Separado (PMG) (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015)

1.3 Tipos de motores de combustión interna

Un motor de combustión interna es una máquina rotatoria que utiliza energía química como entrada y produce energía mecánica a la salida. Cuando se habla de energía química, generalmente se refiere a la energía almacenada en los combustibles, tales como la gasolina, gasoil, gas natural, gas licuado del petróleo, entre otras fuentes de combustible. Dicha energía química es producida cuando el combustible es quemado dentro de las cámaras de combustión en un motor, de ahí el término “motor de combustión interna”.

La más significativa diferencia entre los dos tipos de ignición utilizados son los tipos de combustibles empleados. Existen varios tipos de motores de combustión interna, entre estos podemos mencionar: motor de combustión interna de dos tiempos, de cuatro tiempos y el motor rotativo tipo Wankel. (Fundamentals of Power Generation PG V1.2, Cummins Power Generation, 2011)

1.3.1 Motor de dos tiempos

Durante la trayectoria lineal de subida y bajada del pistón, el mismo ejecuta los cuatro movimientos conocidos como admisión, compresión, expansión y escape, en solo dos movimientos del pistón. Consulte las **Figuras 4 y 5**

1.3.1.1 Admisión – Compresión

Cuando el pistón está en el punto más bajo, es decir en el Punto Muerto Inferior (PMI), empieza el proceso de admisión. La lumbrera de admisión deja pasar el carburante (aire y combustible) hacia el cilindro. Una vez aspirado el carburante el pistón va ascendiendo mientras comprime la mezcla.

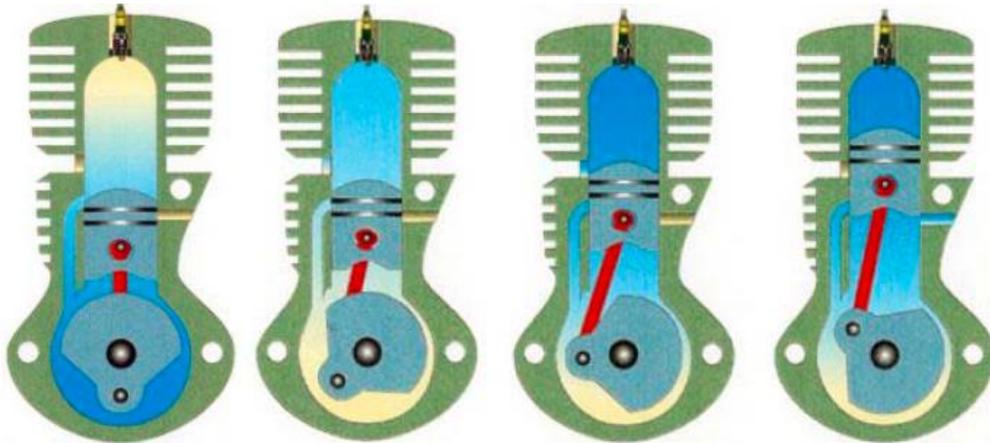


Figura 4 Motor de dos tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

1.3.1.2 Expansión - Escape de gases

En el momento que el pistón está en el punto más alto, es decir, el Punto Muerto Superior (PMS), la bujía hace saltar una chispa que enciende la mezcla, incrementando la presión en el cilindro y hace desplazar al pistón hacia abajo.

Cuando está a la altura de la lumbrera de escape, la propia presión de los gases tiende a salir del cilindro, dejando al cilindro vacío para volver a empezar un nuevo ciclo.

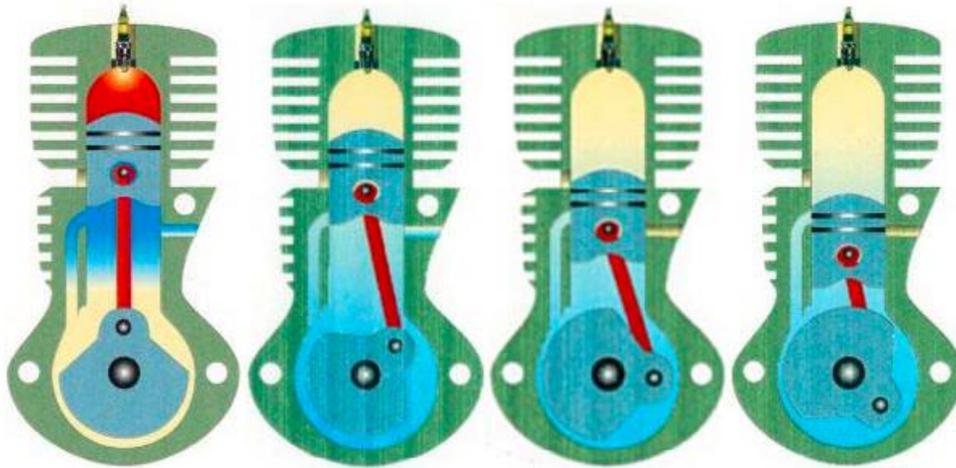


Figura 5. Motor de dos tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

Este tipo de motor, hoy en día aún se utiliza, aunque siempre en motores de pequeña cilindrada como: ciclomotores, cortacésped, motosierras, etc. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

1.3.2 Motor de cuatro tiempos

Durante la trayectoria lineal de subida y bajada del pistón, el mismo ejecuta cuatro movimientos conocidos como admisión, compresión, expansión y escape, en cuatro movimientos del pistón.

Consulte la **Figura 6**.

1.3.2.1 Admisión

En el momento que el pistón está en el punto más alto (PMS), la válvula de admisión se abre y el propio pistón por el vacío que se crea dentro del cilindro aspira la mezcla (aire y combustible) hasta llegar al punto más bajo del cilindro (PMI).

1.3.2.2 Compresión

Después del ciclo de admisión, el pistón se encuentra en el punto más bajo (PMI), en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo la mezcla hasta llegar al punto más alto del cilindro (PMS).

1.3.2.3 Expansión

Una vez que en la carrera de compresión se ha comprimido la mezcla, la bujía hace saltar una chispa y enciende la mezcla, aumentando la presión en el cilindro y haciendo descender el pistón hacia el punto más bajo (PMI). En esta carrera de expansión es donde se realiza el trabajo útil.

1.3.2.4 Escape de gases

Cuando el pistón llega al punto más bajo (PMI), se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior. En el momento que llega al punto más alto (PMS) la válvula de escape se cierra.

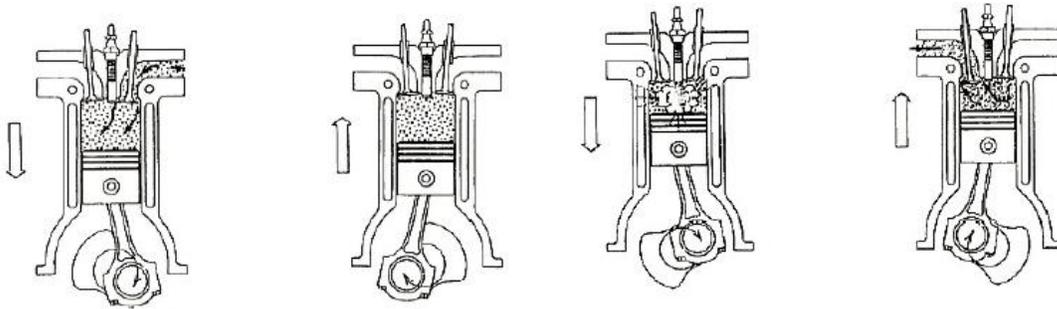


Figura 6 Motor de cuatro tiempos. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

1.3.3 Motores rotativos (tipo Wankel):

Utiliza rotores en vez de pistones, y ejecuta una trayectoria alternativa en donde se producen sucesivamente los cuatro movimientos conocidos como admisión, compresión, expansión y escape. Consulte la **Figura 7**.

1.3.3.1 Admisión

La válvula de admisión permanece constantemente abierta. Cuando cualquiera de los tres lados del rotor pasa por esa apertura, éste aspira la mezcla aire/combustible desde el carburador.

1.3.3.2 Compresión

La parte del estator donde ocurre el proceso de compresión (lugar donde ocurren los procesos en este tipo de motor) es más estrecha que todas las demás. El rotor trae la mezcla que ha cogido en el proceso de admisión donde al ser más estrecho se comprimirá.

1.3.3.3 Expansión

Una vez comprimida la mezcla, la bujía hace saltar una chispa que empujará el rotor para que siga su recorrido. En este tiempo de expansión es donde se realizará el trabajo útil.

1.3.3.4 Escape de gases

Aquí, al igual que en el tiempo de admisión, la apertura de escape permanece constantemente abierta. Una vez que ha explotado la mezcla, los gases están a alta presión. Entonces al encontrar esta apertura los gases quemados salen por su propia presión. A partir de aquí vuelve a empezar el ciclo.

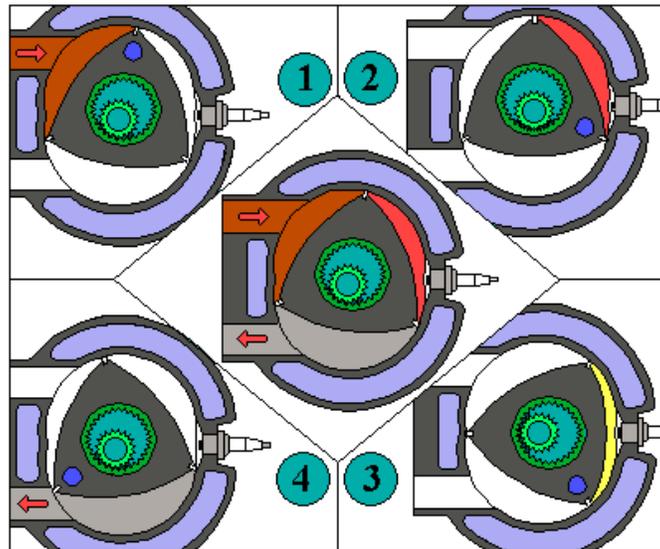


Figura 7 Motor rotativo tipo Wankel. (1) Admisión, (2) Compresión, (3) Expansión, (4) Escape (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

Este motor además de tener como ventaja frente al motor de 4 tiempos, ocurren 3 explosiones por revolución, dando una potencia mucho más elevada para la misma capacidad, tiene otras muchas ventajas como: 40% menos de piezas, la mitad de volumen con un peso similar a los motores de pistón, un diseño más simple, con pocas vibraciones y no hay problemas de disipación de calor.

En contrapartida el motor Wankel tiene desventajas muy importantes como son los problemas de estanqueidad que presenta en la parte saliente del rotor, pudiendo compartir gases de diferentes fases y esto provoca un gran problema que lo hacen estar lejos de los motores alternativos a pistón. También como contrapartida tiene un diferencial de temperatura muy grande. La parte donde ocurre la admisión y compresión son fases frías donde la temperatura no pasa de los 150°C, en cambio las fases de expansión y escape llegan a sobrepasar temperaturas de 1000°C, creando esta diferencia de temperatura y es un problema a la hora de refrigerar. (Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007)

1.4 Gobernador

Todas las fuentes de alimentación deben ser controladas con el fin de convertir una potencia en trabajo útil. El dispositivo esencial que controla la velocidad o la potencia de un motor, turbina, u otra máquina se llama gobernador.

El gobernador detecta la velocidad de un motor y controla el combustible inyectado en el mismo, manteniendo su velocidad a un nivel deseado. En algunos casos el gobernador controla otros factores que determinan la velocidad o la carga del motor.

En todos los casos, un gobernador controla la velocidad y torque del motor para que este pueda ser utilizado para un propósito específico. (Governing Fundamentals and Power Management, Woodward, 2007)

1.4.1 Tipos de Gobernadores

De acuerdo con la utilidad y al tipo de motor, los gobernadores pueden clasificarse en:

- Mecánicos.
- Hidro mecánicos.
- Servomotores.
- Hidráulicos.
- Speed-drop.
- Isochronous.
- Tipo eléctricos proporcional.
- Gobernadores digitales.

Durante el desarrollo de este trabajo de grado se definirán los gobernadores mecánicos (ya que los generadores existentes lo usan), los Speed-droop (Caída de velocidad) y los Isochronous (Isócrono) (ya que son utilizados en los generadores propuestos)

1.4.1.1 Gobernadores mecánicos

Son utilizados para motores de combustión interna y consisten de dos pesas con sus centros de masa aproximadamente a la misma distancia desde el eje de rotación que de los pivotes sobre los que giran.

Los contrapesos están dispuestos sustancialmente en ángulo recto de tal manera que a medida que el peso se mueva hacia delante y hacia atrás desde el eje de rotación, este se convierta en un movimiento axial de una válvula piloto o barra deslizadora a través de un cojinete de empuje.

La fuerza centrífuga es opuesta y equilibrada por la fuerza ejercida por un resorte comprimido reductor de velocidad en lugar de la gravedad. (Governors Training Module, Cummins, 2001)

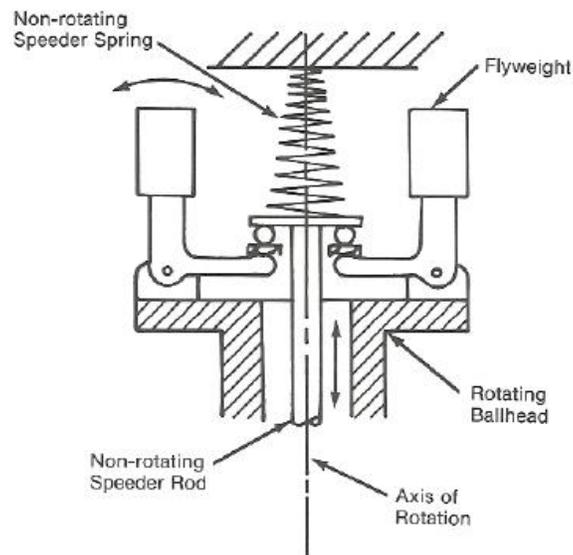


Figura 8. Gobernador mecánico (Governors Training Module, Cummins, 2001)

1.4.1.2 Gobernadores Speed-Droop

Speed-Droop (Caída de Velocidad) es la característica del gobernador que requiere una disminución de la velocidad para producir un incremento en el acelerador o puerto de paso de combustible, ya que un aumento de la aceleración será necesario si el motor desea asumir más carga (se deduce que un aumento de la carga produce una disminución en la velocidad).

El gobernador puede ser dotado con esta característica haciendo una interconexión mecánica entre el acelerador y la velocidad de ajuste del gobernador, logrando que al aumentar la inyección de combustible se disminuya el ajuste de velocidad.

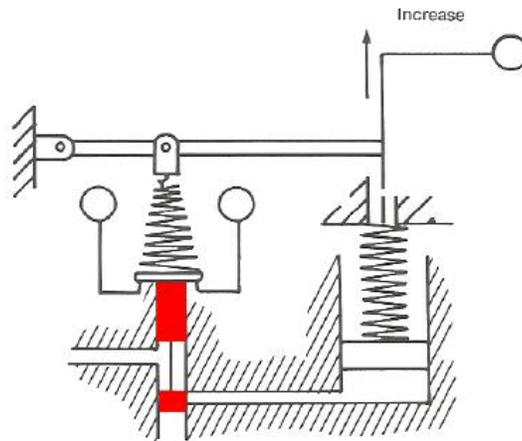


Figura 9. Gobernador speed-droop (Governors Training Module, Cummins, 2001)

1.4.1.3 Gobernadores Isochronous

A veces es recomendable disponer de un motor con un gobernador isochronous (isócrono) (es decir, que sea capaz de mantener una velocidad constante independientemente de la carga). Esto requiere de un reajuste temporal de la velocidad, con un ajuste en el servo movimiento para poder estabilizar la característica speed-droop (caída de velocidad), seguido por un pequeño ajuste de retorno de velocidad a su valor original.

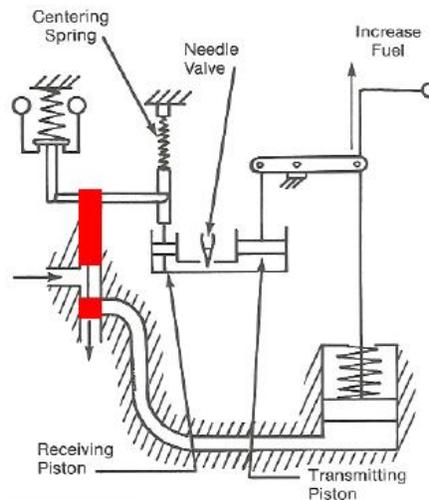


Figura 10. Gobernador isocrono (Governors Training Module, Cummins, 2001)

1.4.1.4 Gobernadores electrónicos

Estos gobernadores se utilizan para aplicaciones donde se requiere gobernanación isócrona (caída cero) o donde se especifica la sincronización activa y equipo de paralelismo. Las revoluciones del motor son detectadas por un sensor electromagnético y la dosificación de combustible la controlan solenoides activadas por circuitos electrónicos. Estos circuitos, ya sean controladores auto-contenidos o sean parte de un controlador del conjunto generador con un microprocesador, utilizan algoritmos sofisticados para mantener el control preciso de la velocidad.

Los gobernadores electrónicos permiten que los conjuntos generadores se recuperen más rápido bajo pasos de cargas transitorias, de lo que lo hacen los gobernadores mecánicos. Los gobernadores electrónicos deben usarse siempre que las cargas incluyan equipo UPS y equipos sensibles a las variaciones de la frecuencia.

Los motores modernos, especialmente motores a diesel con sistemas de dosificación de combustible electrónicos de autoridad total, están disponibles solamente con sistemas de gobernanación electrónica.

La demanda o los requisitos de la regulación para lograr aumentar la eficiencia del combustible, bajas emisiones de escape y otras ventajas, requieren el control preciso proporcionado por estos sistemas (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011).



Figura 11. Gobernador electrónico Woodward (www.woodward.com/PreProgrammedEGDSpeedAPECSDPG.aspx)

1.4.2 Componentes de un Gobernador

Todos los gobernadores tienen cinco componentes fundamentales:

- Una manera de configurar la velocidad deseada.
- Una manera para detectar la velocidad real.
- Una forma de comparar la velocidad real a la velocidad deseada.
- Un camino para que el gobernador pueda cambiar el combustible al motor primario.
- Una manera de estabilizar el motor después de haber hecho un cambio de combustible.

1.5 Regulador de voltaje

De acuerdo con la nota técnica del Ing. Ramón Russo “Nota Técnica AVR”, un regulador de voltaje es “un dispositivo que mantiene el voltaje de salida de un generador cerca de su valor nominal en respuesta a las cambiantes condiciones de la carga”.

De igual manera establece que existen una serie de parámetros los cuales deben de ser tomados en cuenta a la hora de seleccionar un AVR, dichos parámetros son desarrollados a continuación.

1.5.1 Arranque en frío

El AVR en el momento de arranque de la máquina, deberá excitarla a partir de las pequeñas tensiones generadas por el magnetismo remanente, con frecuencias inferiores a la nominal y además variable debido a la aceleración del motor impulsor.

1.5.2 Tensión de Medición

El AVR debe poder medir tensiones flotantes y bifásicas, para poder ajustar el voltaje al valor deseado programado.

1.5.3 Protección por baja frecuencia

Para evitar daños por sobre excitación en los bobinados y diodos rotativos, en los momentos de arranque, parada o falla del motor diesel, se debe mantener baja la tensión de salida mientras la frecuencia este por debajo del valor nominal. Los AVR's durante los eventos mencionados debe siempre estar revisando la frecuencia medida y la frecuencia deseada con relación a la velocidad y voltaje para evitar daños en las partes mencionadas, ya que durante estos eventos el sistema puede estar fuera de sus valores nominales y el AVR reduce las tensiones para evitar daños.

1.6 Sistema de protección del grupo generador

Donde un sistema generador se está operando en paralelo con el suministro del servicio público, los dos sistemas se combinan, y cualquier incidente en el sistema público puede también involucrar a los generadores. Los requisitos para la protección de la operación en paralelo con el servicio público son muy variables de acuerdo al tipo de sistema que está instalado y las características del sitio y el sistema de distribución del servicio público. Adicionalmente, los códigos y estándares regionales pueden variar entre los proveedores del servicio público.

Los conjuntos generadores que operan en paralelo con el servicio público típicamente se proveen con relevadores de revisión de sincronización (25), protección de sub/sobre voltaje (59/27), potencia invertida con relación a la red (32), protección de sobre-corriente (51), protección a la pérdida de protección de red y de sobre/sub frecuencia (81O/U).

