



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE
TRANSFERENCIA Y SINCRONIZACIÓN DE
GENERADORES DE EMERGENCIA CON PLC Y
PANTALLA TÁCTIL”**

**RAMÍREZ MEDINA HUGO JAVIER
SÁNCHEZ BARROSO RICHARD GERMÁN**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 16 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

RAMÍREZ MEDINA HUGO JAVIER

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE TRANSFERENCIA Y
SINCRONIZACIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA CON PLC Y
PANTALLA TÁCTIL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán DIRECTOR DE
TESIS

Ing. César Astudillo
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 16 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

SÁNCHEZ BARROSO RICHARD GERMÁN

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE TRANSFERENCIA Y
SINCRONIZACIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA CON PLC Y
PANTALLA TÁCTIL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán

DIRECTOR DE TESIS

Ing. César Astudillo

ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HUGO JAVIER RAMÍREZ MEDINA

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE TRANSFERENCIA Y SINCRONIZACIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA CON PLC Y PANTALLA TÁCTIL”

Fecha de Exanimación: Noviembre, 16 de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Hernán Samaniego S. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Marco Santillán G. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. César Astudillo M. (ASESOR DE TESIS)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RICHARD GERMÁN SÁNCHEZ BARROSO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TABLERO DE TRANSFERENCIA Y SINCRONIZACIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA CON PLC Y PANTALLA TÁCTIL”

Fecha de Exanimación: Noviembre, 16 de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Hernán Samaniego S. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Marco Santillán G. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. César Astudillo M. (ASESOR DE TESIS)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal.

DECLARACIÓN

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Hugo Javier Ramírez Medina.

f) Richard Germán Sánchez Barroso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el ser supremo que me ha dado la vida y la capacidad para tratar de cumplir todos mis sueños.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y a todos los docentes que brindaron su conocimiento para formarme profesionalmente.

Y finalmente a una persona que lo considero como un amigo más que un profesor Marco Santillán que ha brindado su conocimiento y su apoyo para llegar a alcanzar todos los resultados en cada proyecto que me he planteado.

Hugo Ramírez Medina

Me complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la escuela de Ingeniería de Mantenimiento.

A todos los distinguidos docentes que durante toda mi carrera estudiantil han puesto de manifiesto su ética, profesionalismo y sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Al Ingeniero Marco Santillán Director de mi Tesis quien con su experiencia como docente ha sido guía idónea durante el proceso que ha llevado el realizar esta tesis y me ha brindado el tiempo necesario para que este anhelo llegue a feliz término.

Richard Sánchez Barroso

DEDICATORIA

A mis padres, a mis hermanos por ser parte fundamental en mi vida por enseñarme a volar con mis propias alas.

En especial a los dos ángeles que Dios me regalo Andrés y Luis que fueron ejemplo para nunca decaer ante las adversidades que la vida trae a no rendirme jamás y a demostrarme que existen cosas difíciles en la vida pero que no son imposibles.

Gracias por enseñarme a ser una persona como Ustedes.

A todo el esfuerzo y dedicación que puse para culminar mis estudios.

Hugo Ramírez Medina

Con toda Humildad dedico este trabajo a DIOS por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de estudio y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis Padres por ser el pilar fundamental más importante en mi vida y haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien

A mi hermano por ser ejemplo del cual aprendí aciertos y demostrarme siempre su apoyo incondicional.

Richard Sánchez Barroso

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Máquina síncrona.....	4
2.1.1 <i>Características en vacío</i>	5
2.1.2 <i>Generadores sincrónicos</i>	6
2.1.3 <i>Excitación del GS</i>	6
2.1.4 <i>Eficiencia en los generadores sincrónicos</i>	6
2.2 Operación de generadores en paralelo.....	8
2.2.1 <i>Ventajas de la operación de generadores en paralelo</i>	9
2.3 Condiciones para sincronizar generadores.....	10
2.3.1 <i>Voltaje</i>	10
2.3.2 <i>Tensiones en fase</i>	11
2.3.3 <i>Frecuencia</i>	11
2.3.4 <i>Igualdad de secuencia de fase (Máquina Trifásica)</i>	12
2.4 Técnicas de Sincronismo.....	10
2.4.1 <i>Estrategias para variar la frecuencia</i>	15
2.4.2 <i>Sistemas de control de Voltaje</i>	15
2.4.3 <i>Método de sincronización por medio de lámparas</i>	15
2.4.4 <i>Método de lámparas apagadas</i>	18
2.4.5 <i>Procedimiento de dos lámparas encendidas y una apagada</i>	20
2.5 Método de sincronización por medio del sincronoscopio.....	24
2.5.1 <i>Modo de corrección</i>	25
2.6 Relaciones de tensión y corriente para fuentes en paralelo.....	26
2.7 Comportamiento de generadores al entrar en sincronismo.....	29

2.7.1	<i>Distribución de potencia.....</i>	29
2.7.2	<i>Regulación de tensión de generadores de ca.....</i>	32
2.8	Efectos de un error en la sincronización.....	33
2.8.1	<i>Efectos de un excesivo ángulo de fase.....</i>	33
2.8.2	<i>Efecto de una excesiva frecuencia.....</i>	34
2.8.3	<i>Efecto de un elevado voltaje en el generador.....</i>	34
2.9	Transferencia de energía eléctrica.....	35
2.10	<i>Sistemas de transferencia eléctrica.....</i>	35
2.10.1	<i>Sistemas automáticos de transferencia.....</i>	35
2.10.2	<i>Transferencia entre dos fuentes diferentes.....</i>	37
2.10.3	<i>Arreglo de sistemas de transferencia de energía eléctrica para grupos electrógenos.....</i>	40
2.10.3.1	<i>Transferencia entre una fuente normal una de emergencia.....</i>	41
2.10.3.2	<i>Transferencia entre una fuente normal y dos de emergencia.....</i>	42
2.11	El controlador lógico programable.....	45
2.11.1	<i>Aplicaciones de los PLC.....</i>	45
2.12	Sentron pac3100.....	46
2.12.1	<i>Máxima precisión y seguridad.....</i>	47
2.12.2	<i>Visualización definidas por el usuario.....</i>	47
2.12.3.1	<i>Tipo de conexión sin transformador de tensión con tres transformadores de corriente.....</i>	48
2.12.4.2	<i>Tipo de conexión con un transformador de tensión con tres transformadores de corriente.....</i>	48
2.12.5	<i>Transformadores de corriente.....</i>	
2.13	Red de adquisición de datos.....	49
2.13.1	<i>Ni opc serevers.....</i>	49
2.13.2	<i>Opc Quick Client.....</i>	50
2.13.3	<i>PC Access.....</i>	51
2.14	Estructura del panel operador.....	51
2.14.1	<i>Puertos del panel operador.....</i>	52
2.15	Requerimientos de la unidad de soporte.....	53
2.16	Relé de supervisión.....	53
2.16.1	<i>Relé de voltaje.....</i>	53

2.16.2	<i>Relé de frecuencia</i>	54
2.16.3	<i>Relé de protección contra frecuencia inversa</i>	54
2.16.4	<i>Relé de falla tierra</i>	54
3.	CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	55
3.1	Propósito.....	55
3.2	Modos de operación del sistema de transferencia.....	55
3.2.1	<i>Modo manual</i>	56
3.2.2	<i>Modo automático</i>	56
3.3	Sistema de señalización y fallas.....	59
3.3.1	<i>Generador encendido</i>	59
3.3.2	<i>Disyuntor cerrado</i>	59
3.3.3	<i>Falla de generador</i>	59
3.3.4	<i>Red eléctrica</i>	60
3.3.6	<i>Voltajes, frecuencias y velocidad de los generadores</i>	60
3.3.7	<i>Falla de carga</i>	60
3.4.	Circuito de mando para una transferencia con sincronización automática.....	60
3.4.1	<i>Periferia</i>	61
3.4.2	<i>Control</i>	61
3.4.3	<i>Medición</i>	62
3.4.4	<i>Red de adquisición de datos</i>	62
3.4.5	<i>Visualización</i>	62
3.4.6	<i>Actuadores</i>	62
4.	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS	63
4.1	Desarrollo de HMI en Labview.....	63
4.1.1	<i>Configuración del NI OPC servers</i>	63
4.1.2	<i>Configuración OPC S7 200 (Pc Access)</i>	66

4.2	Configuración de HMI en Labview.....	68
4.2.1	<i>Gráfica de sincronización.....</i>	69
4.2.2	<i>Gráfica de voltaje e intensidad.....</i>	69
4.2.3	<i>Lámparas de sincronización.....</i>	70
4.2.4	<i>Visualización de magnitudes eléctricas.....</i>	70
4.3	Configuración del diagrama de bloques.....	71
4.3.1	<i>Función SimuletSignal.....</i>	72
4.3.2	<i>Función MergeSignal.....</i>	72
4.3.3	<i>Función Case Structure.....</i>	73
5.	MONTAJE, E INSTALACIÓN DEL TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA	74
5.1	Consideraciones para el montaje del tablero de transferencia automática.....	74
5.2	Características y dimensiones de los principales instrumentos en el diseño del tablero de transferencia y sincronización.....	74
5.3	Disposición de los equipos en el tablero de transferencia y sincronización.....	75
5.4	Montaje e instalación.....	75
5.4.1	<i>Montaje de equipo de control.....</i>	76
5.5	Puesta a tierra.....	76
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
6.1	Conclusiones.....	77
6.2	Recomendaciones.....	77

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Señales de las lámparas de sincronización.....	17
2 Señales del sincronoscopio.....	25
3 Rango de magnitudes.....	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Máquina de polos salientes.....	4
2 Características par motor - velocidad y torque - ángulo de la máquina síncrona.....	5
3 Comparación de voltajes con la red.....	10
4 Sincronización de un generador monofásico con una barra infinita.....	11
5 Desigualdad de secuencia de fases.....	13
6 Generadores con igual número de fases.....	13
7 Generadores con desigualdad de fases.....	14
8 Fases sincronizadas, secuencia incorrecta.....	14
9 Tipo de censado de voltaje	15
10 Método de sincronización por medio de lámparas.....	16
11 Sincronización de generador trifásico con la barra infinita por medio de lámparas.....	16
12 Método de lámparas apagadas.....	18
13 Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga.....	19
14 Discrepancia de frecuencia entre un generador y la barra de carga.....	19
15 Desacuerdo de secuencia de fases entre un generador y la barra de carga...	20
16 Diferencia de voltajes frecuencia y secuencia de fases entre un generador y la barra de carga	21
17 Dos lámparas apagadas y una encendida.....	21
18 Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga.....	22
19 Frecuencia entre un generador y la barra de carga.....	22
20 Diferencia de secuencia de fases entre un generador y la barra de carga.....	23
21 Falta de parámetros de sincronización.....	24
22 Sincronoscopio en fase cero.....	25
23 Conexión de generadores en paralelo.....	27
24 Generadores conectados a la red y entre generadores.....	29
25 Gráficas de potencia de un generador.....	30
26 Potencia reactiva vs voltaje de bornes de un generador.....	31
27 Distribución de potencia de un generador conectado a la red.....	32

28	Distribución de potencia entre dos generadores.....	32
29	Diagrama unifilar con alimentación doble.....	38
30	Diagrama eléctrico y tabla de estado transición cerrada.....	39
31	Diagrama eléctrico y tabla de estado transición abierta	39
32	Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con dos fuentes la compañía suministradora y una de emergencia.....	40
33	Diagrama unifilar de un arreglo básico de sistema de transferencia para grupos electrógenos.....	41
34	Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación.....	43
35	Diagrama unifilar de un arreglo de un sistema de transferencia con tres sistemas de alimentación de cargas.....	45
36	Sentron pac3100.....	47
37	Conexión 3p4W sin transformador de tensión, con tres de corriente.....	48
38	Conexión 3p4W con transformador de tensión, con tres de corriente.....	49
39	NI OPC Servers.....	50
40	OPC quickclient.....	51
41	OPC S7-200 Pc Access.....	52
42	Touch OP/177B vista frontal y lateral.....	52
43	Touch OP/177B vista posterior.....	53
44	Puertos de touch OP/177B.....	53
45	Flujograma de transferencia y retransferencia automática.....	58
46	Imagen de señalización.....	60
47	Canal de comunicación sentron.....	64
48	Ventana de resumen de la configuración del canal NI OPC servers.....	65
49	Ventana de resumen de la configuración de dispositivos.....	65
50	Dispositivos de canal de comunicación sentron.....	66
51	Configuración de la etiqueta estática.....	67
52	Configuración del NI OPC server.....	67
53	Propiedades del cable PPI.....	68
54	Propiedades de la etiqueta estática en el PC Acces.....	69
55	Configuración del OPC S7_200 (Pc Acces).....	69
56	Creación del Project Explorer en labview.....	70
57	Configuración del VI en labview.....	70

58	Sincronización de dos fuentes.....	71
59	Gráficas de voltajeintensidad.....	71
60	Lámparas de sincronización.....	72
61	Configuración del diagrama de bloques.....	72
62	Funciónsimulate signal.....	73
63	Funciónmerge signals.....	74
64	Estructura de caso verdadero.....	74
65	Estructura de caso falso.....	75

LISTA DE ABREVIACIONES

3Ø	Trifásica
3P4W	3 fases, 4 conductores
AC	Corriente alterna
BC	Barra común
C1	Contactador 1
C2	Contactador 2
C3	Contactador 3
COM	Puerto serial de comunicación
CPU	Unidad central de procesos
DAQ	Dispositivo de adquisición de datos
DC	Corriente directa
DI	Entrada digital común
DIC	Entrada digital común
DO	Salida digital
DOC	Salida digital común
DTE	Equipo terminal de datos
EE	Empresa eléctrica
G1	Generador de corriente alterna 1
G2	Generador de corriente alterna 2
G3	Generador de corriente alterna 3
GPIB	Bus de interface de uso múltiple
GS	Generadores sincrónicos
HMI	Interfaz hombre – máquina
Hz	Hertz
I/O	Entradas/Salidas
IL	Intensidad de línea
IT	Conexión sin tierra con alta impedancia en el circuito
INT-1	Interruptor de transferencia 1
INT-2	Interruptor de transferencia 2
ITA	Interruptor automático de transferencia
ITA-1	Interruptor automático de transferencia 1
ITA-2	Interruptor automático de transferencia 2

kV	Kilovatios
L	Línea
LAN	Red de área local
LED	Diodo emisor de luz
mA	Miliamperios
MCI	Motor de combustión interna
Mm	Milímetros
MS	Máquina síncrona
MTU	Unidad terminal maestra
MW	Megawatt
N	Neutro
NEC	Código Eléctrico Nacional
NEMA	Normas Eléctricas Alemanas
NI	NationalIntruments
OPC	Incorporación y encadenamiento de objetos para control de procesos
PC	Controlador programable
PLC	Controlador lógico programable
PPI	Interfaz punto a punto
R	Línea 1
S	Línea 2
T	Línea 3
TN	Sistema puesta a tierra y conexión directa neutro
TT	Conexión puesta a tierra con carga a tierra
Rpm	Revoluciones por minuto
RS	Red serial
RTU	Unidad remota de telemetría
S	Interruptor
SCADA	Supervisión, control y adquisición de datos
TC	Transformador de corriente
UL	Tensión de línea
UPS	Fuente de alimentación no interrumpida
USB	Unidad de bus serial
V	Voltaje

VI Instrumento virtual
VN Voltaje neutro

LISTA DE ANEXOS

- A** Guías prácticas de laboratorio
- B** Reparaciones y mantenimiento
- C** Diseño de programa y planos en el PLC
- D** Modbus RTU. Medición de variables con el código de la función 0x03 y
0x04

RESUMEN

El presente trabajo describe los generadores síncronos, las condiciones que se debe tomar para realizar la sincronización y las ventajas de operar en paralelo dos o más generadores de corriente alterna. Así también se detalla los sistemas de transferencia entre dos o más fuentes de energía.

El sistema de transferencia de energía consta de dos partes principales: el control que está conformado por el controlador lógico programable, que hace la función de un cerebro, la pantalla táctil y el relé de voltaje que supervisa el estado de las líneas de la red eléctrica; la fuerza está conformada por los relés de interface y los contactores.

El sistema de control cumple la función de ordenar la activación de los generadores de emergencia, su correcta sincronización y transferencia a la barra común, la conexión para alimentar la carga y la protección de los generadores. El sistema de fuerza actúa según las órdenes enviadas por el PLC.

El sistema SCADA está constituida por la red modbus RS 485 que transfiere los datos a través del interfaz NI OPC Server para la visualización de las frecuencias, voltajes, intensidades y potencias en el VI del software Labview. La red PPI Multi Master comunica al PLC con el Labview a través del interfaz OPC S7-200. Estos datos que se recibe y se envía a través de estas redes nos permiten visualizar en tiempo real las ondas sinusoidales que produce cada fuente antes, durante y después de realizar una sincronización o una transferencia.

ABSTRACT

The present research describes the synchronous generators, the conditions to be taken in order to carry out synchronization and the operating advantages at the same time two or more alternating current generators. Transferring systems between two or more sources of energy are also detailed.

Energy transferring system contains two main parts: the control that is made up of the programmable logical controller which works as a brain, the tactile screen and the voltage relay which supervise the state of grid power lines; the force is made up of interface relays and the contactors.

The controlling system orders the emergency-generator activating, its right synchronization and transference to the common bar, connection to feed the load and generator protection. The force system works according to the computers sent by the Programmable Logic Controller PLC.

The SCADA supervision, control and data acquisition is set up by the modbus network RS Serial Network 485 Which transfers the data by means of the interface NI National Instrument OPC Ole for process control Server to view the frequencies, voltages, intensities and potencies in the VI virtual instrument of Labview software. The point to point interface PPI network Multi Master communicates to PLC with the Labview by means of the interface OPC S7-200. These data that are received and sent by these networks let to visualize sinusoidal waves that produce each source before, during and after carrying out synchronization or transference in real time.

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En los últimos años se ha incrementado el interés por los temas de autoabastecimiento, sistemas de emergencia y confiabilidad en el sistema de alimentación de energía eléctrica en plantas industriales para todos estos temas, consiste en tener dos o más fuentes de alimentación y dispositivos con la capacidad de seleccionar una u otra fuente.

Un equipo de transferencia y sincronización, debe diseñarse e instalarse para prevenir la conexión inadvertida de las fuentes de alimentación normal y de emergencia, al realizar cualquier manipulación del equipo. Algunos empresarios con la finalidad de contar con mayor confiabilidad y obtener una fuente alterna para realizar mantenimientos sin afectar la carga han invertido cuantiosas cantidades de dinero y sin embargo no consideran poner la atención suficiente al sistema abastecimiento de emergencia al no tener un adecuado sistema de transferencia y sincronización de energía eléctrica afectan considerablemente la carga. Por ejemplo cuando en los hogares se produce una interrupción del suministro eléctrico los usuarios se molestan.

En una industria donde es de vital importancia el suministro eléctrico para el funcionamiento de las diversas máquinas y equipos, la interrupción del suministro eléctrico afecta directamente a la producción y consecuentemente a la economía. Es imprescindible que una industria cuente con dos alimentadores de energía eléctrica, una correspondiente a la compañía suministradora o alimentador preferente y otra fuente emergente que lo componen los grupos electrógenos.

El siguiente trabajo de graduación asimila estas necesidades de la industria mediante la implementación de un sistema de transferencia automática y sincronización, la característica principal del sistema es que la sincronización de los generadores se hace a una barra común de generadores, esta barra se conecta a un interruptor de transferencia principal que cumple con suministrar la energía a las instalación industrial, ya sea

desde la barra de generadores sincronizados o bien desde el suministro comercial de energía eléctrica.

1.2 Justificación

La sincronización y transferencia de generadores emergentes son temas de gran relevancia dentro de la industria donde el suministro de energía eléctrica es necesario para el funcionamiento de los diversos equipos, máquinas y herramientas.

Al optar por dos fuentes diferentes de alimentación eléctrica permite reducir significativamente los cortes de energía en instalaciones industriales donde por diversas causas el suministro de energía es crítico y este conlleva a grandes las pérdidas en la producción provocadas por cortes prolongados en el suministro.

En la actualidad los temas de automatización y monitoreo con sistemas scada, están revolucionando a la industria por los beneficios que estos proveen, de aquí la importancia de automatizar la transferencia e indicar los diversos parámetros que intervienen en la sincronización mediante el sistema Scada.

En el mercado existen varios instrumentos de medición energética que facilitan la toma de valores que intervienen en la sincronización. El Sentron Pac3100 es un multimedidor que permite tomar estos datos, además dispone de la comunicación para la automatización y el monitoreo.

Los principales beneficiados con este proyecto didáctico son los estudiantes que podrán realizar prácticas con motores de corriente continua, corriente alterna y más equipos que intervienen en la transferencia automática y la sincronización de generadores. El tablero está enfocado para el manejo de equipos de medición, automatización y monitoreo con el software Labview.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general Realizar el diseño y la construcción de un tablero de sincronización y transferencia de generadores emergentes con PLC y pantalla táctil y monitoreo con un sistema Scada.

1.3.2 Objetivos específicos

Investigar los parámetros que intervienen en la sincronización de fuentes de alimentación eléctrica.

Investigar acerca de la transferencia de energía eléctrica.

Diseñar los circuitos de potencia y control que intervienen en la transferencia automática.

Construir el tablero para la transferencia automática de generadores emergentes.

Monitorear con el software Labview la transferencia automática de los generadores emergentes.

Desarrollar guías prácticas de laboratorio para el manejo y programación del tablero de automatización.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

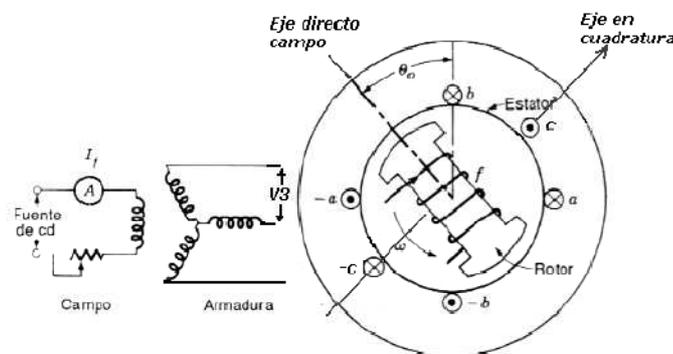
2.1 Máquina síncrona[1]

La máquina síncrona es de gran versatilidad, puede funcionar tanto como motor o como generador, por la forma constructiva del sistema de excitación, las máquinas sincrónicas se clasifican en máquina de polos salientes y la máquina de rotor cilíndrico.

La utilización de uno u otro depende fundamentalmente de las velocidades que trabaja generalmente las máquinas de bajo número de polos se caracterizan por tener alta velocidad y estas son las máquinas de rotor cilíndrico, ocurriendo lo contrario con las máquinas con elevado número de polos que son de bajas velocidades, este es el caso de las máquinas de polos salientes. Al funcionar con uno de los dos diferentes tipos de rotores el rotor cilíndrico y el rotor de polos salientes. El rotor cilíndrico se usa principalmente como generador mientras la mayor parte de motores sincrónicos son de tipo polos salientes.

Como principio de las máquinas rotativas, consta de una parte llamada estator y una parte móvil llamada rotor, que conforman el circuito magnético de la máquina. En el estator está ubicada la armadura y en ella se tiene corriente alterna (AC) trifásica (3ϕ) balanceada sinusoidal.