Se puede ingresar la falla de diodo pero no es requisito por el estatuto. En muchas regiones también se requiere el equipo para detectar una condición aislada y desconectar los generadores. Una condición aislada ocurre cuando falla la energía del servicio público mientras un sistema de generadores está conectado, y el sistema de protección no detecta la falla y desconecta el sistema del generador. Como resultado, el sistema de generador puede energizar no sólo las cargas pretendidas, sino también el sistema de distribución del servicio público y otras cargas de los clientes. Esto causa un peligro para los trabajadores del servicio, puede sacar de secuencia a los dispositivos de protección del sistema de distribución del servicio, y puede resultar en el daño al equipo del servicio público y propiedad del cliente.

Según la normativa ANSI, las siguientes designaciones son utilizadas para las funciones de protección:

25 – Revisión de sincronización

27 – Sub-voltaje

32 – Potencia Invertida

40 – Falla del Campo (KVAR invertidos)

51 – Sobre-corriente de Tiempo CA

59 – Sobre-voltaje

78 – Desplazamiento Vectorial

81 OU – Sobre/sub frecuencia / ROCOF

El sistema de protección también debe garantizar que la calidad del suministro del servicio público a otros clientes se mantenga, sin importar la condición del servicio.

Los dispositivos de protección pueden requerir las mismas funciones o similares que las del lado del generador del sistema, pero a menudo tendrán ajustes muy diferentes (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011).

1.7 Criterios para la selección y dimensionamiento de grupos generadores

Los generadores deben ser dimensionados correctamente para evitar la sobrecarga del mismo. Sobrecargar un generador puede causar calidad pobre de la energía y puede dañar el generador y el equipo eléctrico conectado a él. Para determinar el tamaño de los generadores, se debe desarrollar una lista crítica de las cargas y determinar el grado de la corriente continua de todo el equipo, debe reconocer las características de funcionamiento de la red (sistema) bajo condiciones estables, los picos de carga, la elevación respecto del nivel del mar, los rangos de temperatura ambiente, las variables climatológicas, si existe otros generadores ya conectados que sirvan potencia a la carga instalada.

La capacidad del generador depende enteramente de la carga (clasificación, arranque, condiciones de operación, picos de corriente, factor de potencia, armónicos en la carga), elevación, temperatura, variables del clima.

La capacidad nominal de un generador depende de donde sea utilizado, si se emplea como standby (en espera), primario, o uso continuo.

Las unidades del tipo en standby (en espera) trabajan de forma periódica un tiempo de dos horas a la vez, las unidades del tipo prime (primaria) trabajan de forma continua con cargas variables, las unidades del tipo uso continuo trabajan de forma continua a su potencia nominal. La potencia del generador en KVA indica la capacidad del generador de asumir carga cuando el aumento de la misma es repentino (como el arranque de motores), si no se puede medir los KVA o los cortes repentinos de carga para el sistema que proyecta, se debe tabular los circuitos individuales y calcular para cada uno la carga proyectada.

A manera de precaución se debe hacer un listado de motores eléctricos puesto que son estos los que requieren de mayor potencia, tener la precaución adicional de incluir las corrientes de inrush (irrupción) de los motores conectados a la red, luego de hacer estos cálculos, es necesario referirse a las placas de identificación del motor en caso no cuente con un equipo de monitoreo y medición. Si no cuentan con los datos de placa o los valores de medición, los caballos de fuerza se pueden utilizar para determinar la capacidad del generador.

Es necesario tener en cuenta que los motores requieren de tres a cinco veces más la corriente nominal durante su arranque. El factor de potencia es un dato que debe de ser manejado con mucha cautela, ya que este siempre debe rondar entre 0.8 con tendencia a llegar a 1.0. En el caso que las fuentes de carga sean inmensurables debe tabular cada una de las cargas y considerar las cargas de emergencia.

Un simple generador puede suplir a fuentes de carga en espera. Múltiples generadores pueden ser necesarios para suplir a cargas más complejas, sistemas de emergencia o cargas de arranque crítico.

Las cargas de emergencia crítica en operación las 24 horas, estas pueden requerir de múltiples generadores para mantener las características del sistema aun cuando una de las unidades este en mantenimiento. Para sistemas críticos con suministro las 24 horas y con niveles de carga variables se debe dimensionar los generadores de tal forma que trabajen con menos del 50% de la carga para la que fueron diseñados. (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011).

1.7.1 Capacidades de servicio del conjunto

Determinar las cargas que se requieren respaldar con un conjunto generador es una función del tipo de aplicación y el servicio requerido. Generalmente, existen dos clasificaciones de servicio para las aplicaciones de un conjunto generador, en Espera (Standby), Principal (Prime). Las capacidades disponibles para los conjuntos generadores varían de acuerdo con estas clasificaciones.

1.7.1.1 En espera (Standby)

Son generadores usados en aplicaciones de respaldo para la fuente de energía primaria (servicio público) y se espera que no se use frecuentemente, por lo que la capacidad en Espera (Standby) es la capacidad más alta disponible para el conjunto generador.

1.7.1.2 Principal (Prime)

Son generadores que operan durante horas ilimitadas y dichos generadores son considerados como la fuente primaria de energía para cargas variables, por lo que la capacidad primaria típicamente es cerca del 90% de la capacidad en Espera (Standby).

1.7.2 Aplicaciones Obligadas y Opcionales

Fundamentalmente, las aplicaciones del conjunto generador se pueden englobar en dos categorías básicas, las que son obligatorias por ley (exigidas legalmente) y aquellas que se desean por razones económicas (generalmente asociadas con la disponibilidad y confiabilidad de la energía). Estas categorías inducen un juego de opciones completamente diferentes cuando se tienen que tomar las decisiones con relación a qué cargas aplicar al conjunto generador.

1.7.2.1 Obligadas por Código

Estas aplicaciones típicamente son aquellas consideradas por las autoridades como de emergencia o en espera (Standby) legalmente exigidas, donde la seguridad de la vida y el respaldo para la vida son lo más importante. Estos tipos de aplicaciones pueden estipularse en los códigos de edificios o códigos específicos para la seguridad de la vida y típicamente involucran las instalaciones tales como el cuidado de la salud (hospitales, sanatorios, clínicas), construcciones de alto riesgo y lugares de reunión (teatros, pasillos, instalaciones deportivas, hoteles).

Típicamente, el conjunto generador proporciona energía de respaldo a las cargas como la iluminación de las salidas, ventilación, detección de incendios y sistemas de alarma, elevadores, bombas contra incendio, sistemas de comunicación de seguridad pública y aún procesos industriales donde la pérdida de energía crea un peligro a la seguridad de la vida o a la salud. Otros sistemas legalmente exigidos son obligatorios cuando se determina que la pérdida de la energía del servicio público normal constituye un peligro o impide las operaciones de rescate o del combate a incendios. Para determinar las cargas mínimas que el conjunto generador debe soportar, consulte con la autoridad local, los códigos y los estándares relacionados.

En la mayoría de las aplicaciones se pueden aplicar cargas opcionales adicionales al generador, si las aprueba la autoridad local.

1.7.2.2 En espera (Standby) Opcional

Este tipo de instalación del sistema se ha convertido en el más frecuente al hacerse más crítica la disponibilidad de la energía. Estos sistemas energizan instalaciones como edificios industriales y comerciales y le dan servicio a cargas como calefacción, refrigeración, comunicación, procesamiento de datos y procesos industriales críticos.

Los generadores a menudo se justifican donde la pérdida de la energía del servicio público podría causar incomodidad o la interrupción de procesos críticos amenazando los productos o el equipo de proceso. (T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011).

2. CONTROL DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA

2.1 Concepto de Transfer Switch

Un transfer switch (interruptor automático de transferencia) es un sistema de relevación automatizado que asociado la utilidad y un generador, provee un servicio eléctrico constante y eficaz, sin la intervención de un operador humano. La transferencia se activa cuando el servicio público se suspende, conmutando a un servicio auxiliar, según sea la necesidad de la instalación eléctrica.

La transferencia puede llegar a ser un sistema sumamente complicado; en la mayoría de los casos una transferencia básicamente se compone de dos interruptores, un sistema de control, y una barra común pública, preferiblemente aguas abajo de cualquier dispositivo que pueda operar como des-conectivo de la alimentación a la carga. Los interruptores automáticos de transferencia están compuestos de un circuito de fuerza y uno de mando.

En el circuito de fuerza los interruptores de potencia son los encargados de realizar la conmutación, para trabajar en media tensión o bien en baja tensión, estos interruptores por su naturaleza están ubicados dentro de gabinetes, siendo el diseño de su conexión eléctrica adaptado a las necesidades del cliente.

Los interruptores son controlados por el circuito de mando, que a su vez, se conforma por el controlador lógico programable y su red de dispositivos de periferia compuesta de los actuadores, los relés y los medidores de potencia. Por otra parte, el controlador lógico programable actúa de acuerdo con el algoritmo de decisión dependiendo de la información obtenida de su periferia que está compuesta por relés de medición, la existencia de un controlador lógico programable supone la ventaja de adaptar el sistema a las necesidades del usuario, lo anterior es significativo respecto de los relés de transferencia dedicados o bien de los sistemas de transferencia electromecánicos, debido a que el algoritmo del controlador lógico programable puede ser modificado a voluntad y la capacidad de manejo de periferia aumentada al agregar módulos, controlando más de un interruptor automático de transferencia con un solo controlador lógico programable, llegando a ser tantos los interruptores automáticos de transferencia como el controlador lógico programable lo permita. (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

2.2 Diagrama unifilar de transferencia

Un interruptor de transferencia automático con sincronización de generadores a una barra común consta de generadores dotados de un switchgear, sistema de medición de voltaje (59, 60, 80), protección contra corriente inversa (67). Cada uno de los generadores está conectado a la barra común, y por seguridad los generadores se sincronizan a esta antes de suministrar potencia a la carga, la barra común cuenta con medición de voltaje y de frecuencia, el relé de frecuencia envía señales de campo al controlador lógico programable para que este acelere o des-acelere el generador que hará las veces de barra infinita, a la barra común está también conectado el interruptor principal, que a su vez, está motorizado.

Conectado a la barra de carga están los interruptores principal y de barra común, ambos están motorizados y cuentan con enclavamiento mecánico, en la barra de carga hay un sistema de medición de potencia que sirve para comunicarle al controlador lógico programable si debe sincronizar otro generador más a la barra común para abastecer la carga o si por el contrario deberá sacar uno de servicio.

El interruptor principal abre el suministro que viene de un transformador, al interruptor principal se conecta un relé de voltaje que es quien determina si procede activar el interruptor de transferencia automático. (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

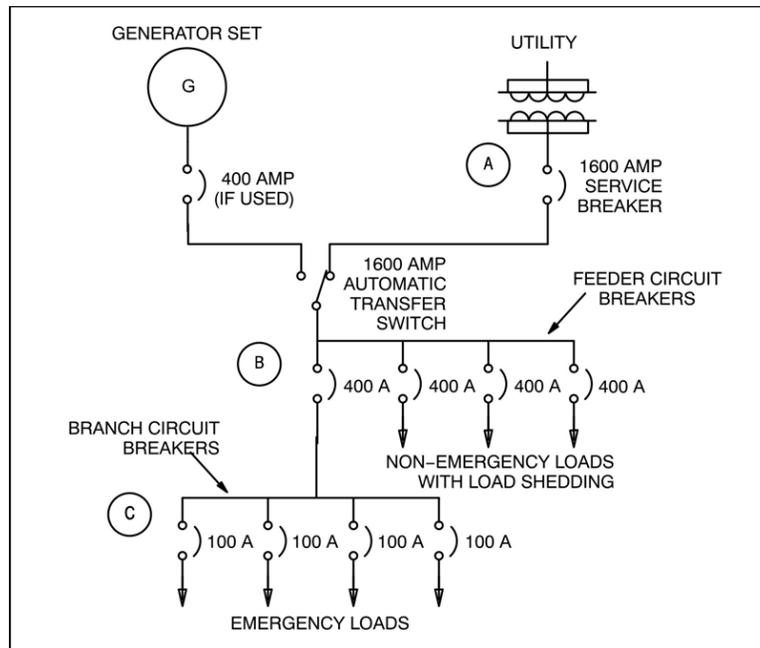


Figura 12. Diagrama unifilar interruptor de transferencia (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

2.3 Sistema de transferencia (TRANSFER SWITCHES)

El tipo de sistema de control para el interruptor de transferencia variará dependiendo del tipo de conmutación y del equipo a controlar. Un interruptor de transferencia manual, por ejemplo, no tendrá controles eléctricos donde un exista interruptor automático, este puede utilizar un microprocesador con funciones programables por el usuario. Otros interruptores utilizan un tipo de control sobre la base de cualquier funcionalidad de retransmisión tradicional, circuitos de estado sólido, o un sistema basado en microprocesador.

Diseños anteriores de los sistemas de control se basaron relés, con controles de estado sólido convertirse en diseños anticuados, los diseños más recientes emplean sistemas de microprocesadores. Cualquiera de estos controles monitorea el voltaje y la frecuencia de cada fuente y comparar esas señales con un grupo de especificaciones aceptables para los parámetros específicos. Este grupo de especificaciones son ajustables o programables.

Esta comparación es la base para la decisión de control e iniciar con la conmutación a la fuente alternativa. Cada tipo también puede incluir funciones opcionales para la medición, pantalla y anunciación remota. Sistemas de control basados en microprocesador más sofisticados. También puede incluir funciones de vigilancia adicionales, tales como la detección de rotación de fase, pérdida de fase la detección, el desequilibrio de tensión, y más. Funciones de retardo de tiempo para la evaluación de parámetros, el traslado, y el control de re-transferencia a menudo están también incluidos.

Con frecuencia, los relojes a tiempo para el ejercicio automático de un grupo electrógeno son equipos adicional o, en el caso de los microprocesadores, integrado en el propio control. Los equipos interruptores de transferencia pueden ser diseñados de la operación manual, no automática o automática. El tipo de sistema de control para el interruptor de transferencia variará dependiendo del tipo de conmutación equipo que es. (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

2.3.1 Switches de Transferencia Manuales

Como su nombre indica, son controlados manualmente y requieren la operación directa por una persona para transferir la carga. Esta operación se realiza a través de una palanca o mango; el interruptor no tiene solenoides accionados eléctricamente, contactores, o motores lineales. El contacto real de los mecanismos es operado a través del uso de energía del resorte con el fin de lograr hacer o romper los contactos portadores de corriente. El mango opera el mecanismo de resorte, en efecto la carga de los resortes con energía. Estos interruptores no tienen capacidad de monitoreo para el poder fuentes. (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

2.3.2 Switches de Transferencia Semi-Automáticos

De forma similar a los switches de transferencia manual, los semi-automáticos son controlados por una fuente externa que podría ser un interruptor de transferencia automática. Este tipo de diseño utiliza eléctricamente mecanismos de transferencia. La Transferencia de la carga con estos interruptores se lleva a cabo con una señal eléctrica ya sea desde un operador o desde un control externo. Al igual que con switches de transferencia manual, no hay una capacidad de monitoreo. A menudo, estos interruptores también pueden ser operados manualmente. (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

2.3.3 Switches de Transferencia Automáticos

Incorporan controles eléctricos que controlan ambas fuentes de energía y si la fuente conectada se vuelve inaceptable o falla en algún tiempo determinado, transferirá la carga a una fuente aceptable, sin la participación del operador. En el caso de un sistema generador de respaldo, la primera acción, si la fuente primaria está disponible, enviará una señal para dar lugar automática con el arranque del grupo electrógeno. Cuando la fuente primaria de energía vuelve y se encuentra dentro de los parámetros aceptables, el control ejecutará el cambio de nuevo a esa fuente y, en el caso de un generador sistema, iniciará la secuencia de parada del grupo electrógeno.

Por lo general, un interruptor de transferencia automática puede ser establecido para funcionar en modo no automático o accionado manualmente.



Figura 13 Switch de transferencia automática Cummins Power Generation (T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014)

3. SISTEMA DE CONTROL PARA GRUPOS ELECTROGENOS

Son controles digitales basados en microprocesadores que brindan al grupo electrógeno y al sistema de transferencia (Transfer switch) la funcionalidad de acceder a los datos críticos de rendimiento y comunicar esos datos entre sí. Estos controles digitales utilizan el poder de las computadoras para permitir que los componentes del grupo electrógeno interactúan entre sí.



Figura 14. Control instalado en grupo electrógeno. (CMT0177 - Fundamentals of Power Generation PG V1.2, 2011)

3.1 Beneficios de los controles en grupos electrógenos

- **Confiabilidad.** El uso de los controles basados en microprocesadores hace que un menor número de fallo ocurran en comparación con los tradicionales que contienen componentes discretos.
- **Flexibilidad.** Los controles pueden ser adaptadas a una variedad de modos de funcionamiento con unos pocos cambios en el menú. Para más cambios radicales en funcionamiento, se debe de cargar un nuevo programa o configuración, a parte de los sistemas de cableados que toman días o semana para reconfigurar.
- **Tamaño físico.** La consolidación de controles permite que el sistema ocupe mucho menos espacio físico que otros controles convencionales.

- **Registro de datos.** Los controles digitales mantienen los registros de las operaciones de control, las condiciones de alerta, y otros eventos. Los sistemas de control digitales facilitan el estado del mantenimiento en todo el sistema de control en paralelo, permitiendo la supervisión y el ajuste de los parámetros del sistema con un ordenador portátil. (CMT0177 - Fundamentals of Power Generation PG V1.2, 2011)

3.2 PowerCommand 3300 (PCC 3300)

Es un microprocessor creado para satisfacer las demandas de los motores basándose en el monitoreo de parámetros en el grupo electrógeno, medición y control de los mismos. La integración de todas las funciones en un sistema de control único proporciona una fiabilidad mejorada y rendimiento, comparado con el control del grupo electrógeno convencional.

Estos sistemas de control se han diseñado y probado para cumplir con las duras condiciones en las que los grupos electrógenos son típicamente aplicados. (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation ,2014)

3.2.1 Características del PowerCommand 3300 (PC3300)

- **Regulación de voltaje digital** incluye tres fases de onda completa, transistor de efecto campo de tipo regulador compatible con los sistemas de PMG.
- **Comunicación directa con el motor** para proporcionar un enlace de datos entre control (PCC3300) con el módulo de control del motor (ECM).
- **Monitoreo de estado y funciones** de los motores y del generador.

- **Sync check** el cual permite establecer ajustes para el ángulos de fase, tensión, frecuencia y retraso de tiempo.
- **Protección del medio ambiente** diseñado para una confiable operación en ambientes hostiles; el tablero de control principal está completamente encapsulado para protegerlo de elementos del entorno. (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation , 2014)



Figura 15. PowerCommand 3300 Cummins Power Generation. (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

3.3 Funciones de paralelismo del PowerCommand 3300 (PC3300)

3.3.1 Sistema con Sensor de First Start.

PowerCommand 3300 proporciona una función de control que evita que múltiples grupos electrógenos se sincronicen simultáneamente a una barra aislada bajo condiciones de arranque. El primer sensor es un sistema de comunicación entre los grupos electrógenos que permite a los grupos electrógenos funcionar en conjunto para determina cual grupo electrógeno debe ser el primero en sincronizarse en la barra.

3.3.2 Sincronización

El control incorpora una función de sincronización para forzar al grupo electrógeno a que coincida con la frecuencia, la fase y la tensión de otra fuente tal como una red de suministro eléctrico público.

El sincronizador puede sincronizar con otras fuentes entre el rango de 60 hasta 110% de la tensión nominal y desde -24 hasta +6 Hertz. La función del sincronizador es configurable por deslizamiento de sincronización de frecuencia para aplicaciones que requieren una dirección del flujo de energía conocida durante el instante de cierre del interruptor o para aplicaciones donde la sincronización de fase el rendimiento es de otra manera inadecuada.

3.3.3 Control de reparto de carga (Load sharing control)

El control del grupo electrógeno incluye un sistema para el control de reparto de carga integrado tanto para la potencia real (KW) como para cargas reactivas (KVAR) cuando un grupo electrógeno está operando en un bus aislado.

El sistema de control determina la potencia real de la carga en el motor y la carga reactiva en el alternador como un por ciento de la capacidad del grupo electrógeno y, a continuación, regula combustible y sistemas de excitación para mantener el sistema y al grupo electrógeno en el mismo porcentaje de la carga sin afectar la tensión o la regulación de frecuencia. El control también se puede configurar para el funcionamiento en modo de caída de potencia real o carga compartida en potencia reactiva.

3.3.4 Load govern control

Cuando PowerCommand recibe una señal que indica que el grupo electrógeno está en paralelo con una fuente infinita como una utilidad de servicios, el grupo electrógeno operará en modo de carga gobernada (Load govern control). En este modo el grupo electrógeno sincronizará.