Figura 1. Máquina de polos salientes



El campo que es el flujo de la máquina síncrona es producido por corriente directa(DC) para la excitación, a esto se conoce como campo, y está ubicado en el rotor.

La figura 1, muestra una máquina síncrona (MS) trifásica de un par de polos salientes, junto con los devanados de campo y armadura.

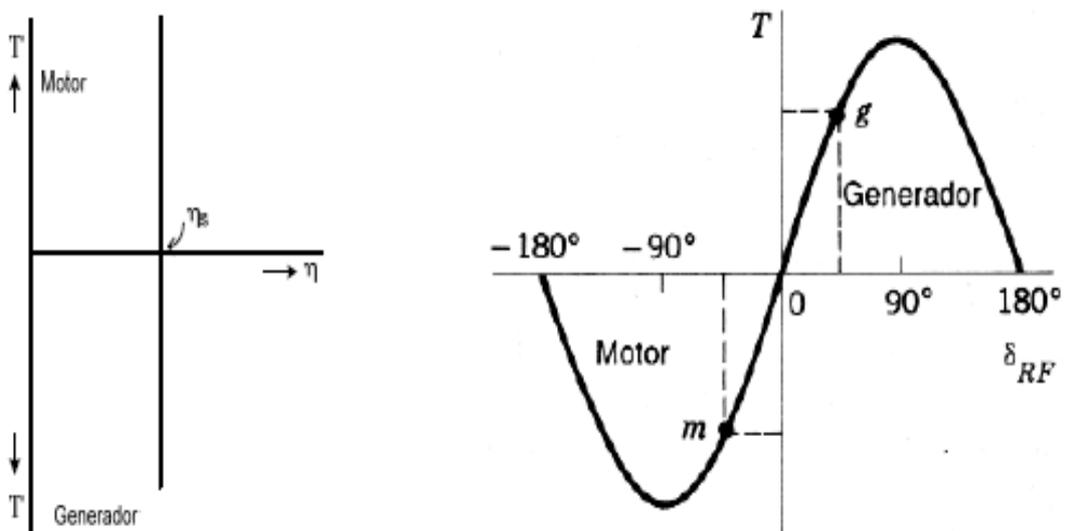
2.1.1 Característica en vacío. El estator lo mismo que el rotor están conectados a una fuente de potencia. Ya que el rotor está conectado a una fuente de potencia de DC y solo hay una velocidad a la que existe el par motor uniforme, es decir:

$$n = \frac{60f}{p} \quad (1)$$

Dónde: n = Velocidad síncrona
 f = Frecuencia
 p = Número de par de polos

Esta es la velocidad síncrona de la máquina está limitada a su velocidad síncrona. Su característica par motor velocidad es una vertical como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Característica par motor-velocidad y torque-ángulo de la máquina síncrona



Fuente: <http://biblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/6213133M385.swf>

2.1.2 Generadores sincrónicos (GS). En general los GS se utilizan para alimentar redes pequeñas de usuarios, o sea en la mayoría de casos funcionan aislados a la red, aunque también se pueden interconectar. Por esta razón se debe tener claro el proceso de sincronización de un GS con la red.

Un generador síncrono se arranca inicialmente en vacío, la regulación se lo realiza a través del potenciómetro que gobierna la velocidad del motor DC que proporciona la potencia mecánica.

El generador se sincroniza con la red igualando previamente, en la máquina y en la red, las tensiones eficaces, las frecuencias, los ángulos de desfases y el sentido de rotación o secuencia de fases.

Los GS poseen la desventaja de que necesitan un circuito extra que le brinde la excitación al generador para poder arrancar, lo que supone más cantidad y complejidad del equipo.

2.1.3 Excitación del GS. La excitación de un GS consiste en hacer circular una corriente continua por el circuito de campo.

Generalmente la potencia utilizada para la excitación del generador representa entre el 0,5% al 1% de la potencia útil del mismo.

Se pueden mencionar tres tipos principales de excitatrices para el caso de los generadores sincrónicos: rotativas de corriente continua, de corriente alterna sin escobillas y estáticas. Actualmente se utilizan las estáticas aunque todavía se pueden encontrar rotativas.

Eficiencia en los generadores sincrónicos. Debido a que la mayoría de fabricantes no brindan en sus folletos o manuales de generadores información sobre la eficiencia de éstos, se decidió trabajar este tema de forma teórica, buscando información en libros sobre la eficiencia promedio de los generadores según su potencia y tipo (sincrónico o de inducción).

La eficiencia del generador se define como la razón de la potencia de salida entre la potencia de entrada.

Existen cinco principales causas de pérdidas asociadas con un generador eléctrico:

1. Fricción y resistencia aerodinámica.
2. Pérdidas en el núcleo.
3. Pérdidas en el cobre del devanado de campo.
4. Pérdidas en el cobre de la armadura.
5. Pérdidas misceláneas (aproximadamente 1% de la potencia de entrada).

Los primeros tipos de pérdidas (1 y 2) son constantes y no dependen de la carga. Las pérdidas por fricción y resistencia aerodinámica se ven afectadas por aspectos como el tamaño y la forma del rotor, también se pueden disminuir mediante un buen diseño del abanico de ventilación interna.

Las pérdidas en el núcleo están relacionadas con la energía necesaria para magnetizar el núcleo del rotor y el estator.

Las pérdidas en el cobre del devanado de campo se refieren a la pérdida a través de la resistencia DC en el mismo.

De manera similar, las pérdidas en la armadura se calculan a partir de la resistencia DC de los devanados del estator.

Las pérdidas misceláneas cubren todas aquellas pérdidas no contempladas anteriormente, como lo pueden ser las causadas por campos armónicos. Los valores típicos de la eficiencia para los GS varían entre el 70% y el 90%. Generalmente las máquinas sincrónicas tienen altos niveles de eficiencia nominal, pero para tamaños tan pequeños entre 5 y 100kW, utilizados como generadores por MCI, la eficiencia ronda entre el 70 y 80 % según sea su velocidad. Para potencias mayores de hasta 1MW puede ser un poco mayor, entre un 80 u 85 %, e incluso podría llegar hasta 90 % pero todo dependerá de la velocidad.

Se debe recordar que la velocidad de giro de una máquina sincrónica está ligada al número de polos de la misma y que a menor velocidad se requieren más polos para una frecuencia dada y esto hace necesario más cobre y por ende baja un poco la eficiencia.

También cabe mencionar que la eficiencia va ligada directamente con el costo de los generadores, entre mayor sea la eficiencia mayor será el costo del generador. Esto se debe tomar en cuenta a la hora de iniciar un proyecto.

2.2 Operación de generadores en paralelo[2]

La operación de dos o más generadores en paralelo tiene ventajas significativas respecto a un generador trabajando solo conectado a una carga, quizás la ventaja más relevante sea la disponibilidad. Es posible conectar en paralelo únicamente los generadores necesarios para suplir las necesidades de potencia debidas a los incrementos de la carga, esto con una disponibilidad de generación mayor que cuando se dispone de un solo generador. Antes de conectar en paralelo un generador a una barra común es necesario sincronizarlo, puesto que cada uno de los generadores cuenta con un interruptor, éste debe cerrar únicamente cuando la barra y el generador entrante coinciden en frecuencia, voltaje y secuencia de fases; además la onda senoidal de la barra común y los generadores coinciden en el pico, es hasta el momento del cierre del interruptor que el generador está en paralelo.

Ahora bien, si dos o más generadores están conectados en paralelo esto no implica que la distribución de carga sea proporcional para cada uno de los generadores. Para los generadores sincrónicos conectados en paralelo la distribución de potencia aparente depende de los ajustes de voltaje y frecuencia para cada uno de los generadores, el voltaje se regula con la corriente de excitación en el rotor determinando el monto de potencia reactiva entregada por el generador síncrono, cuando el voltaje interno del generador es igual al voltaje de la barra común, el generador no entrega potencia reactiva, si el voltaje interno es mayor al voltaje de la barra, el generador entrega potencia reactiva, y por último si el voltaje interno del generador es menor al voltaje de la barra común, el generador síncrono absorbe energía reactiva. En el caso de la potencia real, esta depende del desplazamiento angular del eje del generador.

Supongamos ahora que la carga ha disminuido y no se prevean inmediatos aumentos, si el nuevo valor de la carga puede ser soportado por un solo generador, por ejemplo G1, se procederá a parar el otro generador G2.

Para ello, se descarga poco a poco G2, pasando la carga a G1; se disminuye por tanto, la excitación de G2, cuidando que no se invierta el sentido de la corriente. Debe realizarse esta operación con mucho cuidado y gradualmente, accionando con lentitud los reóstatos de campo de ambas máquinas. Cuando la carga de G2 es cero o casi cero, lo que indicará el correspondiente amperímetro, se abre bruscamente el interruptor general.

Después se desexcita el generador G2, según las normas que se estudia en las características generales de funcionamiento de los generadores con excitación independiente.

2.2.1 *Ventajas de la operación de generadores en paralelo.* Existen varias ventajas en la subdivisión de un sistema de generación, tanto desde el punto de vista económico como estratégico. Las principales ventajas de un sistema en paralelo son:

1. Varios generadores pueden suministrar más carga que una sola máquina.
2. Al tener muchos generadores se incrementa la confiabilidad del sistema puesto que la falla de cualquiera de ellos no causa la pérdida total de la carga.
3. Al tener varios generadores operando en paralelo es posible retirar uno o varios de ellos para realizar reparaciones o mantenimiento preventivo.
4. Varios generadores que funcionen en paralelo pueden ponerse en servicio o quitarse según la fluctuación de la demanda.
5. Si se utiliza un solo generador y éste no se encuentra operando cerca de plena carga, será relativamente ineficiente. Sin embargo, al emplear varias máquinas pequeñas es posible operar solo una fracción de ellas. Las que operan lo hacen a cargas cerca de la plena carga y, por lo tanto con más eficiencia.

La sincronización de un generador síncrono significa conectar el generador a una línea existente que tiene una tensión final V , de tal manera que no tenga lugar a una corriente transitoria de conexión.

Para evitar una corriente transitoria deben satisfacerse las siguientes condiciones:

1. La tensión final de la máquina entrante debe ser igual a la tensión V de la línea.
2. Ambas tensiones deben estar en fase.
3. La frecuencia de ambas tensiones debe ser la misma.
4. Igualdad de secuencia de fase. (Máquina trifásica).

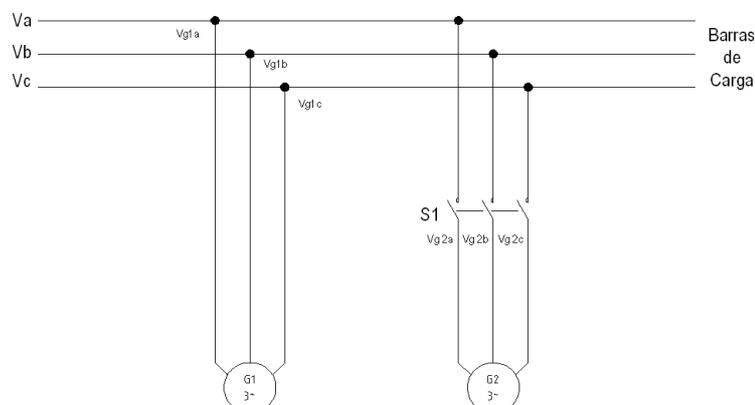
2.3 Condiciones para sincronizar generadores

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

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.

Los voltajes en bornes de cada generador deben coincidir con la barra de carga, es decir los valores de voltaje eficaz deben concordar y existir concordancia de fases. En la figura 3, se aprecia que los voltajes V_a , V_{G1a} y V_{G2a} deben coincidir en igual valor para que $S1$ cierre, una diferencia entre V_{G1a} y V_{G2a} produce la motorización del generador que tenga menor voltaje y de igual manera para el resto de fases.