El control es ajustable para valores de potencia activa de 0 hasta 100% del valor nominal, y de 0.7 hasta 1.0 factor de potencia (retraso).

El ajuste predeterminado es el 80% de potencia y 1,0 de potencia factor. El control incluye entradas para permitir el control independiente del nivel de carga de potencia real y potencia reactiva por un dispositivo remoto. La tasa de aumento de carga y disminución es también ajustable en el control.

3.3.5 Control de demanda de carga (Load demand control)

Este sistema de control incluye la capacidad de responder a una señal externa para iniciar la carga operación de la demanda. El grupo electrógeno se transferirá su carga a los demás generadores, abrirá su interruptor, se enfriará, y se apagará.

Dependiendo de la necesidad, el grupo electrógeno arrancará de inmediato, se sincronizará, cerrará su breaker y suplirá potencia para la carga adquirida.

3.3.6 Sync check

La función de Sync check o comprobación de sincronismo, decide cuándo se han cumplido las condiciones permisivas para permitir que los interruptores cierren.

Entre los criterios ajustables están:

- Diferencia de fase de 0.1 a 20 grados.
- Diferencia de frecuencia de 0.001 a 1.0Hz.
- Diferencia de voltaje de 0,5 a 10%.
- Un tiempo de permanencia de 0.5 a 5.0 segundos.

Internamente, la comprobación de sincronización se utiliza para realizar cerrar las operaciones de transición, también está disponible una salida de verificación de sincronización externa.

3.3.7 Control de transferencia de potencia

Proporciona funciones automáticas de transferencia de energía, incluyendo la detección de disponibilidad de la fuente, grupo electrógeno arranque y parada, monitoreo y control de la transferencia. La transferencia es configurable para la transición cerrada rápida (menos de 100 ms tiempo de interconexión), o de transición suave cerrado (rampa de carga).

Durante un fallo de la fuente de servicios públicos el grupo electrógeno arrancará automáticamente y suplirá la demanda. Al volver la utilidad, se producirá la transferencia de carga. El control de transferencia de potencia contiene unos sensores y temporizadores incluyen:

- **Sensor de baja tensión.** Detecta bajas tensiones de Línea-Neutro o Línea-Línea y las ajusta entre 85 a 100% del valor nominal. La detección de estas caídas de tensión pueden ser configuradas entre 0.1 a 30 segundos.

- **Sensor de alta tensión.** Detecta altas tensiones de Línea-Neutro o Línea-Línea sobre un voltaje ajustado entre 95 hasta 99% de la tensión nominal. La detección de estas sobre tensiones pueden ser ajustadas entre 0.5 a 120 segundos.
- **Sensor baja o alta de frecuencia.** Cuenta con una frecuencia central ajustable entre 45 a 65 Hz. El ancho de banda ajustable va desde 0.3 hasta 5% de la frecuencia central más allá del ancho de banda nominal.
- **Sensor de pérdida de fase.** Detecta tensiones fuera de fase haciendo una relación de ángulo entre dichas fases.
- **Sensor de rotación de fase.** Comprueba si hay rotación de fase válida en la fuente.
- **Sensor de disparo de breaker (Breaker tripped sensor).** Si el interruptor dispara el sensor se activará y la fuente asociada será considerada como no disponible.
- **Temporizadores (Timers).** Proporcionan un arranque ajustable de 0 a 300 segundos, transferencias de 0 a 120 segundos, retransferencias de 0 a 1,800 segundos y sincronización de 0 a 1,800 segundos.

3.3.8 Control de breaker

Las interfaces para la utilidad y los grupos electrógenos incluyen relays separados para el cierre y apertura de los breakers, de igual manera incluye entradas para señales de cierre-apertura de los breakers y para el disparo de los mismos. El diagnostico de estos interruptores incluye el fallo de contactos, fallo al abrir, fallo al cerrar y fallos de disparo. Ante cualquier tipo de fallo la acción de control apropiada se toma para mantener la integridad del sistema.

3.3.9 Sincronización extendida

En este modo el controlador arrancará el grupo electrógeno y lo sincronizará a la utilidad, luego controlará la potencia real y la potencia reactiva generada a salida, basado en el punto de control deseado. El punto de control de la potencia real (KW) puede ser configurado tanto para el punto de medición del grupo electrógeno como para el punto de medición de la utilidad. El punto de control de la potencia reactiva (KVAR) también se puede configurar de forma independiente, ya sea para el punto de medición del grupo electrógeno o el punto de medición de la utilidad. Esta flexibilidad permitiría suministrar KW desde el grupo electrógeno, mientras se mantiene el factor de potencia de la red a un valor razonable para evitar sanciones por estar bajo del factor de potencia.

Los Set Points o puntos de ajustes se pueden realizar a través de la entrada analógica cableada o ajustándolo a través de una pantalla del panel de operador o herramienta de servicio, todo esto mientras el sistema está en funcionamiento.

3.3.10 Reloj de ejercicios (Exerciser clock)

Permite que el grupo electrógeno sea operado a horas preestablecidas en pruebas sin carga, con carga, o en modo paralelo extendido gracias a un reloj de tiempo real que se incorpora en el sistema. Se pueden establecer hasta 12 diferentes programas para el día de la semana, la hora del día, duración, intervalo de repetición, y el modo deseado. Por ejemplo, se puede programar una prueba con carga durante 1 hora todos los martes a las 2 am. (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

3.4 Tipos de aplicación del PowerCommand PCC3300

Un controlador está configurado para funcionar en una de seis posibles tipos de aplicación. Estas topologías se utilizan a menudo en combinaciones de sistemas grandes, con coordinación de los controladores en el sistema, ya sea por dispositivo externo o por enclavamientos proporcionados en el control. Las topologías que pueden ser seleccionadas en el control incluyen:

- **Independiente (Standalone):** El control proporciona un monitoreo, protección y control en una aplicación no sincronizada.

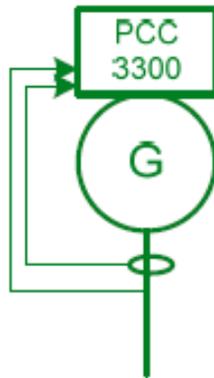


Figura 16. Topología Independiente (Standalone) (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

- **Synchronizer only:** el control sincronizará el grupo electrógeno a otra fuente cuando se le ordene, este puede ser a través de un cableado o el protocolo de comunicación Modbus.

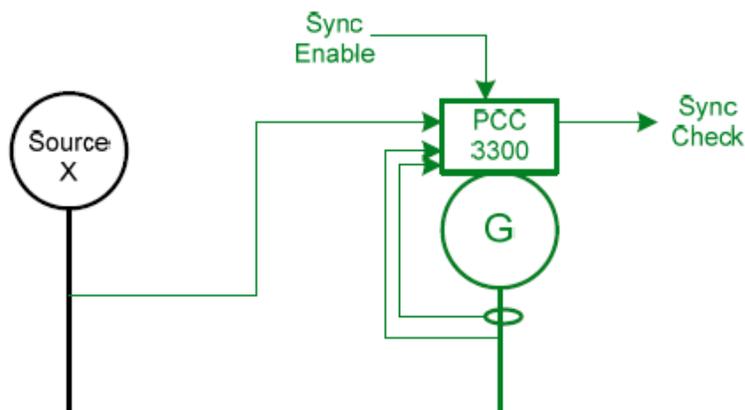


Figura 17. Topología Synchronizer only (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

- **Barra aislada (Isolated Bus):** permite que el grupo electrógeno pueda sincronizarse a una barra muerta o sincronizarse a una barra con cargas de otros grupos electrógenos.

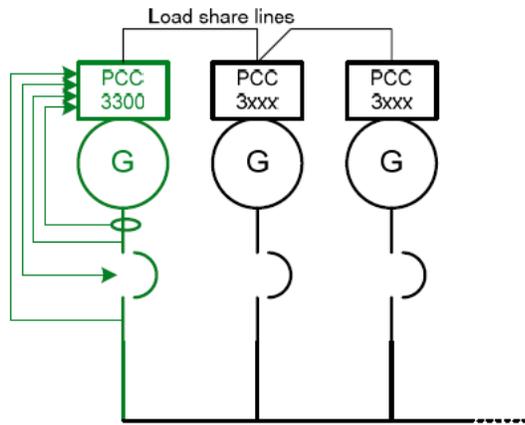


Figura 18. Topología barra aislada (Isolated Bus) (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

- **Utilidad Individual:** El control supervisa al grupo electrógeno y a la utilidad. El control se iniciará automáticamente y proporcionará energía a una carga si la utilidad falla. El control también volverá a sincronizar al grupo electrógeno de nuevo a la utilidad y proporcionará capacidades de sincronización extendida.

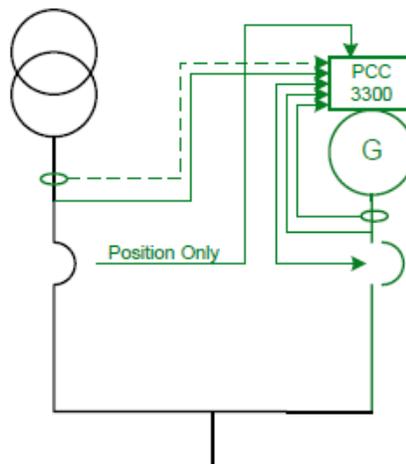


Figura 19. Topología utilidad Individual (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

- **Utilidad múltiple:** Soporta todas las funcionalidades de la topología de barra aislada y proporciona utilidades de la topología de sincronización extendida. Utiliza como entradas señales analógicas, registro Modbus o pantallas HMI.

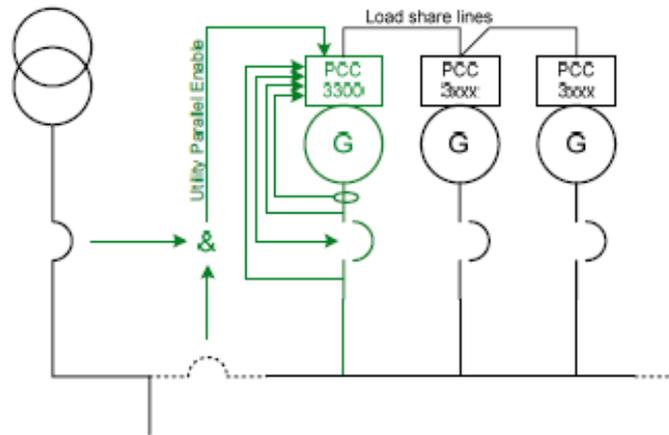


Figura 20. Topología utilidad múltiple (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

- **Control de transferencia de potencia:** El control opera un solo grupo electrógeno o a la utilidad individual en transición abierta, transición cerrada, o una transición de cerrado suave.

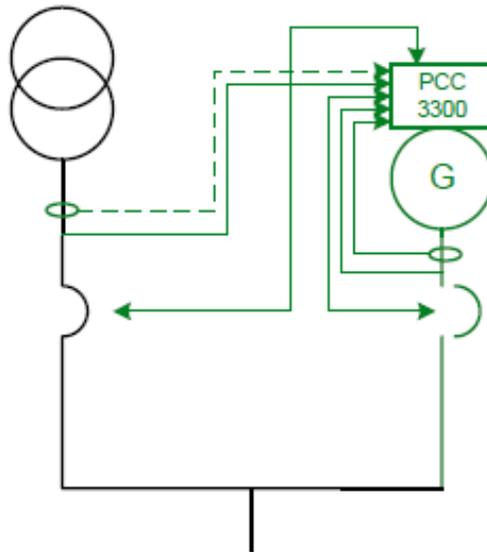


Figura 21. Topología control de transferencia de potencia (PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation, 2014)

3.5 Funciones de protección para el PowerCommand 3300

Durante el funcionamiento de las protecciones, el control indica un fallo iluminando del estado correspondiente a través de un LED en el panel, de igual manera mostrará un código de falla y la descripción en la pantalla LCD. La naturaleza de la falla y el tiempo de ocurrencia se registran en el control. Las funciones de protección incluyen:

3.5.1 Modo battle short

Cuando este modo está activo, el control permitirá que algunas fallas de apagado del motor sean anuladas. Si una falla de apagado ocurre, el código de error y la descripción se anuncian, pero el grupo electrógeno no se apagará. Este tipo de aplicación puede ser utilizada en hospitales, clínicas y lugares donde es más importante continuar suministrando energía que perder el grupo generador.

3.5.2 Modo de reducción de potencia (Derate)

Esta función reduce la potencia de salida del grupo electrógeno en respuesta a una condición de fallo. Si se ejecuta el modo de reducción de potencia mientras opera en una barra aislada, el control emitirá comandos para reducir la carga en el grupo electrógeno a través del cierre de contactos o por medio del protocolo de comunicación Modbus. Si se produce el modo de reducción de potencia mientras que el grupo electrógeno está sincronizado a la utilidad, el control reduce activamente la potencia bajando la potencia real de carga base. (Manual de servicio PCC3300, Cummins Power Generation, 2015)

3.5.3 Entradas configurables de alarma y de estado

El control acepta hasta cuatro entradas de alarma o de estado (contacto cerrado configurable a tierra o abierto) para indicar una condición configurable (especificado por el cliente).

El control es programable para alertas, reducción de potencia, apagado, apagado con indicación de tiempo de reutilización o el estado y para el etiquetado de la entrada.

3.5.4 Parada de emergencia

Anuncia una parada de emergencia cuando se recibe una señal de un interruptor externo.

3.5.5 Protección general del motor

- **Señal de alarma de voltaje de batería cuando este es bajo o alto.** Indica el estado de batería del sistema (fallo) de carga gracias a un monitoreo continuo de voltaje de la batería.
- **Aviso de problemas con la batería.** El sistema de control pondrá a prueba la batería cada vez que el grupo electrógeno arranque. Se señala para iniciar y emite una señal de fallo si la batería está muerta.
- **Fallo de arranque (overcrank).** El sistema de control indica una falla si el grupo electrógeno no arranca por la secuencia de giro en el motor.
- **Falla de hacer girar al motor.** Control ha dado señales de arranque para hacer girar el motor, pero el motor no gira.
- **Arranque bloqueado.** El control no permitirá que el motor de arranque intente arrancar el motor cuando este está girando.

- **Simulación de fallo.** El control aceptará comandos de prueba para permitir a un técnico verificar el funcionamiento correcto del control y su interfaz mediante la simulación de modos de fallo o forzando el control para operar fuera de sus rangos normales de operación. También proporciona una lista completa de fallos y ajustes para funciones de protección proporcionados por el controlador.

3.5.6 Protección del generador

Son dispositivos que conservan la integridad y el funcionamiento del generador protegiéndolo de corrientes excesivas, altos o bajos voltajes, alta o baja frecuencia, potencia activa y potencia reactiva inversa y de una posible sobrecarga.

3.5.6.1 Relé de protección AmpSentry.

Brinda un sistema de monitoreo y control integral al sistema de Control PowerCommand que custodia la integridad del sistema generador proporcionando protección contra una amplia gama de condiciones de falla en el grupo electrógeno o en la carga. También proporciona regulaciones de corriente de fase para que los dispositivos aguas debajo de la protección, manejen la corriente máxima disponible para condiciones de falla sin someter al generador a condiciones de fallo potencialmente catastróficos. (Manual de servicio PCC3300, Cummins Power Generation, 2015)

3.5.6.1.1 Parada del alto voltaje CA/ Código (59)

Se activa cuando una tensión de salida en cualquier fase supera los valores preestablecidos. Su tiempo de disparo es inversamente proporcional a la cantidad por encima del umbral.

Contiene unos valores ajustables entre 105 a 125% de la tensión nominal, con retardo de tiempo ajustable desde 0.1 hasta 10 segundos. El valor predeterminado es 110% para 10 segundos.

3.5.6.1.2 Apagado por baja frecuencia/ Código (81 u)

Se activa cuando la salida de frecuencia en el generador no se puede mantener. Los ajustes pueden ser establecidos entre los rangos de 2 a 10 Hz por debajo del punto de ajuste del gobernador de referencia, para un tiempo de activación de 5 a 20 segundos. Los valores predeterminados son 6 Hz, 10 segundos. La protección de frecuencia baja se desactiva cuando la excitación es apagada, como cuando el motor está funcionando en modo ralentí.

3.5.6.1.3 Parada por alta frecuencia / Código (81O)

Se activa cuando el generador es operando a un nivel de frecuencia potencialmente perjudicial. Sus ajustes pueden ser establecidos entre 2 a 10 Hz por encima de la frecuencia nominal del gobernador con un tiempo de retardo de 1 a 20 segundos. Los valores predeterminados son 6 Hz, 20 segundos.

3.5.6.1.4 Alerta de sobrecorriente / Código (51)

Se activa cuando la curva térmica llega hasta el nivel de disparo instantáneo calculado sobre la base de la relación de transformación actual potencia nominal.

3.5.6.1.5 Alerta de sobre carga (KW)

Proporciona una indicación de aviso cuando el motor está funcionando a niveles de sobrecarga en un punto de referencia. Su rango de ajuste va desde 80 a 140% de aplicación nominal KW, con un tiempo de retardo de 0 a 120 segundos. Los valores predeterminados son 105%, 60 segundos.

3.5.6.1.6 Apagado por potencia real inversa (KW) / Código (32)

Cuenta con un rango de ajuste que va entre 5 a 20% de rango en KW, con un tiempo de retardo entre 1 a 15 segundos. Los valores predeterminados son: 10%, 3 segundos.

3.5.6.1.7 Apagado por potencia reactiva inversa (KVAR)

Cuenta con un nivel de apagado ajustable que va entre 15 a 50% de la potencia nominal reactiva (KVAR), con un tiempo de retardo entre 10 a 60 segundos. Los valores predeterminados son: 20%, 10 segundos. (Manual de servicio PCC3300, Cummins Power Generation, 2015)

3.6 Certificaciones del PowerCommand 3300

PowerCommand cumple o excede los requisitos de los siguientes códigos y normas:

- NFPA 110 para el nivel 1 y 2.
- ISO 8528-4: 1993 controles e interruptores de cumplimiento.
- Mercado CE: El sistema de control es adecuado para su uso en grupos electrógenos para ser la marca CE.
- ES 50081-1,2 emisiones industriales residenciales / de luz o emisiones industriales.
- ES 50082-1,2 residencial / industrial ligero o industrial susceptibilidad.
- ISO 7637-2, nivel 2; suministrar pruebas de picos de tensión CD.
- Mil Std 202C, Método 101 y ASTM B117: a prueba de niebla salina.
- UL 508 reconocida y adecuado para su uso en UL 2.200 grupos electrógenos cotizadas.
- CSA C282-M1999 cumplimiento
- CSA 22.2 No. 14 controles industriales M91.
- PowerCommand sistemas de control y grupos electrógenos están diseñados y fabricados en la norma ISO 9001 instalaciones certificadas. (Manual de servicio PCC3300, Cummins Power Generation, 2015)

CAPITULO II

2. SINCRONIZACION DE GRUPOS GENERADORES

2.1 Grupos generadores en paralelo

Paralelismo es simplemente la operación simultánea de dos o más fuentes de generación conectadas a una barra común a fin de proveer energía a una carga común. Los equipos de paralelismo hacen que dos o más grupos generadores funcionen como si ellos fueran un grupo generador grande. (T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014)

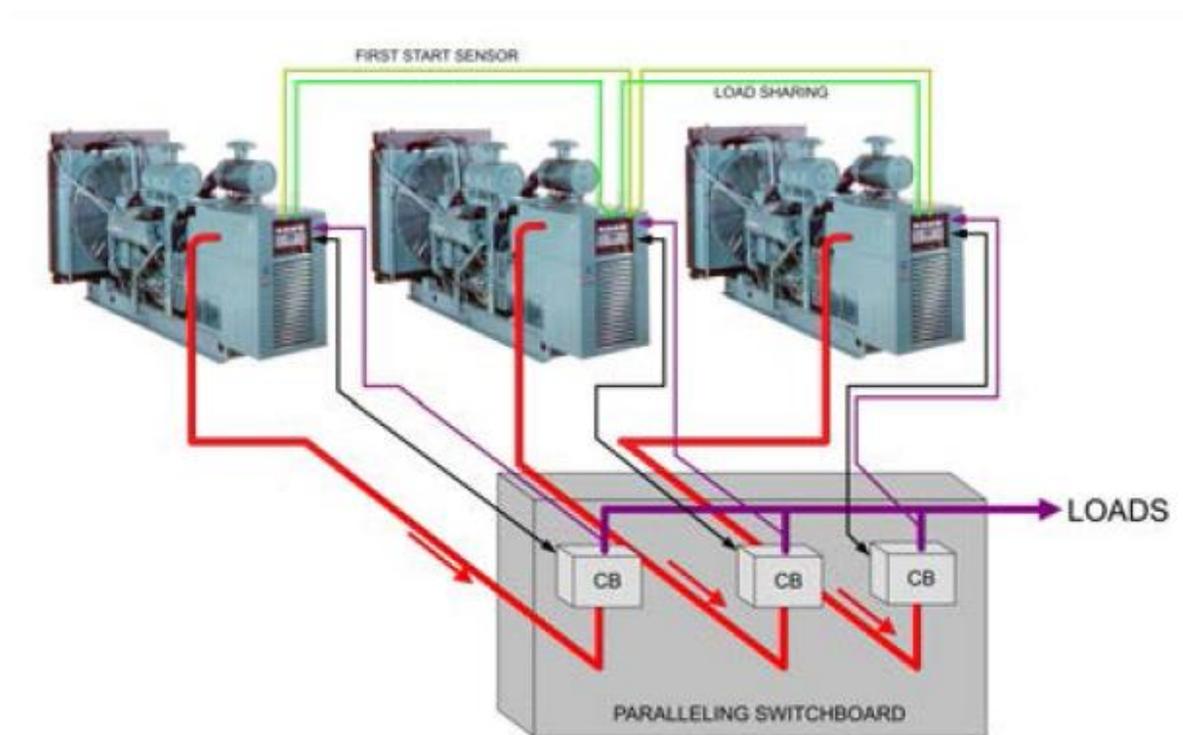


Figura 22. Grupos Generadores conectados a una barra común, simultáneamente alimentando a una carga común (T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014)

Hay diversas razones del porque utilizar sistemas de paralelismo de grupos generadores en vez de utilizar un grupo generador de mayor capacidad solo para alimentar la carga. Las razones más comunes son:

- Se requiere mayor fiabilidad del servicio para cargas críticas del sistema
- Ahorro de costos
- Conveniencia de Servicio
- El nivel de demanda es elevado y el sistema principal no tiene capacidad

El Paralelismo generalmente no es usado cuando:

- La demanda es baja (generadores de 300Kw y menores)
- Hay problemas de compatibilidad entre los equipos generadores

2.2 Beneficios de un sistema de paralelismo

En primer lugar, es bueno mencionar que uno de los principales beneficios de un sistema de paralelismo es que agrega mayor capacidad al sistema.

Los beneficios de tener en paralelo un grupo de generador establecido en un lugar, va más allá del aumento de la capacidad de la barra, también puede incluir:

- Mayor fiabilidad
- Rendimiento mejorado
- Prestación de servicios de conveniencia
- Ahorro de costes

Las ventajas no se logran de forma automática con sólo añadir más grupos electrógenos en el sistema, pero aporta de manera sustancial al sistema.

2.2.1 Mayor fiabilidad

- En aplicaciones de emergencia, las posibilidades de suministrar energía a las cargas críticas son mayores cuando se usa grupos generadores múltiples.
- Mientras existan más grupos generadores disponibles en el sistema, mayor será la probabilidad que las cargas prioritarias sean alimentadas.
- El uso de generadores múltiples permite al cliente mantener procesos críticos funcionando, aun si una porción del sistema falla.
- Si se usa un grupo generador muy grande, las limitaciones de capacidad del breaker pueden forzar a operar en media tensión y usar transformadores para alimentar a las cargas, esto adiciona un punto potencial de falla en el sistema. Usar varios generadores más pequeños en paralelo elimina estos inconvenientes.



Figura 23. Grupos generadores conectados a una barra común, simultáneamente alimentando una carga común (T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014)

2.2.2 Ahorro de costos

- El uso de grupos generadores múltiples permite comprar e instalar solo la capacidad necesitada y da flexibilidad de adicionar capacidad en el futuro con interrupción mínima de las operaciones.
- Usar paralelismo permite la operación más eficiente de los grupos generadores, solo funcionara el número de generadores requeridos y a mayores niveles de carga (Operación en Demanda de Carga).
- El costo por Kw es menor en grupos generadores más pequeños a 1800RPM que en grupos generadores más grandes y de menor RPM.
- Si se usa un grupo generador muy grande, los costos del breaker y de otros componentes del sistema pueden ser más grandes que con un sistema de paralelismo. Esto sucede más aún si se debe trabajar en media tensión.
- Los costos de instalación típicamente son menores en varios generadores pequeños que en un grupo generador muy grande.

2.2.3 Conveniencia de servicio

- El uso de grupos generadores múltiples permite retirar de servicio un generador para mantenimiento o reparación, sin afectar a las cargas críticas.
- El tiempo de parada de la planta, si lo hubiera, se minimiza.
- Con esto se elimina los costos de renta e instalación de generadores de back-up.
- NEC requiere que una fuente alterna de energía standby “este disponible siempre que el generador de emergencia se retire de servicio para mantenimiento o reparación”. Este requerimiento se satisface con el uso de generadores múltiples en paralelo.

2.3 Switchgear

Es un medio para controlar y distribuir energía eléctrica a través de interruptores de potencia utilizando equipos de transferencia. Un switchgear puede ser de una sola sección o secciones múltiples, puede ser tan simple como un interruptor de un circuito en un panel eléctrico o puede ser toda la infraestructura eléctrica para un hospital o centro de datos. Las tensiones de operación para un switchgear pueden ser de baja tensión (BT) o media tensión (MT). El rango de baja tensión aceptado va desde 120VCA hasta 600VCA, para la aplicación de media tensión, el rango va desde los 1000VCA hasta 15kVCA.

Square D es el proveedor estándar para MT and BT en los switchgear utilizados por Cummins Power Generation, aunque los clientes pueden especificar el proveedor de su preferencia en el pedido del equipo. Otros fabricantes importantes que incorporan los sistemas Cummins Power Generation son: General Electric, Cutler Hammer, Siemens y ABB. Los switchgear de baja tensión normalmente usan breakers encapsulados y aislados (ICCB) Insulated Case Circuit Breakers por sus siglas en inglés, para controlar el flujo de potencia. Los de media tensión también incluyen breakers para circuitos aislados o breaker SF-6. (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).



Figura 24. Switchgear en Cummins Power Generation ubicado en Fridley (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)

2.4 Diseño de un switchgear

La **Figura 25**, muestra la vista posterior de una sección de baja tensión con las cubiertas retiradas. La energía en un switchgear fluye a través de grandes barras de cobre. Se pueden apilar varias barras o seccionarlas para aumentar la capacidad de manejo de corriente de la sección en el switchgear. Hay barras para cada fase e incluso para la tierra, una barra de neutro puede ser suministrada si es requerida.

Un switchgear de baja tensión usualmente es dimensionado para soportar un rango de amperaje que va desde 800 Amps hasta 8,000 Amps. Después de 8,000 Amps, generalmente es más económico y más fácil diseñar un switchgear de media tensión debido al peso de las barras y la necesidad de fijarlas adecuadamente. Cuando tres barras son ubicadas horizontalmente, el arreglo son llamadas “Cross Bus” o bus cruzado, cuando se organizan verticalmente son llamadas “Risers” o elevadores y cuando son ubicadas longitudinalmente son llamadas “Run Backs”. El arreglo “Cross Bus” a menudo puede ser encontrado en muchos sectores del switchgear e incluirá empalmes entre las secciones que se designan como lugares de distribución (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).



Figura 25. Arreglo de barras horizontal “Cross Bus” Switchgear en Cummins Power Generation ubicado en Fridley (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

2.5 Tipos de circuit breakers

2.5.1 Los circuit breakers de montaje fijo o Fixed Mount (MF)

Los circuit breakers o breakers pueden ser de montaje fijo (MF) o móviles (Draw Out por sus siglas en ingles “DO”). Los de montaje fijo, son atornillados al switchgear y generalmente no son movidos de donde se instalan. Estos tienen la ventaja de tener un costo más reducido en comparación con los breakers móviles y la estructura del switchgear donde están instalados suele ser más compacta. Un beneficio adicional es que las secciones de los breakers de montaje fijo normalmente no requieren acceso trasero haciendo que la instalación de estos sea mucho más cómoda.

La desventaja de estos breakers es que son difíciles de reparar o de sustituir ya que estos van atornillados a la estructura de las barras del switchgear (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

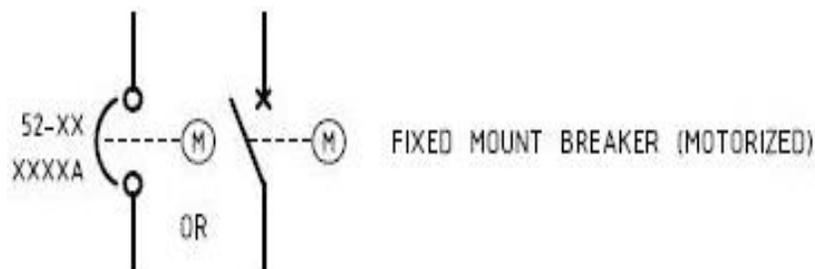


Figura 26. Esquema de un breaker de montaje fijo motorizado (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

2.5.2 Circuit breakers móviles o Draw Out (DO)

Generalmente estos circuit breakers son preferidos ante los de montaje fijo, ya que los móviles pueden ser desinstalados o removidos del switchgear permitiendo que estos sean reemplazados o reparados con facilidad. Los breakers móviles pueden ser instalados o desinstalados utilizando un mecanismo de manivela, el mismo se levantará por si solo en la celda o espacio donde está instalado. Dicha celda es instalada permanentemente en el switchgear y contiene el mecanismo de manivela.

Aunque estos breakers requieren de acceso posterior y son más caros que los diseños para montaje fijos, la facilidad de servicio a menudo triunfa sobre cualquier inconveniente, haciendo secciones DO más popular que las secciones de FM (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

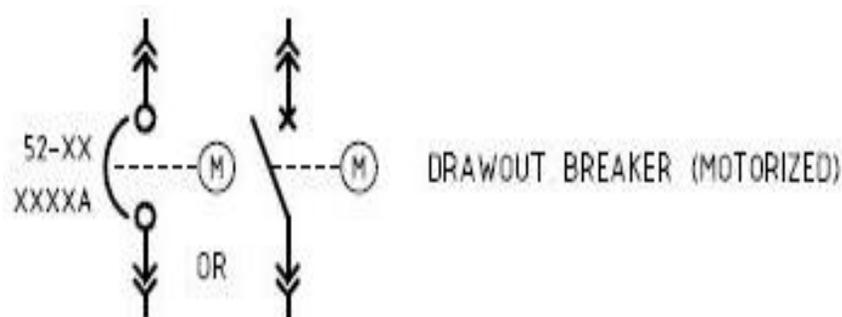


Figura 27. Esquema de un breaker móvil motorizado (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

2.6 Instrumentación de un switchgear

La **Figura 28**, muestra un sistema de generación que incluye dos generadores movidos por motores diésel, dos breaker en paralelo, un juego de PTs, CTs, Transductores, y terminales aislados en la barra. El bus es considerado como aislado porque no hay utilidad interconectada a este.

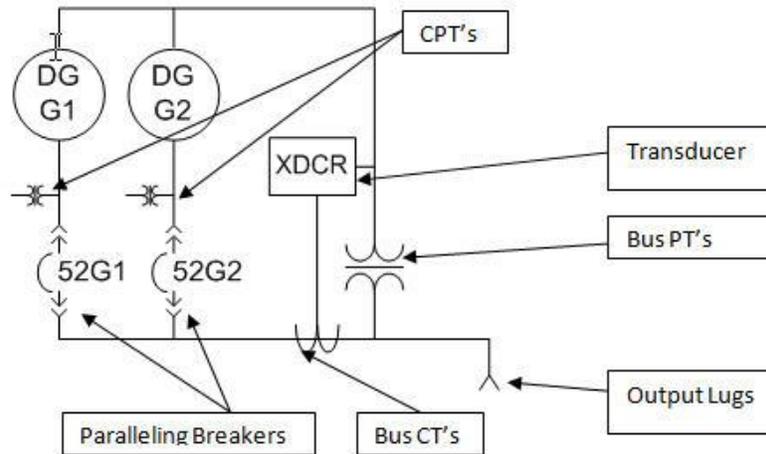


Figura 28. Instrumentación de un switchgear (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)

2.6.1 Transformadores de control de potencia CPT

Estos transformadores no son conocidos por su precisión, sino por sus KVA disponibles. Los CPT se utilizan como indicadores de potencia, motores de carga en los breakers, calentadores, bombas de transferencia y cualquier tipo de dispositivo que requiere grandes cantidades de corriente de carga. Los CPT no están destinados a ser utilizados como una fuente para el monitoreo de voltaje para medidores, transductores o cualquier otro dispositivo que requiere una gran precisión. Estos transformadores se instalan normalmente en un cajón o registro en el panel. Los fusibles primarios para los CPT se montarán en el mismo cajón o registro.

La **Figura 29**, muestra un fusible montado en un CPT de baja tensión. En ocasiones los CPTs no son necesarios ya que los motores pueden ser conectados directo a las líneas de alimentación.



Figura 29. Fusible montado en un CPT (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)

2.6.2 Transformadores de potencia PT

Los transformadores de potencia o también llamados transformadores de voltaje (VTs) son dispositivos de alta precisión en los que la relación de voltaje primario a voltaje secundario es una constante conocida, la cual cambia muy poco con la carga.

Además, el voltaje secundario está casi exactamente en fase con el voltaje primario. Los PTs son utilizados para enviar señales de voltaje a los controles para la sincronización, para que el DMC pueda utilizar estas señales para protección y para medición del voltaje de barras a través de transductores.

Los CPTs y los PTs no siempre son necesarios ya que muchos de los transductores y controles de los generadores trabajarán directamente con las fuentes de alimentación. (Máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de potencia, Theodore Wildi, 6ta edición,2007)

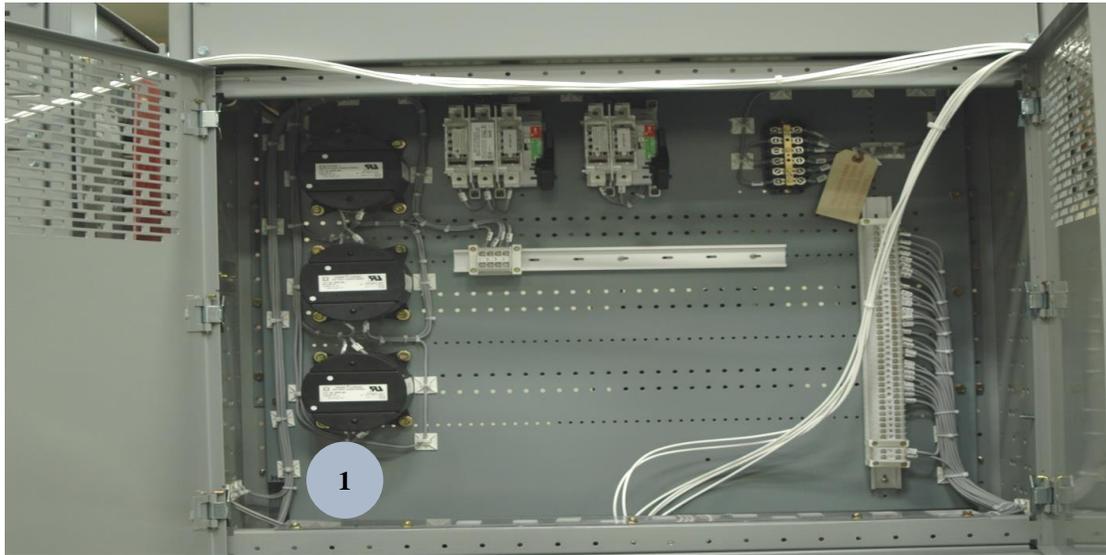


Figura 30. (1) Transformadores de potencia (PT) o de voltaje (VT) instalados en el panel de un switchgear. (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).

2.6.3 Transformadores de corriente CT.

Los transformadores de corriente (CT) son transformadores de alta precisión en los cuales la relación de las corrientes primaria a secundaria es una constante conocida que cambia muy poco con la carga.

El ángulo de fase entre ellas es muy pequeño, en general mucho menor que un grado. La relación de las corrientes altamente precisa y el ángulo de fase pequeño se logran manteniendo pequeña la corriente de excitación.

Los transformadores de corriente se utilizan para medir o monitorear la corriente en una línea o en una barra para así aislar los equipos de medición y el relevador conectado a la corriente en una línea y para aislar el equipo de medición y el relevador conectado al secundario. (Máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de potencia, Theodore Wildi, 6ta edición,2007)



Figura 31. Transformadores de corriente (CT) instalados en barras alimentadoras. (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)

2.6.4 Transductores

Son dispositivos electrónicos utilizados a menudo en aplicaciones de conmutación para convertir señales eléctricas en valores digitales. Dada la tensión y entradas de corriente, los transductores calcularán los kW, kVAR, PF, frecuencia y otra información de potencia. Estos datos son utilizados por un PLC u otros dispositivos para fines de control y de medición. Por ejemplo, un DMC utilizará estos datos para mostrar la información de medición de las barras en una HMI pantalla táctil, mientras que los mismos datos KW se utilizan como referencia de carga por la función de demanda de carga en el DMC.

Una buena regla general es utilizar un transductor para cada fuente de energía en un sistema. Un sistema en paralelo bus aislado requerirá normalmente un único transductor porque los generadores son la única fuente conectado al bus.

Un sistema de bus infinito simple con una utilidad y un generador requerirá dos transductores (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013).



Figura 32. (1) Transductor Power Plex Bitronics, (2) Transductor 70 (M572) (Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013)

2.7 Condiciones para sincronizar

2.7.1 Voltaje.

La primera condición significa que la tensión de la máquina entrante debe ser exactamente igual a la tensión de la línea o la de barra.

Si la tensión final de la máquina entrante es mayor o menor que la tensión de la línea, resulta una onda instantánea de corriente de la conexión de la nueva máquina, que origina subsecuentemente una corriente circulante por el arrollamiento de la armadura de la máquina, las barras colectoras, y los otros generadores que alimentan la línea.

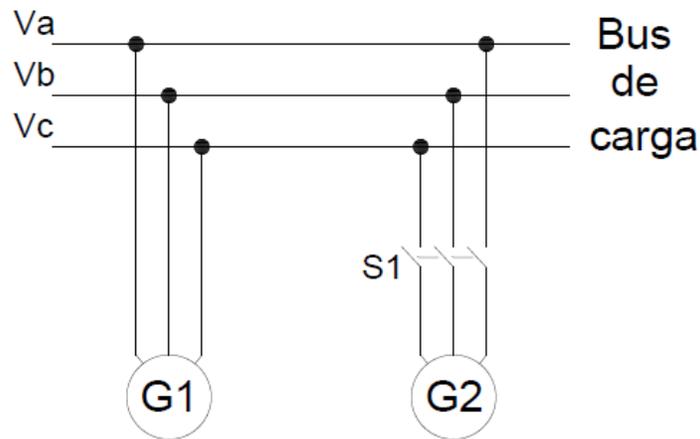


Figura 33. Comparación de voltajes con la red. (Elaboración propia)

2.7.2 Tensiones en fase

La segunda condición, ambas tensiones en fase, significa que en el momento de la conexión la tensión final de la máquina entrante y la tensión de la línea deben actuar en oposición entre sí en el circuito cerrado que consiste de la máquina entrante, las barras colectoras, y los otros generadores.

Si ambas tensiones no están en fase en el momento de la conexión, la diferencia de tensión resultante produce una onda de corriente instantánea, que en el caso de grandes desplazamientos angulares, puede dañar los arrollamientos de la máquina.

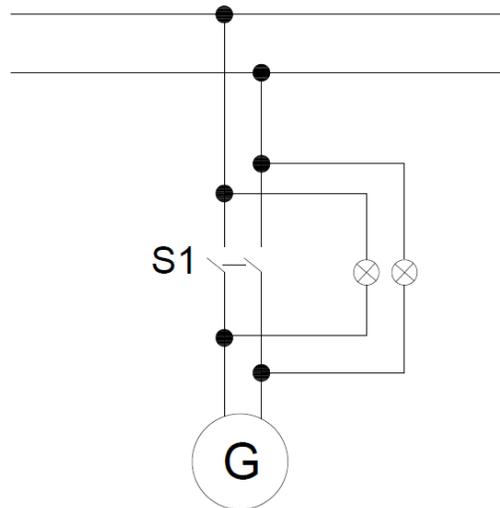


Figura 34. Sincronización de un generador monofásico con la barra infinita, por medio de lámparas. (Elaboración propia)

La condición en fase entre la tensión de la línea y la tensión de la máquina entrante y también la tercera condición de frecuencias iguales puede determinarse por medio de lámparas. La **Figura 34**, muestra el arreglo de las lámparas para una máquina entrante monofásica el interruptor S1 de doble polo está unido por dos lámparas L.