Figura 3. Comparación de voltajes con la red

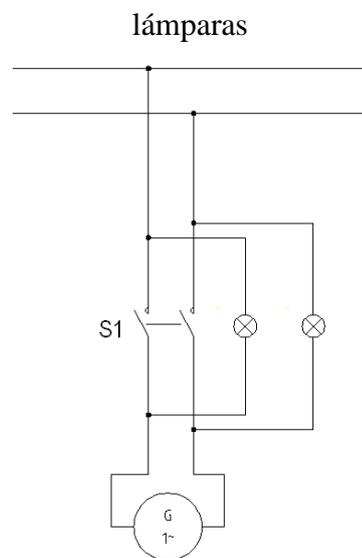


Fuente: Cortez Cherta Manuel

2.3.2 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 4. Sincronización de un generador monofásico con la barra infinita, por medio de



Fuente: Cortez Cherta Manuel

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 4, muestra el arreglo de las lámparas para una máquina entrante monofásica el interruptor S de doble polo está unido por dos lámparas L.

2.3.3 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.

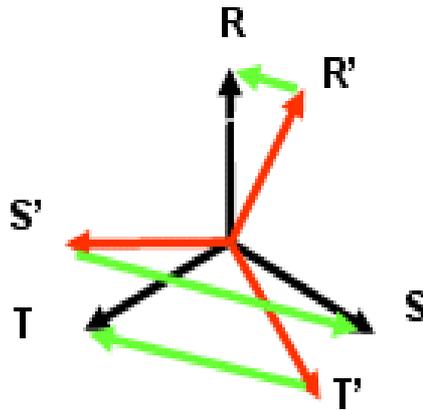
La frecuencia de funcionamiento es la medida eléctrica de la velocidad mecánica debido a su proporcionalidad.

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.

2.3.4 Igualdad de secuencia de fase (Máquina Trifásica). 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.5, 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).

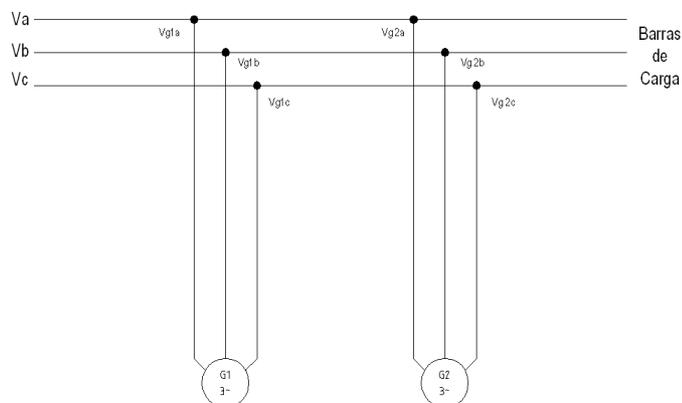
Figura 5. Desigualdad de secuencia de fases, las lámparas no brillan simultáneamente



Fuente: <http://biblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/6213133M385.swf>

Los alternadores a conectarse en paralelo deben contar con el mismo número de fases que la barra de carga y tener correspondencia de voltaje, porque de no ser así se producen un desbalance de potencia en las líneas de alimentación provocando un calentamiento excesivo en el conductor afectado. Como se observa en la figura 6, los generadores G1 y G2 tienen igual número de fases; aportando de semejante manera al sistema, sin desbalancear la potencia entregada a la carga. A diferencia de la figura 7, al poseer un tercer generador con incompatibilidad de fases (que entrega potencia exclusivamente a la línea a) produce un desbalance de energía entregada en sus cables de potencia y la barra de carga.

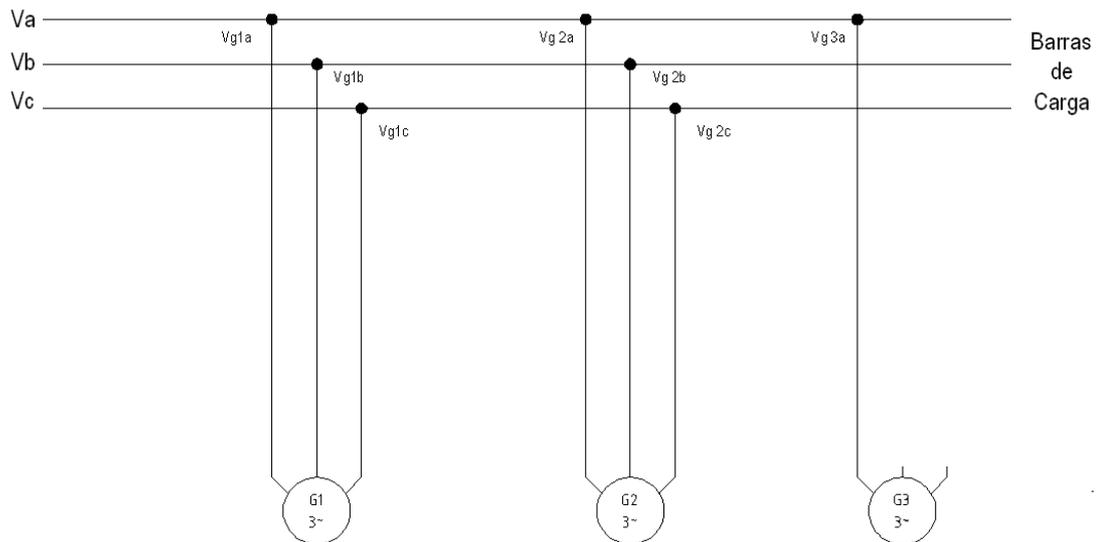
Figura 6. Generadores de igual número de fases



Fuente: Cortez Cherta Manuel

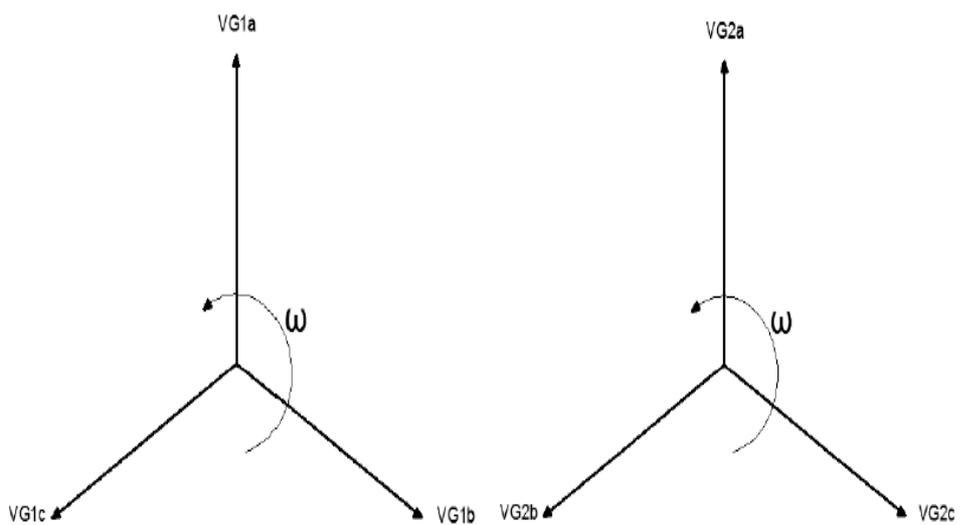
Las fases sincronizadas hacen referencia a la secuencia de fases de los generadores. Al aproximar dos máquinas en paralelo con incorrecta secuencia de fases figura 8, provoca el incremento muy elevado de la corriente, causando daños en el alternador.

Figura7. Generadores con desigualdad de fases



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Figura8. Fases sincronizadas, secuencia de fases incorrecta



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Si se cierra el interruptor S1 de la figura 3, la Fase A no causa problemas, pero las Fases B y C impulsan corrientes de circulación muy elevadas a través de los generadores.

2.4 Técnicas de sincronismo [3]

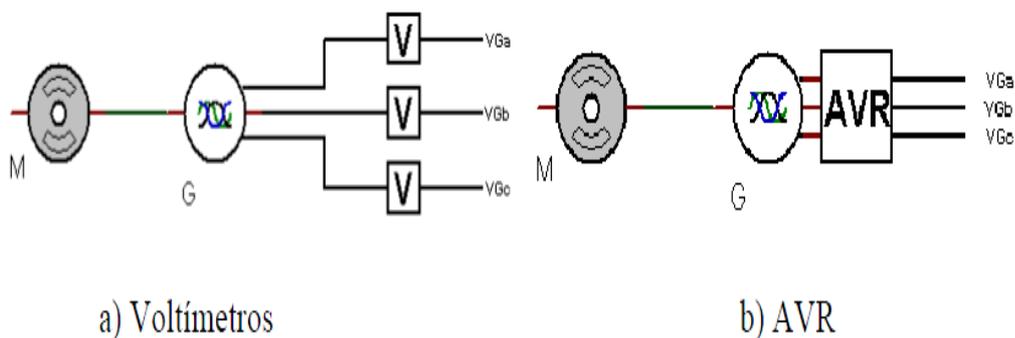
El funcionamiento de generadores en paralelo obliga a cumplir con ciertas exigencias, para ello se tienen varios métodos o procedimientos citados a continuación:

2.4.1 Estrategias para variar la frecuencia. Lograr una frecuencia deseada significa suministrar al generador una velocidad adecuada, esto se consigue gracias al control de la velocidad en el motor.

En generadores a gas, diesel u otro tipo de combustible, el gobernador es el sistemamecánico que regula el acceso de combustible hacia el motor para lograr controlar sus revoluciones de una manera automática.

2.4.2 Sistemas de control de voltaje. Mediante el uso de voltímetros y transformadores de potencial (Pts.) que monitorean las líneas de generación figura 9a, se envía señales de control para ajustar la corriente de campo del generador por medio del regulador automático de voltaje (AVR) y de esta manera regular el voltaje que se genera, dando robustez al sistema.

Figura 9. Tipo de censado de voltaje

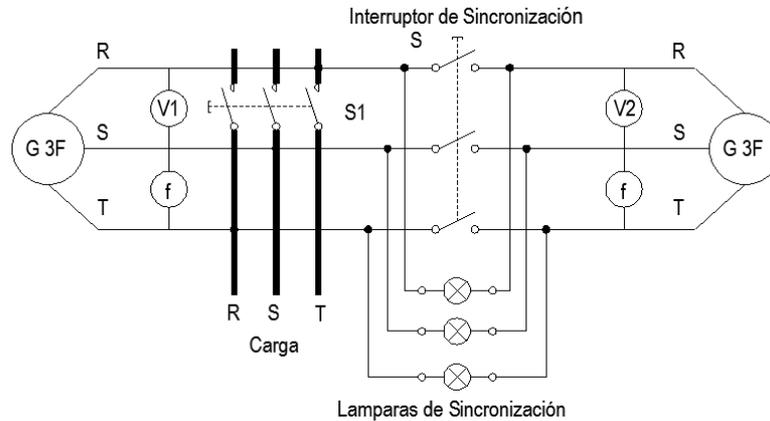


Fuente: Cortez Cherta Manuel

2.4.3 Método 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 sesiguen utilizando.

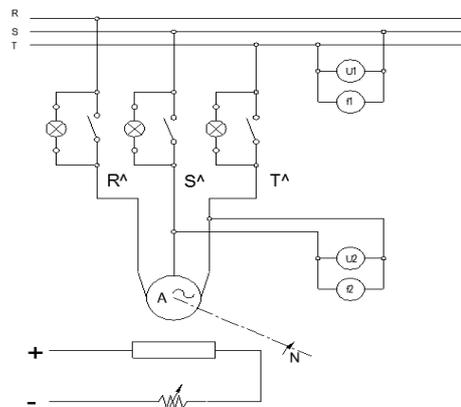
Figura 10. Método de sincronización por medio de lámparas



Fuente: Fuente. Cortez Cherta Manuel

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 11. Sincronización de generador trifásico con la barra infinita, por medio de lámparas



Fuente: Cortez Cherta Manuel

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

Tabla 1. Señales de las lámparas de sincronización

Señal Visible	Causa	Corrección	Momento de Conexión	Ventaja/Desventaja
Luces apagadas	Las tensiones de los dos generadores son iguales. La resultante es cero.	Ninguna	Puede existir una diferencia de tensión apreciable, pero insuficiente para encender las lámparas, está en el orden del 10% de la nominal de la lámpara.	No se puede saber el momento exacto en que la diferencia es cero
Luces con brillo fluctuante pero igual para todas.	Diferencia de frecuencias	Subir o bajar la velocidad del generador a conectar.		Este método tiene la ventaja de detectar este problema, por lo cual es muy recomendable.
Luces con brillo fluctuante pero diferente para todas, debido a la inversión de fases.	Secuencia de fase que difieren.	Intercambiar dos de las fases del generador a conectar		
Luces con igualdad de brillo	Tensiones desiguales	Ajustar la excitación del generador a conectar.		
Luces con igualdad de brillo	Desfasaje.	Verificar ligeramente la velocidad del generador a conectar.		