2.7.3 Frecuencia

La tercera condición, la frecuencia de ambas tensiones deben ser las mismas, significa que en el momento de la conexión la frecuencia del generador a acoplar y las frecuencias en las barras deber ser iguales. Si las tensiones son iguales y en fase las lámparas permanecen apagadas.

No obstante, si las tensiones son iguales pero la frecuencia de la línea y la frecuencia de la máquina entrante no son las mismas, las lámparas permanecen apagadas por un tiempo corto únicamente, se encienden después y vuelven a apagarse de nuevo. El encendido de las lámparas ocurre en una secuencia periódica, y la frecuencia de fluctuación es una indicación de la diferencia en la frecuencia entre la máquina entrante y la línea.

Debe ajustarse la frecuencia de la máquina entrante de tal manera que el encendido de las lámparas tenga lugar lentamente, y debe cerrarse el interruptor S en el momento en que las lámparas estén apagadas.

Variando la velocidad del motor primario se tiene como resultado una afección en la frecuencia del generador, esta es la manera de conseguir la igualación de todas las ondas entre el generador y la barra de carga.

La desigualdad de las ondas de frecuencia entre dos generadores, provoca que la tensión resultante sea mayor a la requerida por la red. Causando daños en los equipos y la carga conectada a esos grupos electrógenos. La frecuencia de funcionamiento es la medida eléctrica de la velocidad mecánica debido a su proporcionalidad.

Para acoplar generadores en paralelo es necesario que este valor sea común para todos los grupos, una desigualdad entre frecuencias puede provocar corrientes circulantes entre los generadores, tiene también gran influencia en el reparto de la carga, durante este proceso cada grupo toma potencia activa de forma proporcional a la velocidad de su motor.

2.7.4 Igualdad de secuencia de fase

La cuarta condición, significa que en el momento de la conexión la igualdad de secuencia de fase, los diagramas vectoriales deben girar en el mismo sentido. La **Figura 35**, muestra una secuencia de fases incorrecta, ante este caso las lámparas tendrán un brillo diferente cada una debido a la inversión de fases.

Para corregir esto, basta con sólo intercambiar dos de las fases del generador entrante para que la secuencia sea correcta. (A-B, B-C, C-A). (Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012).

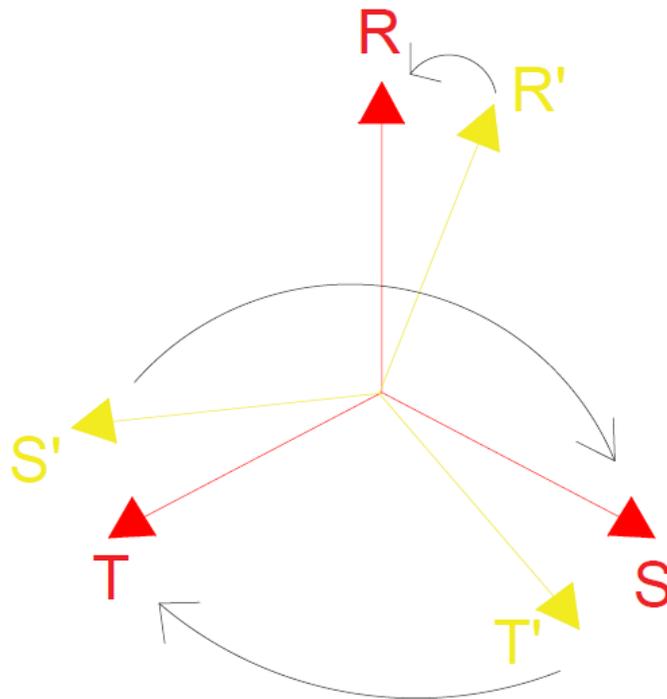


Figura 35. Desigualdad de secuencia de fases, las lámparas no brillan simultáneamente (Elaboración propia)

2.8 Técnicas de sincronismo

El funcionamiento de generadores en paralelo obliga a cumplir con ciertas exigencias, para ello se tienen varios métodos o procedimientos citados a continuación (Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012).

2.8.1 Técnicas para modificar la frecuencia

El dispositivo esencial que controla la velocidad o la potencia de un motor, turbina, u otra máquina se llama gobernador. El gobernador detecta la velocidad de un motor y controla el combustible inyectado en el mismo, manteniendo su velocidad a un nivel deseado. En algunos casos el gobernador controla otros factores que determinan la velocidad o la carga del motor. En todos los casos, un gobernador termina la fuente de energía para controlar su y que este pueda ser utilizado para un propósito específico.

Todo esto se traduce en un cambio dramático de la frecuencia ya que esta va muy relacionada a la velocidad del motor, debido a que por cada 30 RPM del motor tendremos 1 (un) Hertz. (Governing Fundamentals and Power Management, Woodward, 2007)

2.8.2 Sistema de control de voltaje

Los dispositivos que controlan, ajustan y modifican el voltaje en un grupo generador son llamados regulador de voltaje automático (AVR), son diseñados para mantener un voltaje de salida constante dentro de los rangos especificados por el sistema. Para hacer esto durante cambios de cargas el AVR debe incrementar o disminuir la corriente DC suplida a la excitatriz. (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015)

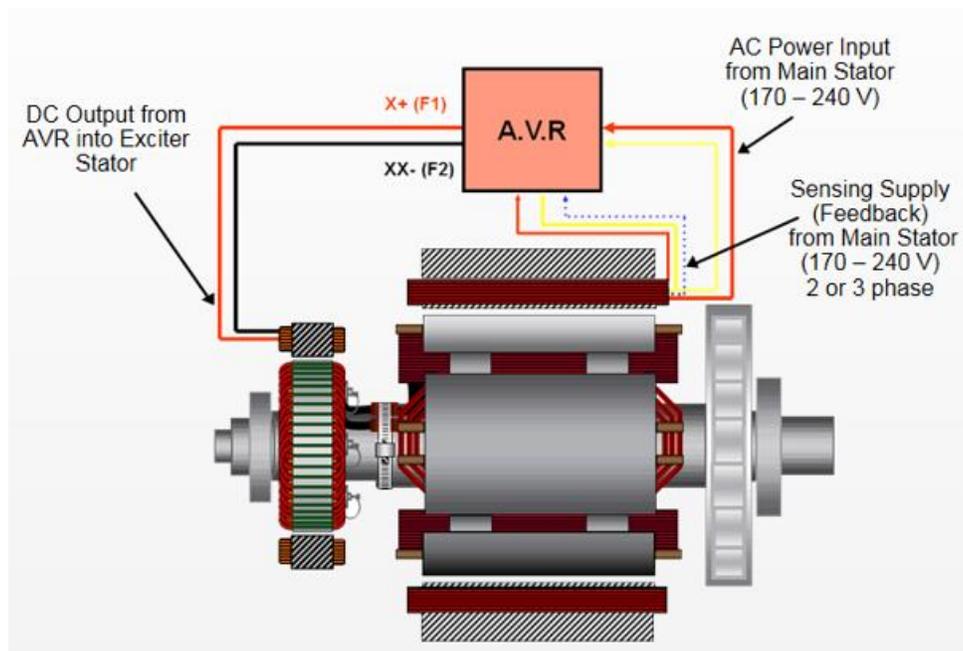


Figura 36. Excitatriz y AVR (Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015)

2.9 Métodos de sincronización por medio de lámparas

Existen varios métodos para sincronizar generadores. El método de sincronización por medio de lámparas no es un método moderno pero si eficaz, es por esto que se siguen utilizando.

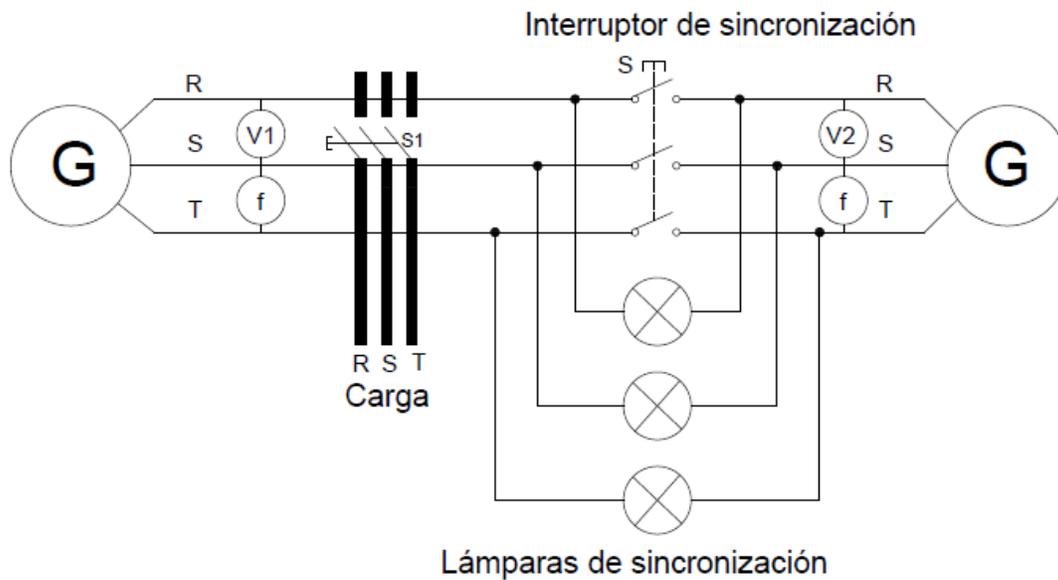


Figura 37. Método de sincronización por medio de lámparas. (Elaboración propia).

Para una máquina trifásica, se conectan tres lámparas a un interruptor de tres polos en la misma forma que para la máquina monofásica. Se dispone de instrumentos conocidos como sincronoscopios, medidores de frecuencia y voltaje, para una indicación precisa de sincronismo.

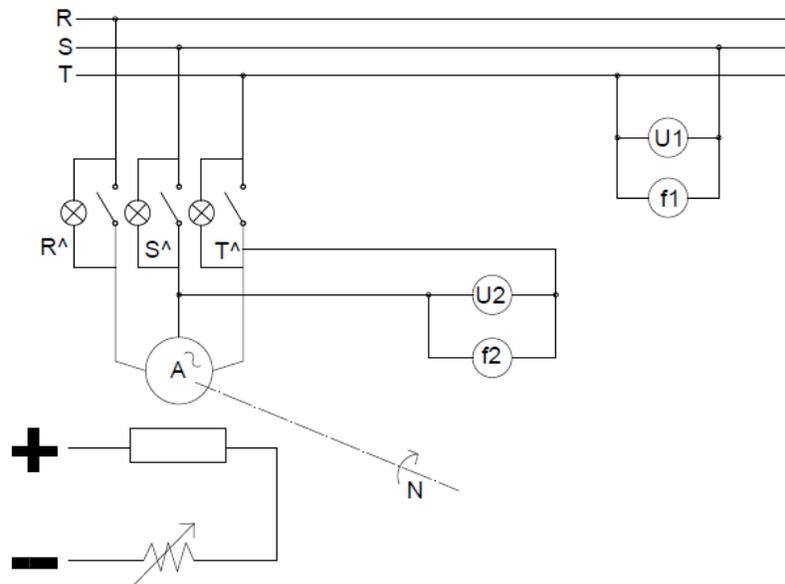


Figura 38. Sincronización de generador trifásico con la barra infinita, por medio de lámparas. (Elaboración propia).

La **tabla 1**, detalla las diferentes señales de las lámparas que podrían presentarse antes de sincronizar generadores.

Señal Visible	Causa	Corrección	Momento de conexión	Ventaja/de sventaja
Luces apagadas	Las tensiones en los generadores son iguales. La resultante es cero	Ninguna	Puede existir una diferencia de tension apreciable, pero insuficiente para encender las lamparas.	No se puede saber el momento exaco en que la diferencia es cero
Luces de brillo fluctuante pero igual para todas	Diferencia de frecuencias	Subir o bajar la velocidad del generador a conectar	N/A	Este metodo tiene la ventaja de detectar este problema, por lo cual es muy recomendab le
Luces de brillo fluctuante pero diferente para todas debido a la inversión de fase	Secuencia de fase que difieren	Intercambiar dos de las fases del generador a conectar	N/A	N/A
Luces con igualdad de brillo	Tensiones desiguales	Ajustar la excitacion del generador a conectar	N/A	N/A
Luces con igualdad de brillo	Desfasaje	Verificar la velocidad del generador a conectar	N/A	N/A

Tabla 1. Señales de las lámparas de sincronización. (Elaboración propia).

Al analizar la fase A de la **Figura 40**, respecto a la **Figura 39**, se observa la bombilla L1 con un resplandor tenue, dependiendo de la diferencia de potencial entre V_a y V_{G2a} .

Para corregir el problema basta con ajustar la corriente de campo por medio del AVR en el generador hasta llegar a la nulidad de iluminación en las lámparas $V_a=V_{G2a}$, $V_b=V_{G2b}$, $V_c=V_{G2c}$ consiguiendo que la desigualdad de voltajes entre las tres fases y la barra de carga sea cero. (Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012).

2.9.1 METODO DE LAS LAMPARAS APAGADAS

Para este método de sincronización se dan los siguientes casos la conexión de las lámparas se muestran en la siguiente figura:

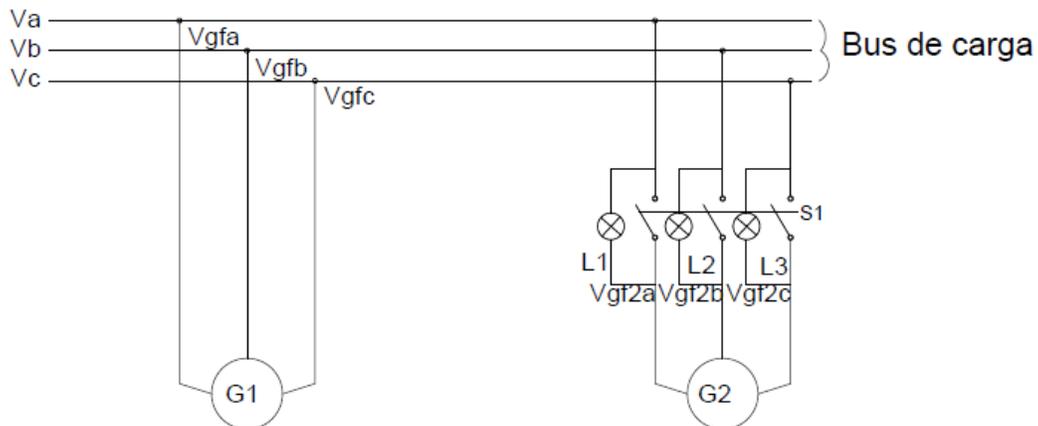


Figura 39. Método de las lámparas apagadas. (Elaboración propia).

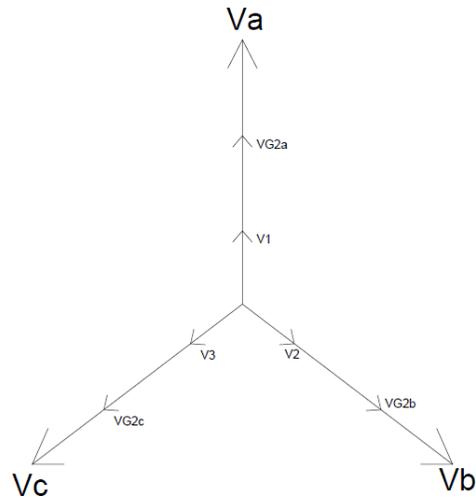


Figura 40. Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga. (Elaboración propia).

a) Frecuencias desiguales, pero voltajes y secuencias semejantes el fenómeno observado en las lámparas es similar que en el caso anterior se mantiene un resplandor tenue dependiente de la frecuencia a la cual rota el motor primario ajustando la velocidad de la máquina motriz a través del gobernador se consigue regular la frecuencia, de igual forma se maneja la corriente de campo del generador pues su voltaje también depende de la velocidad del motor.

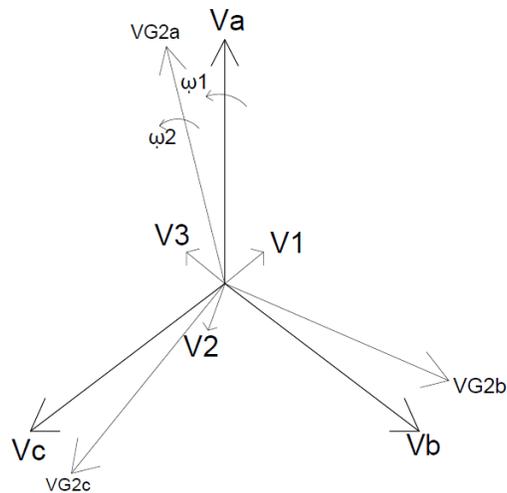


Figura 41. Discrepancia de frecuencia entre un generador y la barra de carga. (Elaboración propia)

2.9.2 Método de sincronización por medio del sincronoscopio

Este método es utilizado para sincronizar máquinas trifásicas 3ϕ con el sincronoscopio se pueden tener otra visión de lo que sucede con respecto a la velocidad y el ángulo de fase de los generadores. Si el generador tiene una menor frecuencia que la red, la aguja del sincronoscopio debe girar en dirección antihorario, en otras palabras si la aguja marca "lenta" o "desfase" en el dial es para indicar que el generador está funcionando más lento que la red.

Si el generador gira más rápido que la red eléctrica, la aguja gira en la dirección horaria, marcando como "rápido" o "principal". A continuación, se generador hasta que se ponga a la misma velocidad (frecuencia) distribución. Cuando la frecuencia del generador se acerca a la frecuencia de la red eléctrica, la aguja del sincronoscopio se hace más lenta y cuando coincidan con las frecuencias, la aguja se detiene y permanece inmóvil.

En este punto, hay una tarea más para llevar a cabo antes de que el generador se pueda conectar a la red. A pesar de que el generador y la red están operando a la misma frecuencia, no están necesariamente en el mismo ciclo de rotación como de los demás. Si dos redes eléctricas que operan en dos ángulos de fase diferentes, se conectan entre sí, esto produce un fallo similar a un corto circuito y por consiguiente es más probable que el generador se destruya y dañe la red. La posición (en oposición a la circulación) de la aguja en un Sincronoscopio indica el ángulo de fase entre los dos sistemas. El ángulo entre los sistemas es igual a cero cuando la aguja sincronoscopio apunta directamente a la línea entre el "lento" y "rápido" marcado en el cuadrante.

La **Figura 42**, muestra un sincronoscopio en fase cero, es la posición de ángulo recto hacia arriba. (Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012).



Figura 42.Sincronoscopio en fase cero Siemens Instruments (<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5517-funcionamento-de-um-sincronoscopio/>)

2.9.2.1 Modo de corrección

Si la aguja lee "rápido", entonces el generador de la planta debe ser frenado por una cantidad muy pequeña y la aguja cambiará de sentido (hacia el cero). Por otra parte, si la aguja dice "lento", entonces se debe subir ligeramente la velocidad del generador y la aguja volverá a girar en sentido horario acercándose a la posición cero.

Cuando la aguja esté en cero y no se mueve, los dos sistemas se sincronizan. Una vez que los dos sistemas se sincronizan, pueden conectarse de manera segura.

La **tabla 2**, muestra diferentes situaciones que el sincronoscopio puede presentar antes de sincronizar generadores, por ejemplo: cómo podemos corregir estas situaciones, ventajas y desventajas de usar este método. (Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012).

Señal Visible	Causa	Corrección	Momento de Conexión	Ventaja/Desventaja
Aguja inmóvil	Las frecuencias de ambos generadores son iguales	Ninguna	Este es el momento preciso para sincronizar los generadores	Este método no detecta secuencia de fase ni diferencia de tensión, por lo cual conviene disponer de medición de las tensiones
Aguja gira en sentido horario	La frecuencia del generador a conectar es mayor	Reducir la velocidad del generador a conectar.		
Aguja gira en sentido anti horario	La frecuencia del generador a conectar es menor	Incrementar la velocidad del generador a conectar		

Tabla 2. Señales del sincronoscopio. Siemens Instruments

CAPITULO III

3. ANALISIS ECONOMICO DE LA PROPUESTA PARA LA SINCRONIZACION AUTOMATICA DE 2 GENERADORES DE 600KW DE ALTA EFICIENCIA PARA INDUSTRIAS PETROQUIM.