Fuente: Los Autores

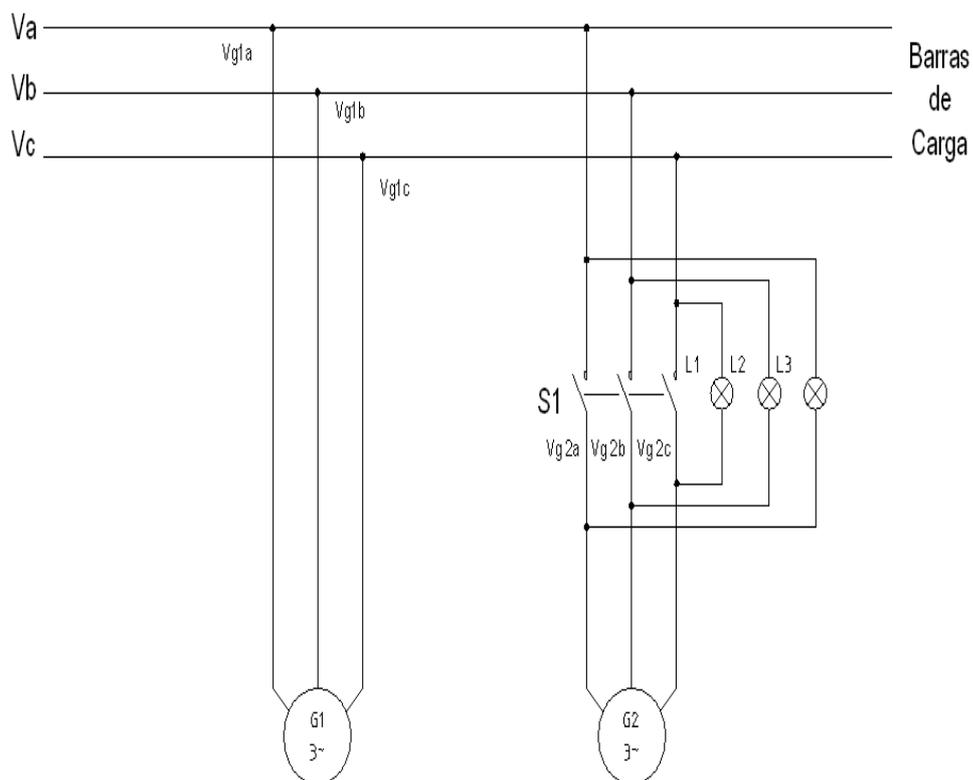
Al analizar la fase A Figura 13, respecto a la figura 12, se observa a la bombilla L1 con un resplandor pequeño, dependiendo de la diferencia de potencial entre $\overline{V_a}$ y $\overline{V_{G2a}}$.

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 $\overline{V_a} = \overline{V_{G2a}}, \overline{V_b} = \overline{V_{G2b}}, \overline{V_c} = \overline{V_{G2c}}$ consiguiendo que la desigualdad de voltajes entre las tres fases y la barra de carga sea cero.

Luego de realizar la modificación, se puede accionar el interruptor S1 de la figura 12, como por ejemplo la causa que produce dichas señales, como podemos corregir, cuando es el momento preciso de conexión, las ventajas y desventajas de utilizar este método.

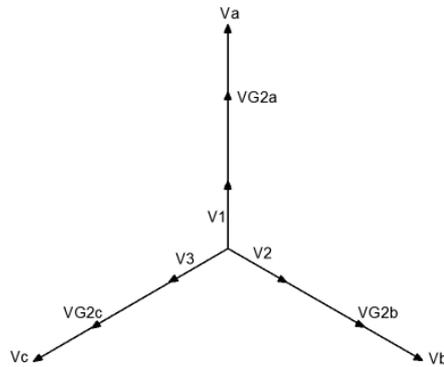
2.4.4 Método de las lámparas apagadas. Para este método de sincronización se dan los siguientes casos la conexión de las lámparas se muestran en la siguiente figura:

Figura 12. Método de las lámparas apagadas



Fuente: Cortez Cherta Manuel

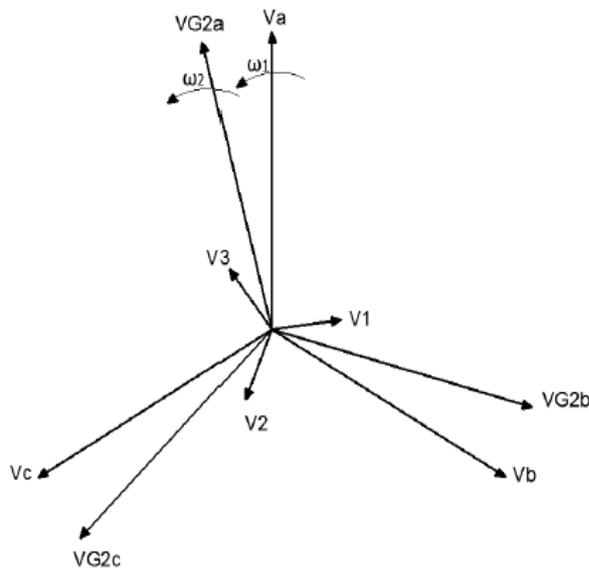
Figura 13. Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga



Fuente: Cortez Cherta Manuel

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 14. Discrepancia de frecuencia entre un generador y la barra de carga



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Al momento de obtener la diferencia de potencial $\overline{V1}$, $\overline{V2}$, $\overline{V3}$ igual a cero se otorga la señal de activación al interruptor S1.

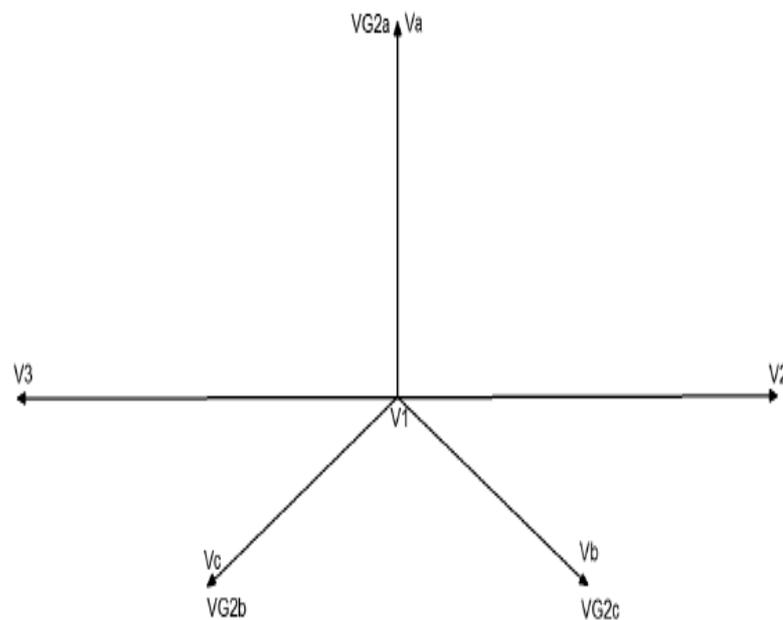
b) Secuencia de fase es incorrecta, frecuencia y voltaje correctos.

Aquí se distingue en L2 y L3 una irradiación lumínica muy intensa, en tanto que L1 está apagada.

La rectificación se logra intercambiando dos de las fases y así $\overline{V1}$, $\overline{V2}$, $\overline{V3}$ serán cero como en los literales “a” y “b”, alcanzando la condición deseada para maniobrar S1 de la figura 12, se evidencia que la figura 16, cuenta con voltajes dispares, frecuencia desigual y la secuencia de fase incorrecta ante estas señales no podemos realizar el cierre del interruptor de sincronización ya que causaría graves daños en las fuentes ha sincronizar y la carga que estas alimentan.

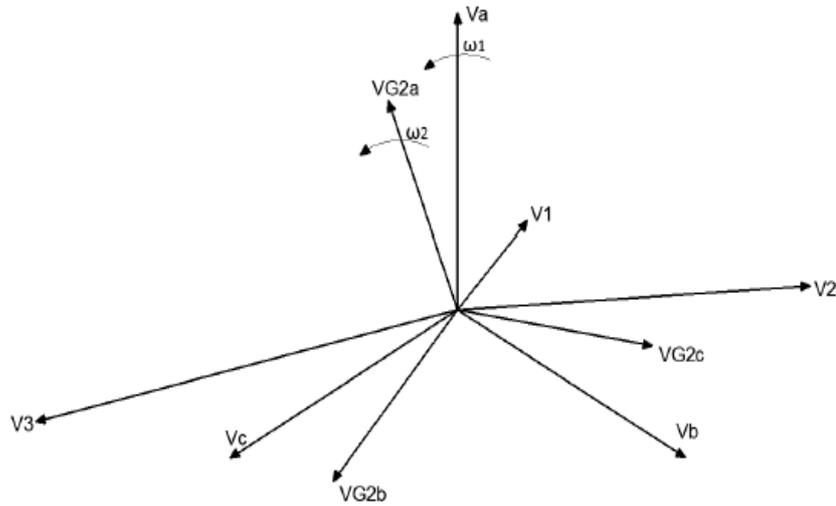
La acción correctiva cumple los siguientes pasos: rectificar la secuencia de fases, variar la velocidad del motor primario, ajustar la corriente de campo del generador. Alcanzados todos los cambios se puede cerrar el interruptor de la figura 12.

Figura 15. Desacuerdo de secuencia de fases entre un generador y la barra de carga



c) Voltajes, frecuencia y secuencia de fases diferentes:

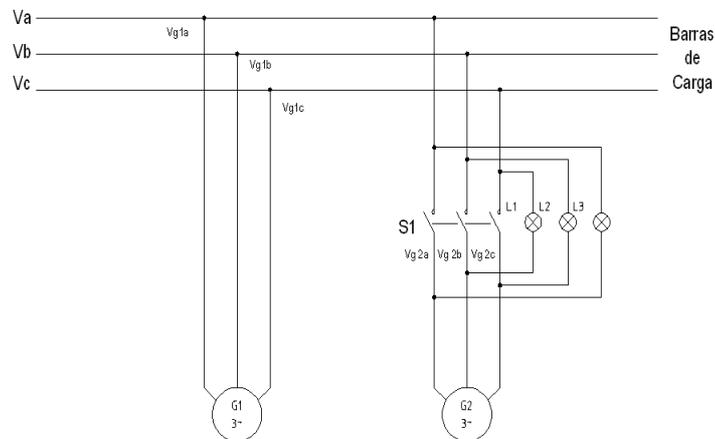
Figura 16. Diferencia de voltajes, frecuencia y secuencia de fases entre un generador y la barra de carga



Fuente: Cortez Cherta Manuel

2.4.5 Procedimiento de dos lámparas encendidas y una apagada. Para este método de sincronización se dan los siguientes casos la conexión de las lámparas se muestran en la siguiente figura:

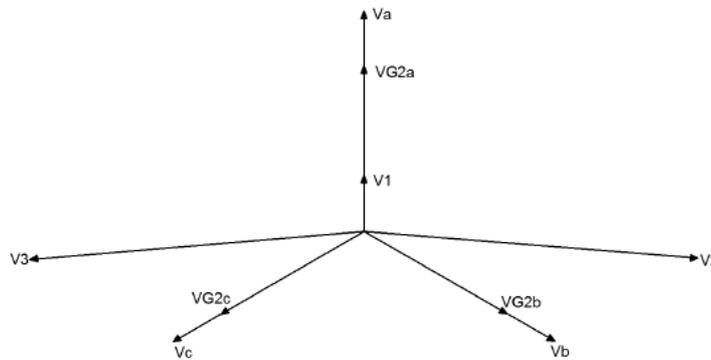
Figura 17. Dos lámparas apagadas y una encendida



Fuente: Cortez Cherta Manuel

a) Frecuencia y secuencia afines con voltajes no homólogos:

Figura 18. Diferencia de voltajes entre un generador y la barra de carga

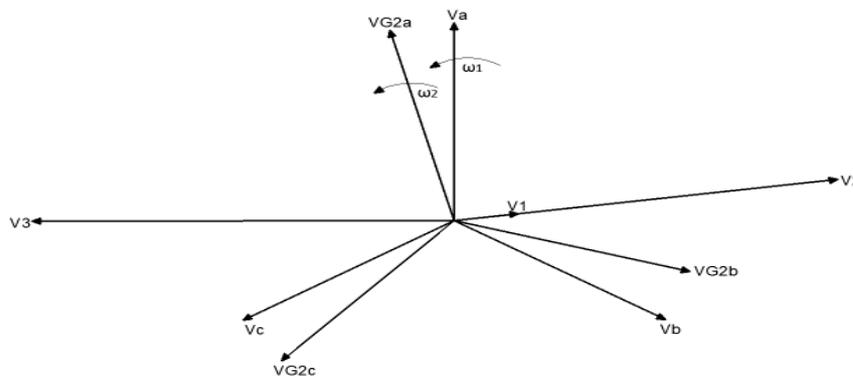


Fuente: Cortez Cherta Manuel

La figura 18, muestra que L2 y L3 no llegan a su mayor intensidad luminosa, mientras que L1 tiene un centelleo muy ligero, proyectando la necesidad de corregir el error. Basta con ajustar la corriente de campo en el generador hasta que la iluminación de las lámparas L2 y L3 sea máxima y la de L1 sea nula $\overline{V_a} = \overline{VG2a}$ y $|\overline{V_2}| = |\overline{V_3}| = \sqrt{3} |\overline{V_a}| = \sqrt{3} |\overline{VG2a}|$, en ese instante se cierra el interruptor S1 de la figura 17.

b) Voltajes y secuencia similares pero con frecuencias incorrectas.

Figura 19. Frecuencia entre un Generador y la Barra de Carga



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Las lámparas L2 y L3 no alcanzan su máximo brillo y L1 tiene un destello limitado ya que la frecuencia a la cual se mueve el motor primario no es la misma que la barra de carga.

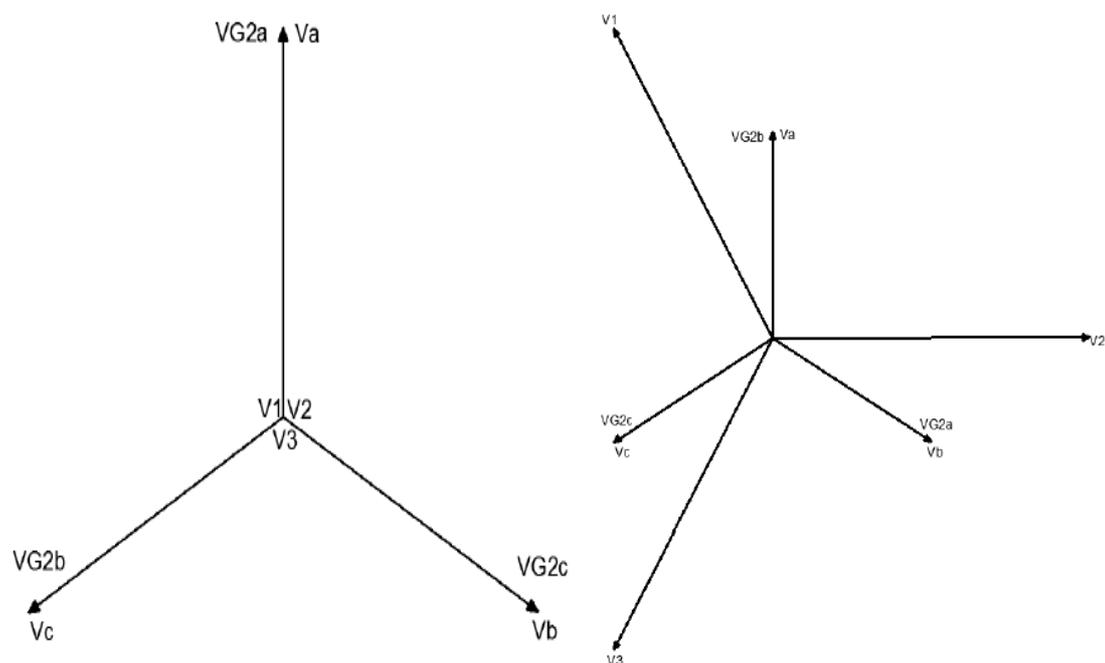
Corrigiendo todos los errores a través de la velocidad del motor, se da igualdad de frecuencia pero se disminuye el voltaje del generador, precisando ajustar la corriente de campo por medio del AVR. Logrando la mayor cantidad de luz de L2 y L3 y el apagado en L1, se conecta el generador con la red a través de S1 de la figura 17.

c) La secuencia de fase es errónea, voltaje y frecuencia acordes.

Aquí se observa que entre el intercambio de las Fases B y C figura 2.19a no se tiene ningún resplandor en L1, L2 y L3, pero al reemplazar cualquiera de las dos Fases con la Fase A las tres lámparas alcanzan su máxima luminosidad.

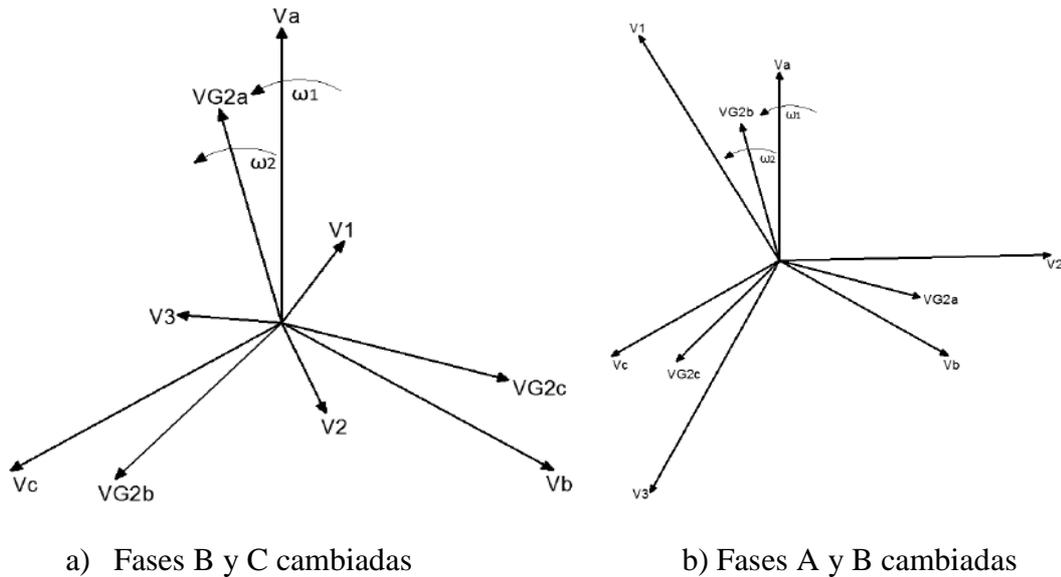
Al observar cualquiera de las dos manifestaciones, basta cambiar dos fases entre si y se cierra S1 de la figura 17.

Figura 20. Diferencia de secuencia de fases entre un generador y la barra de carga



d) Secuencia, frecuencia y voltajes incorrectos.

Figura 21. Diferencia de voltajes, frecuencia y secuencia de fases entre un generador y la barra de carga



Fuente: Cortez Cherta Manuel.

Al contar con secuencia de fases incorrecta, frecuencia desigual y voltajes diferentes, la figura 21, se presentan los problemas mencionados en los literales “a”, “b” y “c” de la sección 2.4.5.

Para manejar S1 el procedimiento a seguir es: cambiar la secuencia de fases, ajustar la velocidad del motor primario y regular la corriente de campo del generador.

De los métodos de las secciones anteriores el mejor es el de las dos luces encendidas y una luz apagada es superior, porque el operario diferencia el cambio en el brillo de los focos y así toma las respectivas acciones de control que se necesite.

2.5 Método de sincronización por medio del sincronoscopio

El método de sincronización por medio del sincronoscopio es utilizado para sincronizar máquinas trifásicas 3 ϕ 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 debe ajustar la velocidad del generador hasta que se ponga a la misma velocidad (frecuencia) de la red de 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 22, muestra un sincronoscopio en fase cero, es la posición de ángulo recto hacia arriba.

Figura 22. Sincronoscopio en fase cero



Fuente: Siemens Instruments

2.5.1 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.

Tabla 2. Señales del sincronoscopio

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		

Fuente: Los autores

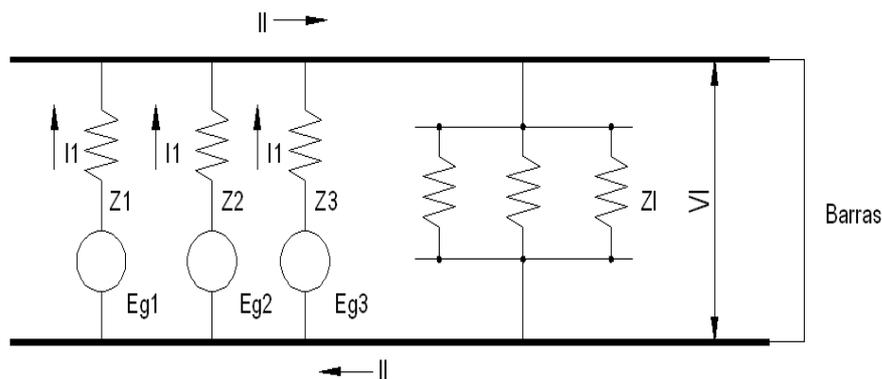
2.6 Relaciones de tensión y corriente para fuentes de fem en paralelo

Un circuito en paralelo se define como aquel en el cual existe la misma tensión en bornes de todas las unidades en paralelo. Cuando varias fuentes de fem están conectadas en paralelo.

Como se muestra en la figura 23, existe la misma tensión en barras, V_l , tanto en las distintas fuentes como en la carga, Z_l , despreciando la caída en los circuitos de interconexión entre los distintos generadores.

Las siguientes relaciones son válidas, independientemente de si las fuentes son baterías, generadores de CC, alternadores, baterías solares, alimentaciones de potencia, etc.