3.1 Mantenimiento de los grupos generadores existentes

Industrias Petroquim ubicada en la Av. Nicolás de Ovando #334, D.N., Santo Domingo, República Dominicana, elabora productos tales como calzados, tapas, entresuelas y tacos de caucho necesarios para la elaboración de una amplia gama de productos. Para la fabricación de estos artículos, Industrias Petroquim utiliza un conjunto de maquinarias, motores, compresores, resistencias eléctricas, chiller, variadores de frecuencia, luminarias, transformadores, maquinas rotatorias, sistemas hidráulicos, sistemas neumáticos, etc., las cuales, dependiendo el tipo de proceso, demandan diferentes niveles de corriente y siendo alimentados con un voltaje fijo, tienen un consumo total de 1,050KVA, los cuales son suministrados por un conjunto de transformadores PAD-MOUNTED, dimensionados de acuerdo a la potencia instalada de la compañía.

Durante las jornadas de apagones cuando el servicio eléctrico es interrumpido, Industrias Petroquim cuenta con un centro de generación el cual está constituido por 2 Generadores trifásicos GIEM de 750KVA cada uno, equivalentes a 600 KW por generador, con una frecuencia de voltaje de 60 Hz, movidos por motores MIRRLEES BLACKSTONE (STAMFORD) modelo ESL6 MKII, Diesel, los cuales brindan una potencia de 862HP, equivalentes a 643KW, a una velocidad nominal de 900 R.P.M en servicio continuo. Estos fueron fabricados en 1983 por Mirreless Diesel BlackStone, conocidos hoy como Man Diesel & Turbo.

De acuerdo al registro de mantenimiento mensual llevado a cabo por el cliente, estos tienen un consumo aproximado de aceite de 73.54 gal/hora, esto se debe al desgaste interno de los motores por las amplias horas que poseen sin haber recibido los overhaul (reparaciones mayores) que requieren.

Los motores individualmente poseen G1 18,130 horas y el G2 17,334 horas de operación, con solo haber recibido cada uno mantenimientos regulares y reparaciones menores durante el periodo de trabajo.

Debajo se describen las practicas o rutinas de mantenimiento que se llevan a cabo de acuerdo a las horas trabajadas de los equipos Mirrlees BlackStone, es bueno aclarar que el fabricante no considera los tiempos de parada prolongada de los equipos, o sea, podemos tener un grupo generador sin trabajar por un tiempo aproximado de seis meses y el no considerar este tiempo de parada sin trabajar dentro de la rutina de mantenimiento y luego hacer funcionar los grupos generadores con carga puede dar como resultado una falla catastrófica por condensación, adherencia de las partes móviles y otras causas relacionadas a esto.

Procedimiento de mantenimiento a las 250 Horas o 6 meses.

A. Chequeo del tubo respiradero del cárter, que incluye:

- Inspección visual del tubo por grietas o daños en el mismo.

B. Chequeo de la válvula de paso de aire, que incluye:

- Inspección visual de que la válvula cierre y abre sin problemas.
- Inspección de la manguera jorobada y todas sus abrazaderas, incluyendo el reemplazo de alguna que esté dañada.

- Inspección de la abrazadera de banda V para asegurar de que el perno este intacto, incluyendo el reemplazo de la abrazadera si cualquiera está dañada.
- Inspección de los cuñeros en el tubo de paso del aire en el cuerpo de la válvula de cierre de aire, incluyendo el reemplazo si alguna de las dos partes está dañada.
- Inspeccione el cuerpo de la válvula por grietas u otro daño, incluyendo el reemplazo del ensamble de válvula completo si encuentra cualquier daño o si la válvula no se mueve libremente.
- Inspeccione el solenoide revisando la resistencia: 0.86 a 1.06 ohmios, incluyendo el reemplazo de la solenoide si la resistencia está fuera de la especificación.
- Inspeccione la horquilla y el resorte, perno de la horquilla, y eje del solenoide por daño, incluyendo el reemplazo del solenoide si ve daño.
- Inspeccione la cubierta de hule sobre el solenoide, incluyendo el reemplazo de la cubierta si está rasgada, agrietada, o dañada de otra forma.
- Inspeccione el soporte de montaje del solenoide por daño, incluyendo el reemplazo del soporte si los barrenos de montaje están gastados o si el soporte está doblado.

C. Chequeo del ánodo de zinc.

D. Chequeo del aditivo complementario del refrigerante (SCA) y la concentración de anticongelante, que incluye:

- Inspección del nivel de concentración de SCA cuando menos dos veces al año, en cada intervalo subsecuente de drenado de aceite si la concentración está por arriba de 3 unidades y cada vez que se agregue refrigerante al sistema de enfriamiento entre cambios de filtro.

- Inspección de la concentración del anticongelante. Use una mezcla de 50 por ciento de agua y 50 por ciento de anticongelante a base de glicoletileno o glicolpropileno para proteger el motor a -32 °C [-26 °F] todo el año.

E. Chequeo de las mangueras del motor, que incluye:

- Inspección de todas las mangueras por grietas o cortes.

F. Chequeo de los filtros de combustible.

G. Chequeo de las bandas impulsoras, incluyendo:

- Inspección de las bandas diariamente. Revise la banda por grietas que se intersecten. Grietas transversales (a través del ancho de la banda) son aceptables. Grietas longitudinales (en dirección de la longitud de la banda) que se intersectan con las grietas transversales no son aceptables. Reemplace la banda si está deshilachada o le faltan pedazos de material.
- Inspección las bandas diariamente. Reemplace las bandas si están agrietadas, deshilachadas, o tienen pedazos de material faltante. Grietas pequeñas son aceptables.
- Ajuste las bandas que tengan una superficie lustrosa o brillante, lo cual indica desgaste de la banda. Las bandas instaladas y tensionadas correctamente mostrarán desgaste uniforme de la polea y de la banda. Consultar Sección A para ajuste de la banda y procedimientos de reemplazo.

H. Chequeo de aceite lubricante y filtros.

I. I Chequeo del sensor del nivel de aceite lubricante.

J. Chequeo del filtro de refrigerante.

K. Chequeo de ventilador de enfriamiento, que incluye:

- Hacer un chequeo visual diariamente del ventilador de enfriamiento. Revisando grietas, remaches flojos, y aspas dobladas o flojas. Revise el ventilador para asegurarse de que esté montado firmemente. Apriete los tornillos, si es necesario.

NOTA: reemplazar el ventilador del equipo original que esté dañado con un ventilador de idéntico número de parte.

L. Chequeo del tensor de banda del alternador, que incluye:

- Inspección de la posición de la banda impulsora en la polea del tensor de banda. La banda deberá estar centrada en, o centrada cerca de la mitad de la polea. Bandas no alineadas, demasiado hacia delante o hacia atrás, pueden causar desgaste de la banda, fallas de salida de la banda, o incremento en el desgaste desigual del buje del tensor.
- Inspección el tensor por evidencia de contacto entre el brazo del tensor y la tapa del tensor. Si hay evidencia de contacto entre estas dos áreas, el buje del tubo de pivote ha fallado, y el tensor debe reemplazarse.

M. Chequeo de la escuadra de soporte frontal del motor.

N. Chequeo de los soportes frontales del motor, que incluye:

- Inspección del torque en las tuercas y tornillos. Apriete cualquiera que esté flojo. Inspeccione el hule por deterioro y endurecimiento por envejecimiento. Reemplace cualquier perno o tornillo roto o faltante, o hule dañado.

O. Chequeo de la bomba de agua, que incluye:

- Revise que el filtro del barreno de goteo de la bomba de agua esté limpio y sin desechos o acumulación química.
- Revise si el filtro tiene cortes o desgarres.

P. Análisis del aceite lubricante.

Procedimiento de mantenimiento a las 250 Horas ó 1 año.

- Chequeo de aceite lubricante y filtros.
- Chequeo del sensor del nivel de aceite lubricante.

Procedimiento de mantenimiento a las 1,000 Horas ó 1 año.

A. Chequeo del filtro eliminador centrifugo, que incluye:

- Inspección de todos los componentes por grietas u otro daño. Si algunas de los componentes están agrietados o dañados, ellos deben reemplazarse.

B. Chequeo del aceite lubricante y filtros.

C. Chequeo de la bomba de aceite de prelubricación, que incluye:

- Inspección de la abrazadera de la válvula de retención de la bomba de pre-lubricación para asegurarse que el material esté en buenas condiciones y no se encuentre ninguna grieta u otro daño.

D. Chequeo del sensor del nivel de aceite lubricante.

Procedimiento de mantenimiento a las 1,500 Horas ó 1 año.

A. Chequeo del centrifugador de Fleetguard.

Procedimiento de mantenimiento a las 8,000 Horas.

- Chequeo general al turbocargador, que incluye:

La inspección de los alabes del impulsor del compresor turbo cargador por daño.

La inspección del juego axial del impulsor del compresor.

Procedimiento de mantenimiento a las 10,000 Horas ó 2 años.

A. Limpieza a vapor del motor.

B. Chequeo de los amortiguadores de vibraciones.

C. Chequeo del sistema de enfriamiento

D. Ensamble del brazo loco del mando del ventilador, que incluye:

- Inspección el ensamble de brazo loco del mando de ventilador por lo siguiente:
- Deterioro
- Grietas
- Tornillos rotos.

NOTA: Reemplazar cualquier parte dañada

E. Ensamble de la polea loca del mando del ventilador.

F. Chequeo de la maza del ventilador impulsada por banda, que incluye:

- Inspección de las ranuras de la polea por desgaste excesivo.

- Inspección del cubo del ventilador por fuga de grasa y el embrague del ventilador por fuga de aceite.

G. Chequeo de la bomba de agua, que incluye:

- Inspección de la bomba del agua y la derivación por fuga de refrigerante o de aceite. Revise el orificio de derrame de la bomba del agua por fuga excesiva.

H. Chequeo del turbocargador, que incluye:

- La inspección de los alabes del impulsor del compresor turbocargador por daño.
- La inspección del juego axial del impulsor del compresor.

I. Ensamble de descargador y válvula del compresor de aire, que incluye:

- Inspección de la parte superior de la tapa central de la válvula de descarga, donde el sello de anillo rectangular asienta, por incisiones.
- Inspección de la válvula de descarga por rayas profundas o grietas.
- Inspección de la válvula de descarga por acumulación de carbón.

J. Chequeo de baterías.

NOTA: Reemplace la batería si no carga a las especificaciones del fabricante, o si la batería no mantiene una carga.

K. Chequeo de inyectores.

NOTA: Se requiere el reemplazo del inyector de combustible en la vida media del motor para reconstrucción

3.1.1 Costo de mantenimiento de los grupos generadores existentes

A continuación se muestra una tabla con el detalle de los precios por los diferentes mantenimientos a realizarse en el grupo generador existente:

Descripción del Mantenimiento	Costo total
Mantenimiento a las 250 Horas o 6 meses	\$ 48,589.45
Mantenimiento a las 1,000 Horas ó 1 año	\$ 73,563.24
Mantenimiento a las 1,500 Horas ó 1 año	\$ 88,563.25
Mantenimiento a las 8,000 Horas	\$ 102,000.10
Mantenimiento a las 10,000 Horas ó 2 años	\$ 288,896.05
Total en mantenimientos	\$ 499,713.99

Tabla 3. Detalle de costos de mantenimiento hasta las 10,000 horas de operación para los motores Mirreless Blackston modelo ESL6

3.3 Overhaul en sistema de generación existente

Debido a la gran cantidad de horas trabajadas en los motores que forman parte de los grupos electrógenos instalados en Industrias Petroquim, es necesario realizar un trabajo de reparación a cada uno para que estos trabajen apropiadamente.

Este proceso de reparación tiene como nombre overhaul y consiste en el desarme de los motores, limpieza interna del block, inspección de las partes existentes incluyendo los cilindros, sustitución de repuestos defectuosos, instalación de los nuevos componentes y como paso final la prueba del equipo ya ensamblado.

Utilizando el modelo y el número de serie de un motor se puede determinar las partes a utilizar. Para obtener las partes específicas que conllevaría un overhaul en estos motores, fue necesario contactar al fabricante de estas máquinas y pedirle el listado de repuestos que estarían involucrados en dicho proceso de reparación. Man Diesel, hoy conocido como Man Diesel & Turbo determinó que para las horas trabajadas en ambos motores es necesario la sustitución e instalación del siguiente listado de repuestos:

Item No	Descripcion	Cantidad	Item No	Descripcion	Cantidad	Item No	Descripcion	Cantidad
Engine Base			Lub Oil Filter			79	Pump Joint Ring	1
			42	Lub Oil Filter Element	4	80	Key	1
1	Main Bearing (Top)	16	43	'O' Ring	2	Lub Oil Scavenge Pump		
2	Thrust Bearing (Top)	2	44	'O' Ring	2	74	Pump Gearwheel Driver	1
3	Thrust Bearing (Bottom)	2	Fuel Pump			75	Pump Gearwheel Driven	1
4	Lockwasher	16	44	Element Assy	6	76	Pump Gear Nut	1
Cylinder Housing & Side Covers			45	Valve & Seat Assembly	6	77	Washer	1
5	Flywheel Cover Joint	1	46	Delivery Valve Spring	6	78	Pump Gear	1
6	Oil Thrower Cover Joint	1	47	H.P. Seal	6	79	Pump Flange Joint Ring	2
7	Water Jacket Cover Joint	8	48	Plunger Spring	6	80	Pump Joint Ring	1
8	Joint W/W Governor Drive	1	Injector			81	Key	1
9	Camshaft Cover Joint	1	49	Injector Nozzle	6	Lub Oil Relief Valve		
10	Camshaft Cover Joint	2	50	Spindle	6	82	Spring	1
11	Crankcase Cover Joint	2	51	Spring	6	83	O Ring	1
12	Crankcase Cover Joint	4	52	Delivery Connection Joint	6	84	Joint	1
Free End Cover			Fuel Filter			Exhaust Manifold Argt		
13	End Cover Joint	1	53	Fuel Filter Element	2	85	Spiral Wound Gasket	9
14	Top Cover Joint	1	54	Fuel Filter Bowl Seal (Top)	2	86	Exhaust Manifold Joint	8
15	'O' Ring	3	55	Fuel Filter Bowl Seal (Bottom)	2	Critical part list		
16	Joint – Side Cover	1	Exhaust Manifold			98	Connecting Rod	1
17	Joint – Free End Cover	1	56	Sealing Ring	13	99	Piston Assy	1
18	Joint	2	Turbocharger			100	Liner	1
Piston, Liner & Con Rod			57	Tools & Spares VTR200	1	101	Injector	1
19	Ring Pack (Comprising)	6	Fresh Water Pump			102	Fuel Pump	1
20	Circlip – Gudgeon Pin	12	58	Bearing	2	103	Cylinder Head	1
21	Con Rod Bolt	24	59	Gland Packing	5	104	Crankshaft	1
22	Tab Washer	12	60	Oil Seal	1	105	Lub Oil Pressure Pump	1
23	Small End Bush	6	61	Nut	1	106	Lub Oil Scavenge Pump	1
24	L/E Bearing (Top & Bottom)	12	62	Washer	1	107	Lub Oil Relief Valve	1
25	Liner Nose Ring	12	63	Nut	1	108	Fresh Water Pump	1
Cylinder Head			64	Gasket	1	109	T/C Arrangement	1
27	Air/Exh Valve Guide	12	65	Joint	1	110	Exhaust Manifold Argt.	1
28	Inlet Valve	6	66	Gasket	1			
29	Exhaust Valve	6	67	Spindle	1			
30	Injector Tube	6	68	Impeller	1			
31	Valve Spring (Inner)	12	69	Key	1			
32	Valve Spring (Outer)	12	70	'O' Ring	1			
33	Rocker Lever Bush	12	71	Key	1			
34	Injector Pocket Spring	12	72	Washer	1			
35	N/R Valve Collar	6	Lub Oil Pressure Pump					
36	Air Start Guide	6	73	Pump Gearwheel Driver	1			
37	Air Start Valve	6	74	Pump Gearwheel Driven	1			
38	Circlip	12	75	Washer	1			
39	Valve Collar	12	76	Pump Gear Nut	1			
40	Valve Collet	12	77	Pump Gear	1			
41	Decarb Set	6	78	Pump Flange Joint Ring	2			



Tabla 4. Listado de partes a sustituir e instalar durante proceso de Overhaul por Man Diesel & Turbo

Como a nivel nacional no existe un distribuidor autorizado que venda y distribuya los repuestos originales de la marca Man Diesel & Turbo, es necesario contactar al representante de la marca más cercano para poder garantizar el trabajo realizado, este se encuentra localizado en Estados Unidos de Norteamérica, en Houston Texas. Partiendo de una cotización solicitada a dicho representante de la marca por el trabajo de overhaul, los costos por cada repuesto se ven detallados en el siguiente cuadro:

ItemNo	Descripcion	Cantidad	Precio Unitario (RD)	Precio Unitario (US)	Total (RD)	Total (US)
Engine Base						
1	Main Bearing (Top)	16	12,458.50	277.47	199,336.00	4,439.55
2	Thrust Bearing (Top)	2	2,832.50	63.08	5,665.00	126.17
3	Thrust Bearing (Bottom)	2	2,258.46	50.30	4,516.92	100.60
4	Lockwasher	16	235.45	5.24	3,767.20	83.90
Cylinder Housing & Side Covers						
5	Flywheel Cover Joint	1	258,789.78	5,763.69	258,789.78	5,763.69
6	Oil Thrower Cover Joint	1	17,458.20	388.82	17,458.20	388.82
7	Water Jacket Cover Joint	8	2589.2	57.67	20,713.60	461.33
8	Joint W/W Governor Drive	1	1856.23	41.34	1,856.23	41.34
9	Camshaft Cover Joint	1	2354.25	52.43	2,354.25	52.43
10	Camshaft Cover Joint	2	2354.25	52.43	4,708.50	104.87
11	Crankcase Cover Joint	2	2354.25	52.43	4,708.50	104.87
12	Crankcase Cover Joint	4	2354.25	52.43	9,417.00	209.73
Free End Cover						
13	End Cover Joint	1	859.56	19.14	859.56	19.14
14	Top Cover Joint	1	1425.89	31.76	1,425.89	31.76
15	'O' Ring	3	148.2	3.30	444.60	9.90
16	Joint – Side Cover	1	789.23	17.58	789.23	17.58
17	Joint – Free End Cover	1	1236.54	27.54	1,236.54	27.54
18	Joint	2	485.28	10.81	970.56	21.62
Piston, Liner & Con Rod						
19	Ring Pack (Comprising)	6	36258.2	807.53	217,549.20	4,845.19
20	Circlip – Gudgeon Pin	12	2689.2	59.89	32,270.40	718.72
21	Con Rod Bolt	24	458.2	10.20	10,996.80	244.92
22	Tab Washer	12	102.23	2.28	1,226.76	27.32
23	Small End Bush	6	3558.2	79.25	21,349.20	475.48

24	L/E Bearing (Top & Bottom)	12	2938.47	65.44	35,261.64	785.34
25	Liner Nose Ring	12	2348.2	52.30	28,178.40	627.58
Cylinder Head				-	-	-
26	Air/Exh Valve Guide	12	2848.2	63.43	34,178.40	761.21
27	Inlet Valve	6	4958.25	110.43	29,749.50	662.57
28	Exhaust Valve	6	5789.25	128.94	34,735.50	773.62
29	Injector Tube	6	2896.78	64.52	17,380.68	387.10
30	Valve Spring (Inner)	12	1896.23	42.23	22,754.76	506.79
31	Valve Spring (Outer)	12	1478.23	32.92	17,738.76	395.07
32	Rocker Lever Bush	12	2587.2	57.62	31,046.40	691.46
33	Injector Pocket Spring	12	1896.45	42.24	22,757.40	506.85
34	N/R Valve Collar	6	2156.78	48.04	12,940.68	288.21
35	Air Start Guide	6	1485.32	33.08	8,911.92	198.48
36	Air Start Valve	6	2136.47	47.58	12,818.82	285.50
37	Circlip	12	232.1	5.17	2,785.20	62.03
38	Valve Collar	12	232.1	5.17	2,785.20	62.03
39	Valve Collet	12	232.1	5.17	2,785.20	62.03
40	Decarb Set	6	135.45	3.02	812.70	18.10
Lub Oil Filter				-	-	-
41	Lub Oil Filter Element	4	1232.45	27.45	4,929.80	109.80
42	'O' Ring	2	123.5	2.75	247.00	5.50
43	'O' Ring	2	123.5	2.75	247.00	5.50
Fuel Pump				-	-	-
44	Element Assy	6	95258.45	2,121.57	571,550.70	12,729.41
45	Valve & Seat Assembly	6	989.23	22.03	5,935.38	132.19
46	Delivery Valve Spring	6	458.23	10.21	2,749.38	61.23
47	H.P. Seal	6	236.45	5.27	1,418.70	31.60
48	Plunger Spring	6	321.45	7.16	1,928.70	42.96
Injector				-	-	-
49	Injector Nozzle	6	18759.25	417.80	112,555.50	2,506.80
50	Spindle	6	1235.25	27.51	7,411.50	165.07
51	Spring	6	1235.25	27.51	7,411.50	165.07
52	Delivery Connection Joint	6	1458.36	32.48	8,750.16	194.88
Fuel Filter				-	-	-
53	Fuel Filter Element	2	3258.23	72.57	6,516.46	145.13
54	Fuel Filter Bowl Seal (Top)	2	589.36	13.13	1,178.72	26.25
55	Fuel Filter Bowl Seal (Bottom)	2	545.36	12.15	1,090.72	24.29
Exhaust Manifold				-	-	-
56	Sealing Ring	13	897.45	19.99	11,666.85	259.84
Turbocharger				-	-	-
57	Tools & Spares VTR200	1	178569.78	3,977.06	178,569.78	3,977.06
Fresh Water Pump				-	-	-
58	Bearing	2	869.45	19.36	1,738.90	38.73
59	Gland Packing	5	456.26	10.16	2,281.30	50.81
60	Oil Seal	1	123.45	2.75	123.45	2.75
61	Nut	1	95.29	2.12	95.29	2.12
62	Was her	1	45.23	1.01	45.23	1.01