Figura 23. Conexión de generadores en paralelo



Fuente: Los autores

$$V_l = I_l Z_l = E_{g1} - I_1 Z_1 = E_{g2} - I_2 Z_2 = E_{g3} - I_3 Z_3 \quad (2)$$

Donde:

- E_g = Tensión generada por las fuentes
- V_l = Tensión en barras
- I_l = Intensidad total suministrada por las distintas fuentes a la carga
- Z_l = Impedancia equivalente o resistencia de la carga.
- Z_1, Z_2, Z_3 = Impedancias internas equivalentes de la fuente de f.e.m.
- I_1, I_2, I_3 = Intensidades suministradas por cada una de las fuentes de fem.

En la ecuación anterior no es necesario que cada una de las fuentes produzca la misma fem o suministre la misma corriente para alimentar la carga. Pero que cada unidad sirva como una fuente de femes necesario que la fem generada por esa unidad sea superior a la tensión en barras V_l a fin de suministrar corriente hacia las barras.

Si una fuente de tensión produce E_g que es exactamente a la tensión en barras V_l se dice que es una fuente flotante en la línea, o sea, ni suministra ni absorbe corriente de las barras I_g es igual a cero y no existe caída de tensión interna creada en la fuente E_g porque no absorbe ni suministra corriente a las barras.

Si una fuente de fem produce una tensión E_g que es menor que la tensión de las barras, es decir las demás fuentes en paralelo suministran corriente a la fuente, como la corriente circula hacia la fuente cuando la tensión en barras es mayor a la tensión de la fuente, la relación entre ellas se expresa por la ecuación.

$$\dot{V}_l = \dot{E}_g + I_g \dot{Z}_g \text{ o } \dot{E}_g = \dot{V}_l - I_g \dot{Z}_g \quad (3)$$

Donde: I_g = Intensidad en la fuente de generación

\dot{Z}_g = Impedancia o resistencia interna de la fuente de generación.

Cuando la fuente de femes una máquina giratoria cuya fem generada, E_g es superior a la tensión en las barras el funcionamiento de la máquina corresponde al efecto generador y la máquina funciona como generador.

Cuando la fem de la máquina es menor que la tensión aplicada a su inducido y la máquina recibe corriente de las barras el funcionamiento de la máquina corresponde al efecto motor y la máquina está funcionando como motor.

Cuando funciona como generador o como motor, la potencia total generada por la máquina, por fase es:

$$P_{g1} = E_{g1} I_{g1} \cos \theta_1 \quad (4)$$

Donde: E_{g1} =Tensión generada por fase
 I_{g1} =Corriente de fase
 θ_1 = Ángulo de fase entre E_{g1} y I_{g1} .

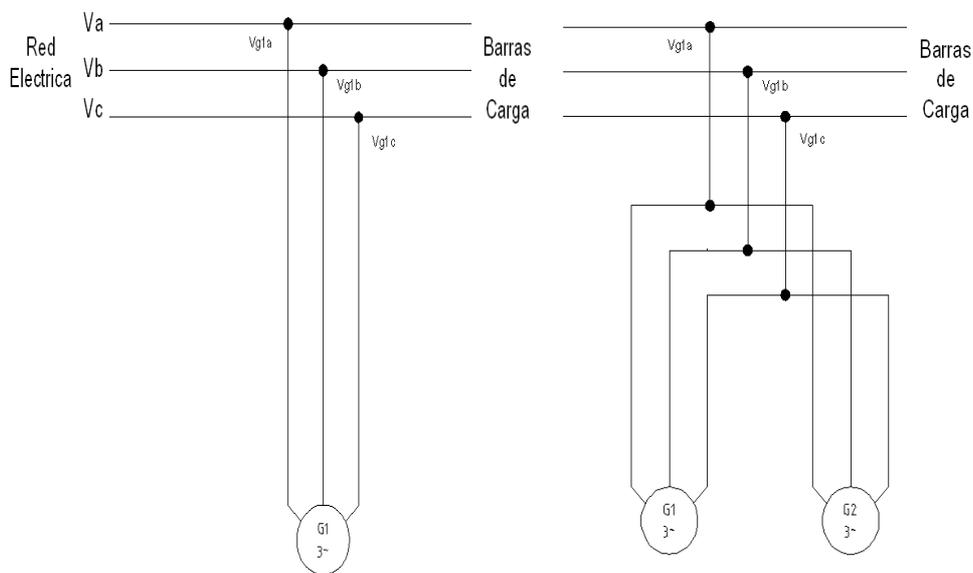
La potencia suministrada hacia las barras o recibida en ellas por fase, es:

$$P_{l1} = V_{l1} I_{l1} \cos\theta_1 \quad (5)$$

Donde: V_{l1} = Tensión de fase en barras.
 I_{l1} = Intensidad de fase que entra o sale de las barras.

2.7 Comportamiento de los generadores al ingresaren sincronismo.

Figura 24. Generadores conectados a la red y entre generadores



Fuente: Los autores

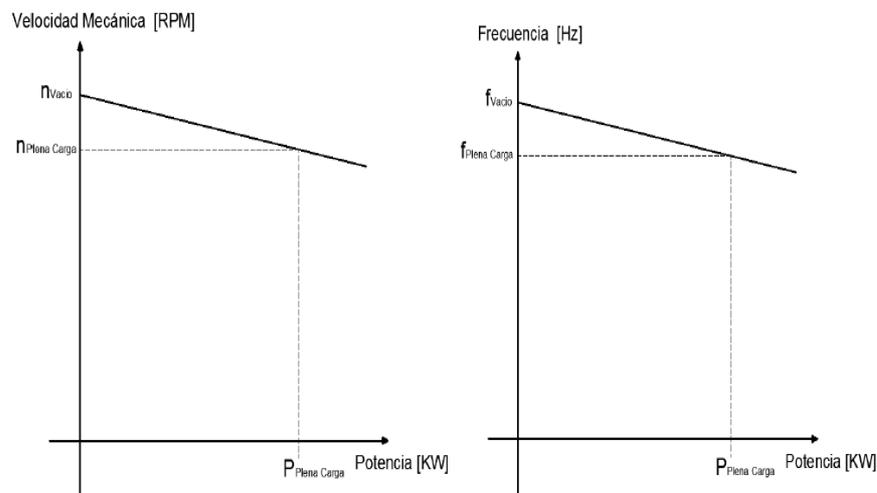
Al ingresar un alternador en paralelo sea con un sistema de generación más grande o únicamente con otro grupo electrógeno figura 24, Se debe tomar en cuenta su funcionamiento como motor, porque si su fuerza contra electromotriz es menor que el voltaje de la red o del otro grupo electrógeno, el generador consume potencia en vez de suministrarla. Se debe tomar en cuenta su funcionamiento como motor, porque si

sufuerza contra electromotriz es menor que el voltaje de la red o del otro grupo electrógeno, el generador consume potencia en vez de suministrarla.

Al aumentar la corriente de excitación en G1 figura 24b, su fem se incrementa existiendo una corriente circulante desde G1 a G2 motorizando a G2, para evitarlo se toma las acciones mencionadas en el literal “a y b” de la sección 2.4.5 en ambos generadores para balancear nuevamente el sistema. Para el caso de máquinas anexadas a una barra infinita figura 24, el problema tiende a ser de menor riesgo, haciendo necesario solo la regulación del grupo electrógeno por ingresar pues no cambia la frecuencia de un sistema de generación más grande, ya que todo el régimen se maneja con los parámetros de la barra infinita de la red.

2.7.1 Distribución de potencia. En los grupos electrógenos la potencia mecánica la suministra el motor primario, de esta manera la velocidad del eje va de la mano con la potencia provista por el generador hacia la carga o a la red eléctrica que se lo acople. En la figura 25a, y 25b, se concibe claramente que la velocidad y la frecuencia disminuye cuando la carga requiere de potencia al colocar un generador en paralelo con un sistema de generación grande o con otro grupo electrógeno, su velocidad en vacío debe ser mayor pues esta disminuye en el momento de la conexión.

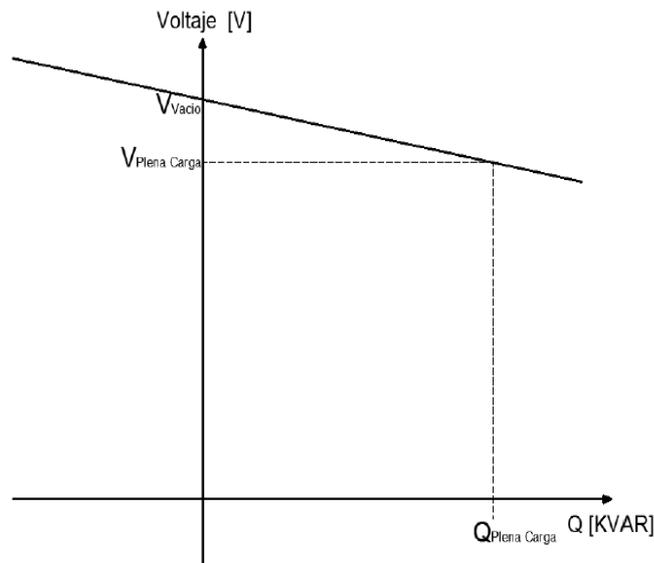
Figura 25. Potencia de un generador



Fuente: Cortez Cherta Manuel

El cambio de frecuencia se debe al circuito equivalente del generador porque pasa a formar parte de la carga provocando un consumo de potencia, reduciendo la velocidad en el motor primario. La potencia reactiva se vincula con el voltaje en los terminales del generador como se indica en la figura 26.

Figura 26. Potencia reactiva vs voltaje de bornes de un generador



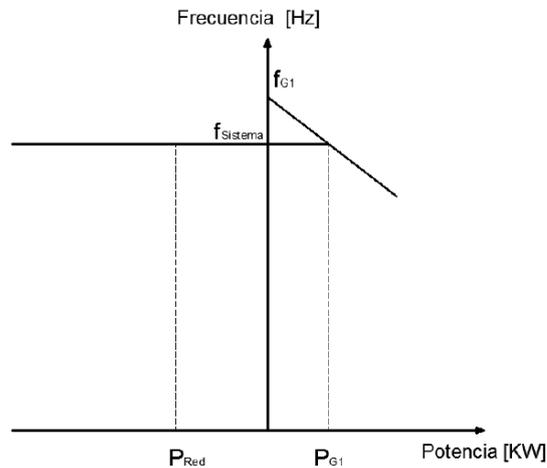
Fuente: Cortez Cherta Manuel

El proceso de añadir una carga en retraso al generador provoca la disminución de su voltaje, en cuanto que al colocar una carga en adelanto la diferencia de potencial en los terminales aumenta. Cabe recalcar que la potencia real P y la potencia reactiva Q dependen directamente de la demanda de la carga cualquier cambio de velocidad en el generador $G1$ figura 27, provoca un aumento o disminución de la potencia suministrada sin afectar a la frecuencia de toda la barra de carga. Al conectar dos generadores en paralelo, el ajuste de sus velocidades significa una perturbación de frecuencia en todas las barras de alimentación de la carga figura 28a.

En la figura 28b, se observa que al cambiar la velocidad del $G2$ sin que la carga lo requiera, la frecuencia de todo el sistema aumenta, por tanto hay que disminuir la rapidez del $G1$. Este ejemplo es una referencia para explicar cuando la carga precisa de

mayor potencia, pues las velocidades de ambos generadores disminuyen y crean la necesidad de regular sus gobernadores para lograr el valor deseado de frecuencia.