63	Nut	1	28.23	0.63	28.23	0.63
64	Gasket	1	489.56	10.90	489.56	10.90
65	Joint	1	453.21	10.09	453.21	10.09
66	Gasket	1	1235.7	27.52	1,235.70	27.52
67	Spindle	1	236.54	5.27	236.54	5.27
68	Impeller	1	254.78	5.67	254.78	5.67
69	Key	1	358.23	7.98	358.23	7.98
70	'O' Ring	1	85.23	1.90	85.23	1.90
71	Key	1	45.21	1.01	45.21	1.01
72	Washer	1	54.23	1.21	54.23	1.21
Lub Oil Pressure Pump				-	-	-
73	Pump Gearwheel Driver	1	56325.45	1,254.46	56,325.45	1,254.46
74	Pump Gearwheel Driven	1	45325.45	1,009.48	45,325.45	1,009.48
75	Washer	1	456.23	10.16	456.23	10.16
76	Pump Gear Nut	1	258.45	5.76	258.45	5.76
77	Pump Gear	1	8456.45	188.34	8,456.45	188.34
78	Pump Flange Joint Ring	2	236.45	5.27	472.90	10.53
79	Pump Joint Ring	1	236.1	5.26	236.10	5.26
80	Key	1	125.21	2.79	125.21	2.79
Lub Oil Scavenge Pump				-	-	-
81	Pump Gearwheel Driver	1	56325.45	1,254.46	56,325.45	1,254.46
82	Pump Gearwheel Driven	1	45325.45	1,009.48	45,325.45	1,009.48
83	Pump Gear Nut	1	456.23	10.16	456.23	10.16
84	Washer	1	258.45	5.76	258.45	5.76
85	Pump Gear	1	8456.45	188.34	8,456.45	188.34
86	Pump Flange Joint Ring	2	236.45	5.27	472.90	10.53
87	Pump Joint Ring	1	236.1	5.26	236.10	5.26
88	Key	1	125.21	2.79	125.21	2.79
Lub Oil Relief Valve				-	-	-
89	Spring	1	1258.45	28.03	1,258.45	28.03
90	O Ring	1	75.63	1.68	75.63	1.68
91	Joint	1	42.2	0.94	42.20	0.94
Exhaust Manifold Argt				-	-	-
92	Spiral Wound Gasket	9	4789.2	106.66	43,102.80	959.97
93	Exhaust Manifold Joint	8	1489.23	33.17	11,913.84	265.34
SUB TOTAL			638,737.18	14,225.77	2,351,419.42	52,370.14
IMPUESTOS ADUANALES (20%)			127,747.44	2,845.15	470,283.88	10,474.03
TOTAL GENERAL			766,484.62	17,070.93	2,821,703.30	62,844.17
NOTA: DOLAR CALCULADO 44.90						

Tabla 5. Precio de las partes a sustituir e instalar durante proceso de Overhaul para el grupo generador existente.

Man Diesel & Turbo de igual manera establece en la cotización un listado de especialistas los cuales están capacitados a trabajar con este tipo de reparación y en el siguiente cuadro se detalla el precio de la mano de obra de cada uno:



	Weekdays (within normal working hours, 07.00-1700)			Saturday, Sunday, Local Holidays			Waiting & Traveling time
	Full day (8 hours)	Half day (up to 4 hours)	Outside normal Working hours*	Full day (8 hours)	Half day (up to 4 hours)	After 8 working hours*	Per hour*
Superintendent Engineer	1696	935	310	2396	1296	390	200
Senior Service/TC Engineer	1240	700	220	1770	950	285	130
Service Technician	660	400	118	1100	650	195	80

* Per hour

** Travelling time per hour, max 16 hours per day

Tabla 6. Costo por mano de obra en dolares para los especialistas en overhaul de Man Diesel & Turbo

A partir de la tabla 6, Man Diesel & Turbo recomienda que para los servicios de overhaul se utilicen dos ingenieros superintendentes (Superintendent Engineers) para que lleve a cabo la supervisión y la ejecución de la reparación. Se estima que tardarían un aproximado de 4 semanas de trabajo entre 6 a 10 horas diarias por semana (sin incluir los domingos). El costo por mano de obra de los especialistas se detalla a continuación:

Servicio de dos Ingenieros superintendentes más dos mecánicos nacionales costeados por el cliente para asistirles durante 4 semanas, jornadas de trabajo de 6 a 10 horas diarias (sin incluir los domingos), tiempo de viaje, viáticos, vuelo y estadía en un hotel.	Mano de obra a pagar	
	US \$80,000	RD \$3,592,000

3.3 Costo de mantenimiento sistema de generación propuesto

Procedimiento de mantenimiento a las 1,000 Horas o 1 año.

A. Chequeo del filtro centrifugo eliminador, que incluye:

- Inspeccione los arosellos por señas de desgarres o daño. Si encuentra daños, reemplace el arosello.
- Limpieza de la superficie para cabezal del nuevo filtro.
- Llenado de los filtros con aceite limpio 15W-40.
- Instalación de un filtro centrifugo nuevo en la carcasa del eliminador.
- Instalación de arosellos en la cubierta centrifuga. Instale la cubierta, arandelas y los tornillos.

Procedimiento de mantenimiento a las 1,500 Horas o 1 año.

A. Chequeo del filtro centrifugo eliminador, que incluye:

- Chequeo del respiradero del carter.
- Verificación de la rotación del cigüeñal.
- Chequeo de la carga de la batería.
- Chequeo de los soportes del motor. Revise la parte por grietas o daño. Si el soporte está agrietado o dañado, debe reemplazarse.
- Inspección de las mangueras del sistema de enfriamiento y las conexiones para manguera por fugas o deterioro.
- Inspección la bomba del agua por evidencia de agua o aceite indicando fuga del sello.
- Inspección las conexiones de entrada y salida por fuga.
- Inspección el área de acoplamiento de la carcasa por fuga.

- Limpieza a vapor del motor.
- Inspeccione el área de acoplamiento de la bomba al block por fuga de aceite.
- Chequeo del calentador de aceite del motor (calentador del cárter de aceite) por operación apropiada

Procedimiento de mantenimiento a las 6,000 Horas o 2 años.

- Chequeo del sistema de enfriamiento.
- Inspección del cubo del ventilador por giro excéntrico y fuga de grasa. Reemplace con un cubo del ventilador nuevo o reconstruido, como sea necesario.
- Inspección del ensamble de la polea loca del mando del ventilador. Reconstruya o reemplace la polea loca según sea necesario.
- Chequeo de la bomba de agua por fuga de refrigerante o aceite en el orificio de derrame de la bomba de agua.
- Revise el amortiguador de vibración por evidencia de pérdida de fluido, y oscilación.
- Inspección del espesor del amortiguador de vibración por cualquier deformación o elevación de la tapa del amortiguador. Si cualquiera de estas condiciones se identifica, para reemplazar el amortiguador de vibraciones.

Procedimiento de mantenimiento a las 10,000 Hora.

- Se requiere el reemplazo de los inyectores de combustible en la vida media del motor para reconstrucción.
- Se recomienda la inspección del turbocargador en la media vida del motor para reconstrucción.

A continuación se muestra una tabla con el detalle de los precios por los diferentes mantenimientos a realizarse en el grupo generador propuesto:

Descripción del Mantenimiento	Costo total
Mantenimiento a las 250 Horas o 6 meses	\$ 27,178.38
Mantenimiento a las 1,000 Horas ó 1 año	*\$ 27,178.38
Mantenimiento a las 1,500 Horas ó 1 año	*\$ 27,178.38
Mantenimiento a las 8,000 Horas	\$ 29,323.58
Mantenimiento a las 10,000 Horas ó 2 años	\$ 41,475.02
Total en mantenimientos	\$ 152,333.74

Nota: Los precios con asterisco * están sujetos a cambios de acuerdo a la revisión que se realizaría en los procedimientos expuestos en el punto 3.3 de este capítulo.

3.4 Overhaul en sistema de generación propuesto

De acuerdo con una cotización solicitada a un distribuidor autorizado de la marca Cummins en República Dominicana, a continuación se muestra un cuadro con el detalle de los costos por cada repuesto que se necesitaría a la hora de realizar un overhaul al grupo generador propuesto:

<i>Repuestos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Precio total</i>
Air Filter	2	5,314.70	10,629.40
Sender Pressure	1	5,642.94	5,642.94
Fuel Filter	2	1,908.92	3,817.84
Oil Filter	3	630.92	1,892.76
Rectifier Service Kit	1	23,727.83	23,727.83
Water Filter	2	879.19	1,758.38
Sleeve	1	4,952.54	4,952.54
Cap Filter	1	1,928.64	1,928.64
Gasket	1	332.1	332.1
Insert Valve	24	2,169.72	52,073.28
Seal Oring	2	120	240
Belt V	3	3,015.00	9,045.00
Bushing	12	1,452.50	17,430.00
Sleeve Wear	1	575	575
Pin Piston	12	3,689.06	44,268.72
Sender Temp	3	2,970.27	8,910.81
Insert Valve	24	964.32	23,143.68
Bearing Rod	24	3,013.50	72,324.00
Shaft Water Pump	1	10,655.20	10,655.20
Impeller Water Pump	1	15,387.30	15,387.30
Filter Element	1	8,799.42	8,799.42
Sleeve	1	996.3	996.3
Bushing	1	3,977.80	3,977.80
Seal Oil	2	5,062.68	10,125.36

Bearing		1	2,892.96	2,892.96
Shaft		1	5,424.30	5,424.30
Guide Valve Stem		48	723.24	34,715.52
Gasket		1	332.1	332.1
Elbow		1	5,785.92	5,785.92
Roller Tappet		12	3,736.74	44,840.88
Set Lower Engine Gasket		1	23,309.20	23,309.20
Key Plain Woodruff		2	248	496
Screw Hexagon Head Cap		24	361.62	8,678.88
Belt		2	1,930.00	3,860.00
Bushing		2	1,205.00	2,410.00
Thermostat		2	3,885.57	7,771.14
House Plain		2	2,049.18	4,098.36
Seal Water Pump		2	6,027.00	12,054.00
Kit Liner		12	12,656.50	151,878.00
Kit Piston		12	38,572.80	462,873.60
Valve Exhaust		24	3,375.12	81,002.88
Set Upper Engine Gasket		1	66,497.00	66,497.00
Roller Kit		24	2,410.80	57,859.20
Camshaft		1	216,972.00	216,972.00
Camshaft		1	216,972.00	216,972.00
Set Piston Ring		12	9,669.54	116,034.48
Set Main Bearing		1	88,958.52	88,958.52
Oil Pump		1	424,756.44	424,756.44
Belt-V		1	1,687.56	1,687.56
Bushing		28	1,084.86	30,376.08
Bearing		4	2,199.18	8,796.72
Aceite Calon 15w40		24	838.33	20,119.92
Total			1,252,727.33	2,434,087.96

Tabla 7. Precio de las partes a sustituir e instalar durante proceso de Overhaul para el grupo generador propuesto

A partir de la tabla 7, el distribuidor autorizado de la marca Cummins en República Dominicana recomienda que para los servicios de overhaul se utilice 1 ingeniero especialista para que lleve a cabo la supervisión de la reparación. Se estima que tardarían un aproximado de 2 semanas de trabajo entre 6 a 10 horas diarias por semana (sin incluir los domingos). El costo por mano de obra de los especialistas se detalla a continuación:

Servicio de un Ingeniero especialista, dos mecánicos nacionales trabajando durante 2 semanas, jornadas de trabajo de 6 a 10 horas diarias (sin incluir los domingos).	Mano de obra a pagar	
	US	RD
	\$5,590.92	\$249,236.50

3.5 Inversión en ingeniería e instalación

3.5.1 Grupo generador

La propuesta establecida en este trabajo de grado comprende la instalación de dos grupos electrógenos constituidos por generadores Cummins Power Generation, movilizadas por motores Cummins Power Generation modelo VTA28.

Este es un sistema de generación de energía totalmente integrada que proporciona un rendimiento óptimo, fiabilidad y versatilidad de fuente de emergencia (Stand-by), fuente principal (Prime) y servicio continuo.



Figura 43. Generador Cummins Power Generation con motor VTA28 (Data Sheet VTA28 C600D6, Cummins power Generation, 2015)

Entre las principales características de este grupo generador se puede mencionar:

Un generador de imán permanente (PMG) el cual ayuda a mejorar el arranque del motor.

- El generador cumple con la norma ISO 8528 G3 la cual establece los márgenes de pico de corriente a carga continua.
- Está diseñado sin escobillas, 4 polos, campo giratorio a prueba de goteo
- Un estator con un paso de bobina (pitch) de $2/3$.
- Un rotor de acoplamiento directo con discos flexibles.
- Sistema de aislamiento clase H.

- Soporta un máximo de temperatura d 150°C (302°F)
- Ofrece una regulación de voltaje con y sin carga de -0.5 hasta 0.5%.
- Ofrece una variación de voltaje de 0.5 hasta 0.5% .
- Rangos de variación de frecuencia de -0.25 a 0.25%.
- Motores de 4 tiempos diesel industriales, robustos los cuales ofrecen una potencia fiable, bajas emisiones de dióxido de carbono al ambiente y una respuesta rápida a los cambios de carga.
- Cuenta con un Block de hierro fundido con camisas de cilindro húmedas recambiables.
- Una capacidad de batería para 660 amps en temperaturas de 32° (0°C).
- Un alternador de 24 voltios.
- Sistema de combustible de inyección directa.
- Filtros de aire reemplazables con indicador de restricción.
- Sistema de enfriamiento compuesto por un conjunto de radiadores acoplados, los cuales han sido diseñados y probados para temperaturas ambientales nominales.

En la siguiente tabla se muestran los voltajes disponibles para este generador:

50 Hz Linea-NEutro/linea-linea	60 Hz Linea-NEutro/linea-linea
<ul style="list-style-type: none"> • 127/220 240/416 • 255/440 230/400 • 220/380 	<ul style="list-style-type: none"> • 120/208 230/400 277/480 • 127/220 240/416 • 220/380 225/440

Tabla 8. Voltajes disponibles para 50 y 60 Hz

3.5.2 PowerCommand PCC3300

Sistema de control que cuenta con un control electrónico estándar PowerCommand 3300 (PCC 3300) el cual proporciona una integración total del sistema incluyendo el arranque y parada a remoto, regulación precisa de la frecuencia precisa y la tensión, alarma y visualización de mensajes de estado, la protección AmpSentry, medición de salida, auto-apagado. Garantía y servicio respaldado por una garantía integral y red de distribuidores en todo el mundo.



Figura 44.Control PowerCommand 3300 (Data Sheet VTA28 C600D6, Cummins power Generation, 2015)

3.5.3 Costos del grupo generador incluyendo el PCC3300

De acuerdo con una cotización solicitada a un distribuidor autorizado de la marca Cummins en República Dominicana, a continuación establece el costo del grupo generador propuesto incluyendo con controlador PCC3300:

- **Precio del almacén (ITBIS 18 % incluido) US\$ 95,125.00**
 - **Precio por (2) unidades (ITBIS 18 % incluido) US\$ 190,250.00**
-

- **Precio del almacén (ITBIS 18 % incluido) RD\$ 4,271,112.500**
- **Precio por (2) unidades (ITBIS 18 % incluido) RD\$ 8,542,225.00**

3.5.4 Master Control DMC200

Para la sincronización de los generadores se utilizará un Digital Master Control 200 (DMC200) el cual estará diseñado para dos generadores Cummins Power Generation de 600KVA con sus interruptores y puede ser modificado para adicionar otros generadores y otros interruptores en caso de un futuro crecimiento.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros que serán establecidos para trabajar en las instalaciones del cliente:

Generators Master Control	
Voltaje del Sistema	277/480V
Frecuencia del Sistema	60Hz
Fases del Sistemas	3Ø

Tabla 8 Voltaje, frecuencia y fases del sistema que se configurara en el DMC200



Figura 45. Digital Master Control 200 (DMC200) (DMC200 Operation and Maintenance Manual, Cummins power Generation, 2012)

3.5.4.1 Funciones del Master Control DMC200

Las principales funciones del Sistema DMC200 son:

- Monitoreo completo del sistema incluyendo los 3 generadores, interruptores y barras.
- 15”HMI Operator Interface Touchscreen Full Color
- Control de Paralelismo de los Generadores
- Sincronización Manual
- Sincronización Automática
- Visualización de Estado de los Generadores.
- Arranque de Generadores (Manual y Automático)
- Interruptor de Cierre y Apertura de los Breakers
- Bocina de Alarmas
- Silenciador de Alarmas
- LED Lamps.
- Botón Reposición de Fallas
- Botón Prueba de Luces
- Parada de Emergencia
- Alarmas y Estado de los Generadores
- Alarmas y Estado del Sistema

- Alarmas por mal funcionamiento del Sistema y del PLC
- Alarmas por error de comunicación del Sistema
- Comunicación MODBUS y ETHERNET TCP/IP

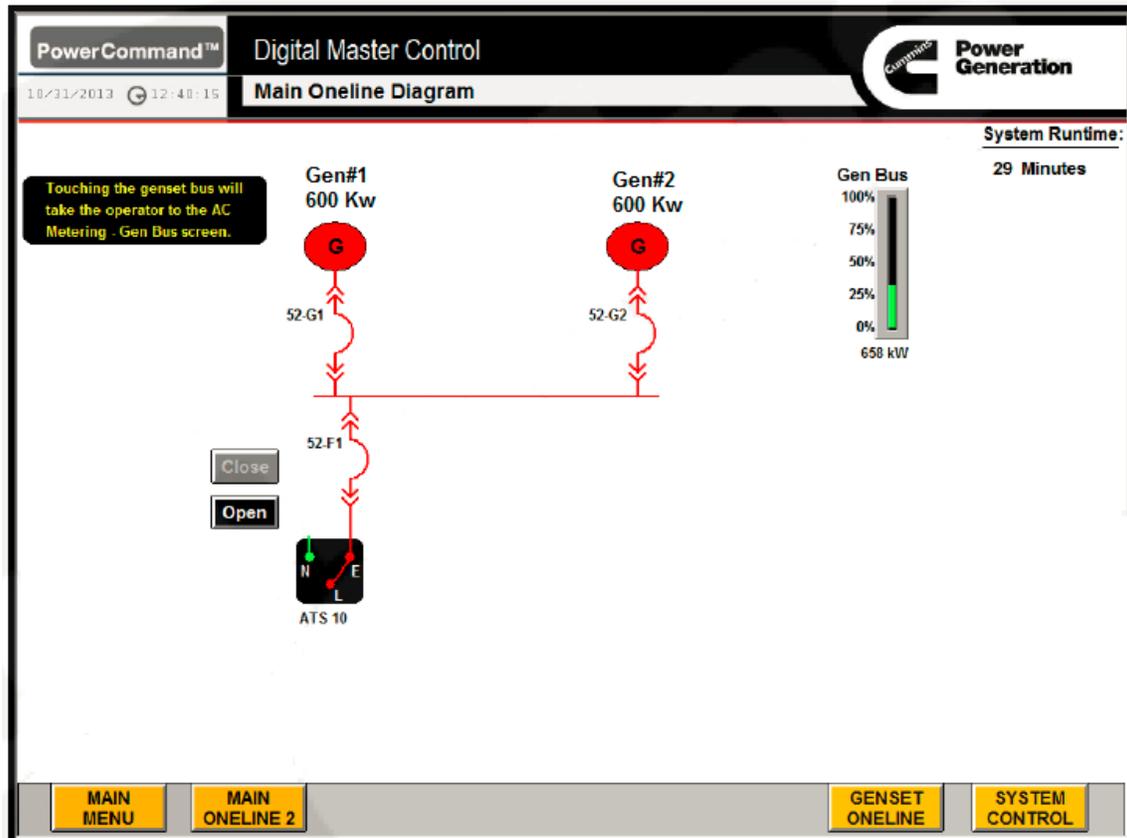


Figura 46. Diagrama unifilar que mostraría la pantalla HDMI táctil del Digital Master Control 200 a instalar (Elaboración propia)

3.5.4.2 Switchgear

El sistema de generación propuesto utilizara un switchgear equipado con 3 secciones y una barra de 5000A en Cobre, 3 Ø, 277/480 VAC 60 Hz, Nema 1 en gabinete Fabricado en tola de acero fosfatado pintado de gris y estará distribuido de la siguiente forma:

Sección 1:

- Master Control
- Equipos Electrónicos (Transductores, PLC, Baterías, Relays, otros.) Fusibles, Power Transformers, Current Transformers entre otros. Periféricos de comunicación y Pantalla táctil HMI de 15”.

Sección 2:

- 1 Breaker Schneider para el Generador (52-G1) de 2500 Amps, 3Ø, 480 VAC, 65kA
- 1 Breaker Schneider disponible para una futura expansión del cliente para un Generador de 800 Amps, 3Ø, 480 VAC, 65kA
- Unidad de Trip
- Motor Operador Integrado
- Bobina de Cierre y Trip
- Bobina de bajo voltaje y Contactos Auxiliares
- Unidad de Trip
- Contactos Auxiliares

Sección 3:

- 1 Breaker para los Generadores (52-G3) de 2500 Amps, 3Ø, 480 VAC, 65kA
- 1 Salida para carga con sus conectores de 5000 Amps, 3Ø, 480 VAC
- SCHNEIDER ELECTRIC POWER BREAKER FIXED
- Unidad de Trip
- Motor Operador Integrado

- Bobina de Cierre y Trip
- Bobina de bajo voltaje y Contactos Auxiliares
- Unidad de Trip
- Contactos Auxiliares

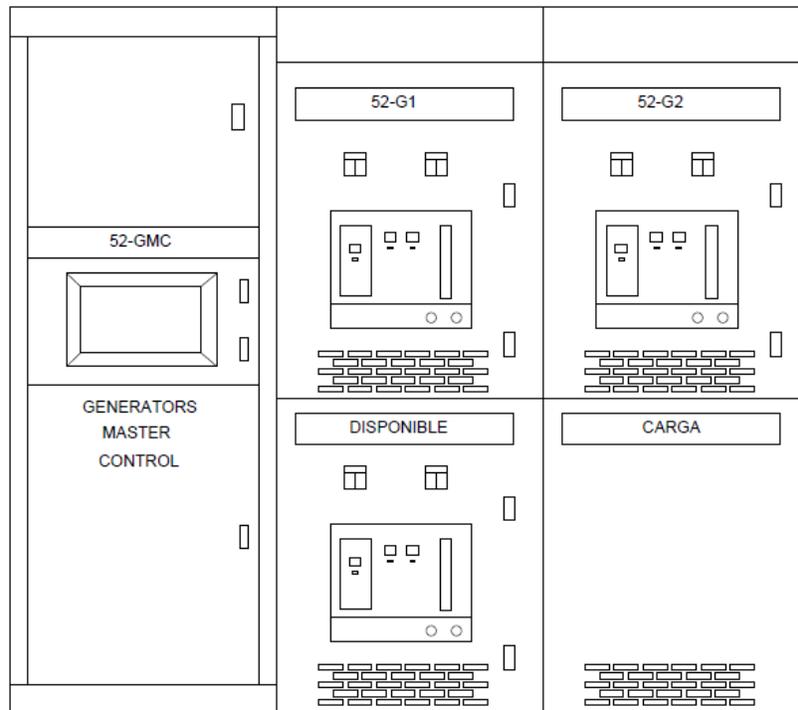


Figura 47. Vista frontal sección de potencia DMC200 (Elaboración propia)

3.5.4.3 Secuencia de operación

Falla De Suministro Eléctrico: El sistema recibe la señal de arranque del dispositivo de bajo voltaje del ATS, o Relé. Después de pasado el tiempo de retardo los generadores arrancan automáticamente, de forma independiente, y aceleran hasta la frecuencia y voltaje de operación.

El sensor Maestro de Primer arranque instalado en los generadores, encuentra el generador que ha alcanzado el 90% de su voltaje y frecuencia de operación, desactivando automáticamente las demás unidades, cerrándose a barra muerta, e habilitando el primer generador a la Barra.

Después que el primer generador se ha cerrado a barra, el control de las unidades restante, es controlado por el sistema de Paralelismo de los generadores, lo que causa que los generadores se sincronicen con la barra del sistema, y se cierre en el momento oportuno. Cuando todos los generadores estén sincronizados con la barra del sistema, ellos asumirán y compartirán la carga de la barra proporcionalmente.

Si cualquiera de los generadores fallara en el encendido, después del tiempo de overcrank esta unidad se pasara a estado de shutdown, y una alarma audible se escuchara, y si cualquiera de los generadores falla al sincronizarse después de pasado el tiempo de retardo la alarma audible se activara, pero la unidad continuara en el proceso de sincronización hasta que la falla sea reseteada en el control del dicho generador.

Si en algún momento uno de los generadores falla al suministrar energía, dicho generador será sacado de la barra, abriendo el breaker de dicho generador.

Modo de Demanda de Carga: Cuando el sistema está operando en modo de emergencia, con el interruptor de demanda de carga encendido, el sistema continuara monitoreando la carga total de la barra, si la carga total cayera por debajo de los limites ajustados por el periodo de 15 minutos, (este tiempo es ajustable por el operador) el control automáticamente mandara a detener el generador que está determinado por el orden. El propósito de esta función, es que los generadores operen a su capacidad óptima, reduciendo el consumo de combustible, y desgaste en los componentes del sistema.

Cuando el sistema censa que la carga se está aproximando a la capacidad del sistema, la unidad que permanecía en stand by, automáticamente es re-encendida y es puesta en paralelo para compartir la carga total de la barra del sistema.

Control de Carga: La función de agregar carga permite, que el usuario, asigne a cada breaker de carga un nivel en un rango del 1 al 8.

Múltiples breakers de carga podrían ser asignados a un mismo nivel.

La prioridad más alta de agregar la carga es el nivel 1, el cual agregara la carga automáticamente en el sistema cuando el primer generador este en línea. Adicionalmente se seguirá agregando carga con los demás generadores restantes que se hayan sincronizado y cerrado a la barra de emergencia. Por ejemplo, cuando el segundo generador cierre a la barra de emergencia la carga número dos, será agregada. Cuando el tercer generador cierra a la barra de emergencia la carga número tres será agregada esto continuara hasta que todos los generadores en el sistema cierren a la barra de emergencia.

Si todos los generadores se han sincronizados satisfactoriamente en la barra de emergencia, las cargas adicionales que sobrepasen el número de generadores, serán agregadas, en un tiempo predeterminado por el usuario. Si uno de los generadores falla al conectarse, el sistema solamente tomara, la carga suficiente para cada generador.

La función de dispersar carga, permite al usuario asignar diferentes cargas a ser dispersadas en un rango de 0 a 7. El nivel uno de esta función corresponde a la primera carga a ser dispersada, el nivel 0 corresponde a las cargas que nunca serán dispersadas. Los breaker de carga dispersaran las cargas cuando una señal de sobrecarga es recibida por cualquier generador, en este momento las cargas serán dispersadas hasta que la condición de sobrecarga persista.

Retorno del Suministro Eléctrico: Cuando el suministro eléctrico es retornado, y el voltaje está en condiciones de operación, las señales de arranque son removidas, se habilita un tiempo de retardo para el enfriamiento de los generadores, abriendo los breakers de cada generador, ya pasado el tiempo de retardo los generadores son apagados.

Si la señal de arranque es recibida durante el tiempo de enfriamiento de los generadores, uno de los generadores se cerrara a barra inmediatamente y la otra unidad se sincronizara con la barra.

Modo de Prueba: El interruptor de modo de prueba simula una falla de suministro eléctrico, causando que los generadores sean encendidos. Retornando el interruptor a su posición de apagado, el sistema volverá a su estado de operación normal.

Cuando el sistema está en modo de prueba, el sistema continuara observando la carga total del sistema, si esta carga cae por debajo de los ajuste hechos, el sistema mandara a pagar un generador. Si el control censa que la carga está aproximándose a los valores determinados, la unidad que permanecía en stand by, será mandada a encender inmediatamente, sincronizándose con la barra, y compartiendo la carga con el otro generador.

3.5.4.4 Power Command Networks

Sistema diseñado por Cummins Power Generation para monitorear y controlar los generadores desde un lugar remoto, en este proyecto el Power Command Network, será integrado al sistema para poder monitorear y controlar los generadores a través de la interface gráfica (HMI). (No incluye tarjeta de Red de los Generadores las cuales deben estar incluidas en cada equipo).

3.5.5 Costo de Master Control DMC200

De acuerdo con una cotización solicitada a un distribuidor autorizado de la marca Cummins en República Dominicana, la siguiente tabla se detallan los equipos a instalar:

Descripción	Cantidad
Generator Master Control	1
Sección de Potencia	2

Tabla 9. Equipos a instalar para el sistema de transferencia.

A continuación se muestra el precio por los equipos incluyendo la mano de obra por instalación:

PRECIO (Sin ITBIS)	US\$ 92,500.00
ITBIS (18%)	US\$ 16,650.00
Total	US\$ 109,150.00

Tabla 10. Precio total por los equipos de transferencia.

3.6 Análisis comparativo de los costos de mantenimiento y overhaul entre el sistema instalado y el propuesto

De acuerdo con los costos establecidos en los temas anteriores, el siguiente cuadro muestra un detalle comparativo con todos los precios establecidos de overhaul, mano de obra y demás entre el grupo generador existente contra el grupo generador propuesto:

DETALLE DE TRABAJOS A REALIZAR	COSTOS GENERADORES INSTALADOS	COSTOS GENERADORES PROPUESTOS
Mantenimiento desde 250 horas hasta las 10,000 para dos grupos generadores	\$ 999,427.98	\$ 304,667.48
Precio de las partes a sustituir e instalar durante proceso de Overhaul para dos generadores	\$ 5,643,406.60	\$ 4,868,175.92
Mano de obra	\$ 3,592,000.00	\$ 249,236.50
TOTALES	\$ 6,913,417.29	\$ 2,835,658.20

Tabla 11. Tabla comparativa entre el sistema instalado contra el propuesto.

Partiendo de la tabla 11 se demuestra que los costos de mantenimiento, overhaul y mano de obra en el grupo de generadores instalados son más elevados que en el propuesto en este trabajo de grado.

CONCLUSION

Luego de realizar un análisis económico comparativo se puede demostrar que los costos de mantenimiento, overhaul y mano de obra del grupo generador instalado es más elevado que el propuesto en este trabajo de grado. Existe una diferencia de RD \$4,077,759.09 entre los costos desarrollados para un 41% de diferencia demostrando que es más económico el sistema de generación propuesto al que actualmente se encuentra instalado en Industrias Petroquim.

Con este ahorro de RD \$4,077,759.09 más RD \$193,353.41, Industrias Petroquim puede proceder a invertir en uno de los generadores. El otro puede ser financiado con una entidad bancaria a una cómoda tasa.

Contar con este moderno sistema automatizado en la sincronización de los grupos generadores traerá como beneficios la eliminación de los errores humanos, disminuyendo el tiempo de accionamiento en distintos elementos actuadores, evitando daños materiales, pérdidas humanas y económicas.

BIBLIOGRAFIA

- T030 Manual de Aplicación de los Generadores Cummins Power Generation, 2011
- T011 Transfer Switch Application Manual, Cummins Power Generations, 2014
- T-016 Paralleling Application Manual, Cummins Power Generation, 2014
- Motores de combustión interna, Albert Martínez Villegas, 2007
- Governing Fundamentals and Power Management, Woodward, 2007
- CMT0177 - Fundamentals of Power Generation PG V1.2, 2011
- PCC3300 Datasheet, Cummins Power Generation ,2014
- Manual de servicio PCC3300, Cummins Power Generation, 2015
- Fundamentals of Paralleling, Cummins Power Generation, 2013.
- Máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de potencia, Theodore Wildi, 6ta edición,2007
- Tesis: Diseño y Construcción de un tablero de transferencia y sincronización de generadores de emergencia con PLC y pantalla táctil, Ramírez Medina Hugo Javier y Sánchez Barroso Richard Germán, 2012.
- Curso de Ajustes de AVR 6266, Cummins Power Generation, 2015.

ANEXOS

ANEXO A

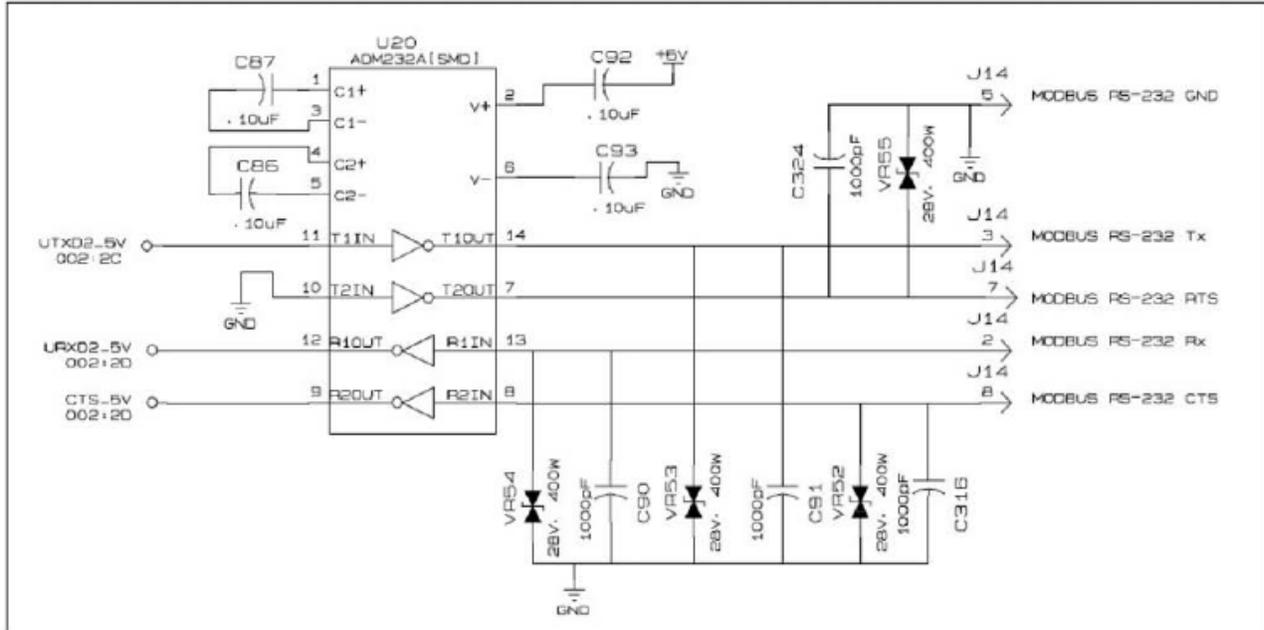


Figura 1. Diagrama de conexión para establecer la comunicación en el controlador PCC3300

ANEXO B

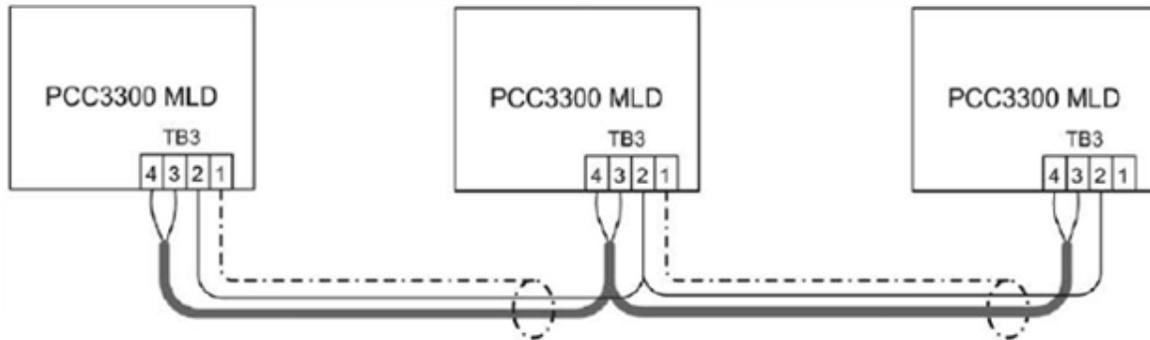


Figura 2. Método de conexión de blindaje recomendado para múltiples PCC3300

Para prevenir bucles a tierra, los cables de blindado/drenaje se deben de conectar a TB3-1 solo en un extremo de un cable/segmento de la red s-CAN (bus). Se debe mantener la continuidad del blindaje durante toda la extensión del cable.

ANEXO C

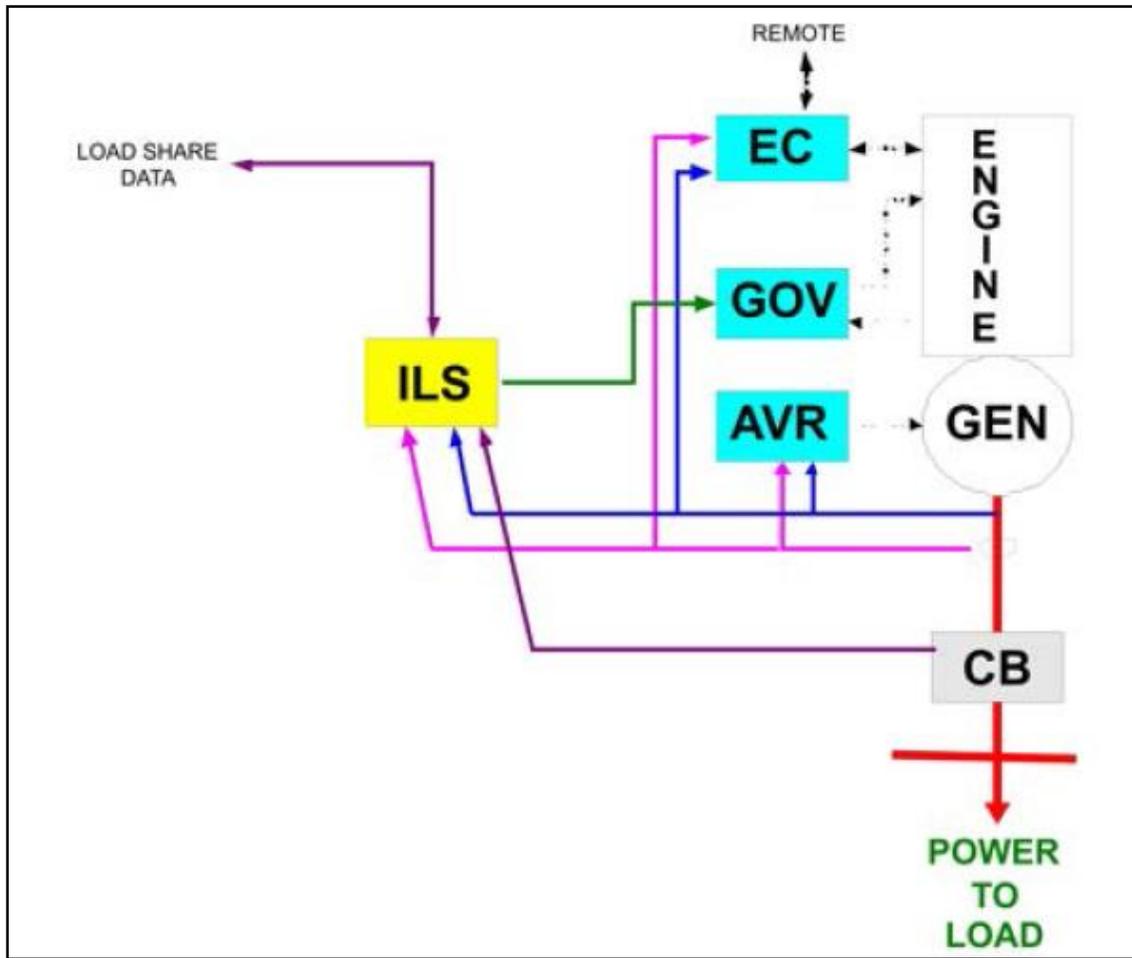


Figura 3. Compartimiento de carga Isócrono