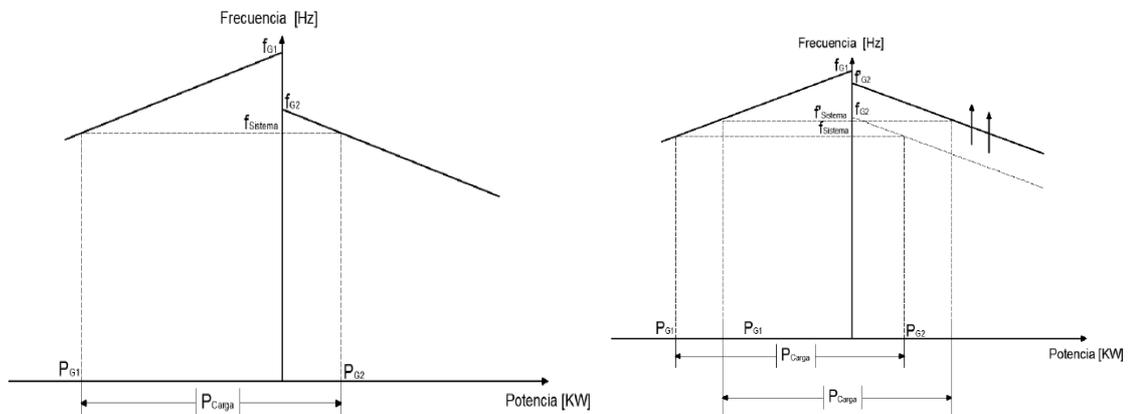
Figura 27. Distribución de la potencia de un generador conectado a una red



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Es muy importante conocer que al momento de ajustar la velocidad en cada generador, el voltaje en sus bornes también cambia y se hace ineludible readaptarlo modificando la corriente de excitación del generador. Este fenómeno se extrapola con la potencia reactiva Q al ajustar el voltaje en los bornes de los grupos electrógenos, con la diferencia que la potencia activa P no se ve afectada.

Figura 28. Distribución de potencia entre dos generadores



Fuente: Cortez Cherta Manuel

Asegurar una buena repartición de potencia entre grupos electrógenos implica implementar caídas de velocidad dentro de un intervalo de 3 a 4% en sus elementos de control, para compensar la relación al ingreso o salida de carga vs velocidad; este modo de operación es conocido como DROOP o compensación caída de velocidad frente al ingreso de carga.

2.7.2 Regulación de tensión de generadores de ca. Los reguladores automáticos de tensión para generadores trifásicos síncronos, se clasifican de acuerdo a su funcionamiento.

Funcionamiento astático, en el que el valor de la tensión se mantiene constante cualesquiera que sea la carga.

Funcionamiento estático, en el que el valor de la tensión varía proporcionalmente con la carga.

En el caso de funcionamiento de un generador aislado se puede emplear, en muchos casos, un regulador astático. Pero si se acoplan en paralelo dos generadores provistos de reguladores estáticos, estos reguladores darán una tensión constante cualquiera que sea la carga y para muy pequeñas diferencias en los puntos de funcionamiento podrían quedar fuertemente decalados, de donde resultaría la sobreexcitación de un generador y la subexcitación del otro generador, lo que haría imposible la regulación.

Por lo tanto, es necesario que, además de la regulación de las tensiones, los generadores tengan factores de potencia y corrientes comparables los reguladores de tensión han de hacerse sensibles a las corrientes suministradas por los generadores y el ángulo de desfase de estas mismas corrientes. Para ello las características de regulación han de ser estáticas, eligiéndose generalmente un grado de estatismo del 5%.

El regulador estático permitirá un buen reparto de cargas reactivas, pero los resultados serían inaceptables desde el punto de vista de la precisión; por ejemplo, a un grado de estatismo de 5% a una tensión de 220V en vacío, corresponde a una tensión a plena carga de 209V.

Interesa por otra parte, tener al final de la línea una tensión lo más próxima posible a 220V, lo que quiere decirse que debe sobre regularse el regulador. Para evitar este inconveniente se proporciona una compensación al regulador.

2.8 Efectos de un error en la sincronización [4]

A continuación se presentan los daños que pueden ser resultado de una sincronización errada, son tres los parámetros de importancia en cuanto al ajuste de la tolerancia cuando se cierra un interruptor sincronización: ángulo de fase, magnitud del voltaje y diferencia de frecuencia entre las máquinas, cada uno de los efectos se presentan de forma separada.

2.8.1 Efecto de un excesivo ángulo de fase. Un excesivo ángulo de fase puede causar un agudo golpe en las máquinas cuando el interruptor se cierra en estas condiciones, cuando este ángulo es de unos 15° puede causar una oscilación de potencia considerable comparado con un ángulo de fase de 0° grados; unos 60° grados de ángulo de fase pueden causar el atornillamiento de la máquina y un choque puede provocar una excesiva torsión que puede dañar los cigüeñales y bielas del motor, doblar los álabes de una turbina, romper o dañar el acople del motor al generador, provocando también un prolongado lapso de tiempo de oscilación del sistema, un cierre de interruptor cuando los grados rondan por los 120° puede ser causa de torques de 7 veces el valor para la máquina trabajando a máxima potencia.

En algunos casos puede ser causa de desbalance de los motores, cada ciclo de sincronización en estas condiciones puede acumular fatiga al motor reduciendo su vida útil de manera considerable, la suma de todas las fatigas individuales da como resultado la fatiga total del motor, la relación entre la sobrecarga mecánica y la fatiga no es lineal, es decir que un pequeño aumento de la sobrecarga redonda en un aumento considerable de la fatiga.

2.8.2 Efecto de una excesiva frecuencia. Muchos de los accidentes de operación que ocurren con frecuencia son la inversión de fases, puede que el relé de sincronización automática cierre un interruptor cuando la diferencia de fase es la indicada pero, puesto

que el tiempo de cierre del interruptor es constante este puede cerrar fuera del ángulo indicado, hay que recordar también que la energía cinética del generador depende de la velocidad de giro, por tanto en el momento de entrar a la barra común ocurrirá un intercambio de energía considerable puesto que se obliga al generador a mantenerse en la frecuencia de la red, reduciendo la vida útil del generador, también es probable que la frecuencia de oscilación de la excitación coincida con la frecuencia natural de resonancia del cigüeñal del generador, un error de frecuencia puede ser causa de disturbios en un sistema de potencia si la oscilación excede los límites de estabilidad dañando otros equipos.

2.8.3 Efecto de un elevado voltaje de generador. En el instante de cierre es posible que una diferencia de voltaje provoque flujos de potencia reactiva entre los generadores, si el generador entrante tiene un elevado potencial, mayor al del sistema el generador supe de potencia real, si bien es cierto que diferencias de potencial de hasta un 20% no afectan de forma significativa la sincronización de un generador a una barra común si es posible que el flujo de reactiva del generador pueda dañar el estator por sobre calentamiento, una diferencia de potencial de un 2% menor al potencial de la barra común puede aumentar en un 10% el monto de la energía reactiva que el generador supe a la barra infinita, por tanto la relación no es lineal.

En general el costo de una mala sincronización redonda en 4 aspectos:

- 1 Pérdida de horas de trabajo en reparación
- 2 Pérdida de dinero en reparación
- 3 Reducción de la vida útil de la máquina
- 4 Tiempo de indisponibilidad.

2.9 Transferencia de energía eléctrica[5]

Al hablar del tema de autoabastecimiento, sistemas de emergencia o de sistemas de alimentación de energía eléctrica, se consideran dos o más fuentes de alimentación y dispositivos con la capacidad de seleccionar una u otra fuente. Para su aplicación se requiere de equipos especiales como interruptores de transferencia, interruptores de

potencia o interruptores electrónicos de potencia. Los sistemas de transferencia brindan mayor confiabilidad de los sistemas de alimentación de energía eléctrica, debido a que la falla de cualquiera de ellos no causa la pérdida total de potencia en la carga.

Así también los sistemas de transferencia permiten la remoción de una o más fuentes de alimentación para realizar mantenimientos preventivos sin afectar a la carga.

Debido a la importante carga electrónica que se tienen en las líneas de producción como son los controladores lógicos programables (PLC), computadoras personales (PC), variadores de frecuencia, la alimentación eléctrica a estos equipos resulta de vital importancia.

Este tipo de cargas exige que no sobrepase un periodo de interrupción de 20 ms (1,199 ciclos), debido a que con una interrupción de mayor a este tiempo se presentan fallas como pérdida de información de las PC, que se desprogramen los controladores de las máquinas y se afecten las líneas de producción.

2.10 Sistemas de transferencia eléctrica

2.10.1 *Sistemas automáticos de transferencia* Un sistema automático de transferencia de energía es un conjunto de elementos que da la posibilidad de alimentar la carga desde dos o más fuentes diferentes. El primer paso para realizar una transferencia es la evaluación de la fuente emergente y las condiciones de los equipos para la transferencia.

Durante los primeros milisegundos después de una perturbación, el control analiza la fuente emergente para asegurarse que se encuentra en mejores condiciones que la preferente. Al mismo tiempo, se revisan las condiciones de los interruptores de transferencia para asegurarse que estén listos para operar.

El segundo paso es transferir la carga de la fuente 1 a la 2 y seguir monitoreando las condiciones de ambas fuentes. Si después de un determinado tiempo se requiere regresar a la fuente 1 se inicia con el primer paso.

El equipo de transferencia incluyendo interruptores automáticos de transferencia, debe ser automático y manual, además deben estar identificados para uso en emergencia y aprobado.

El equipo de transferencia debe diseñarse para prevenir cualquier conexión inadvertida de las fuentes de alimentación normal y de emergencia al realizar cualquier manipulación del equipo de transferencia.

En la mayoría de los casos la fuente para usos generales es la normal (fuente de alimentación eléctrica suministrada por la compañía suministradora) y un sistema motor generador proporcional a la fuente de potencial de emergencia.

El equipo de transferencia de energía eléctrica supervisa ambas fuentes de alimentación y toda vez que exista una falla, una caída de tensión, un incremento abrupto de la tensión o una disminución de la frecuencia tomará la decisión de transferir la carga a una fuente de potencial segura.

En los sistemas de transferencia para los grupos electrógenos (conjunto motor generador) el equipo supervisa la fuente de potencial normal y cuando exista una interrupción arranca el motor del generador.

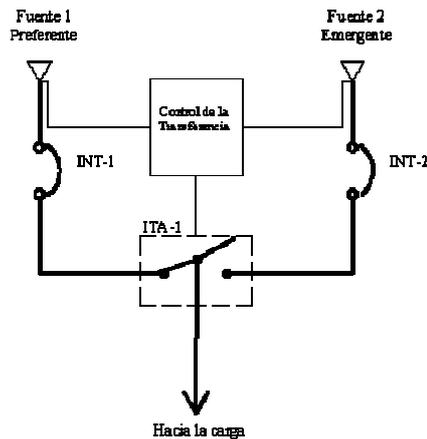
La carga es transferida automáticamente tan pronto como el generador alcance sus valores de frecuencia, y tensión nominal. Cuando se restaura el alimentador normal la carga se vuelve a transferir de la fuente de emergencia al alimentador normal.

2.10.2 Transferencia entre dos fuentes diferentes. Si se tiene más de dos fuentes de energía eléctrica éstas se pueden configurar de tal manera que una sea la preferente y que la otra esté en espera de ser utilizada.

En este caso se debe considerar que las dos fuentes tengan un origen diferente y que en el punto de utilización se cuente con el equipo de transferencia de energía en la figura 29, se muestra el diagrama unifilar básico de un sistema de transferencia de energía eléctrica entre dos fuentes. La fuente 1 es el suministro eléctrico preferente y la fuente 2

es el suministro eléctrico emergente, como se muestra ambos interruptores están normalmente cerrados la carga debe tolerar aproximadamente de 3 a 5 ciclos de interrupción mientras que el dispositivo automático de transferencia actúa.

Figura 29. Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble



INT-1	Interruptor de la fuente preferente
INT-2	Interruptor de la fuente emergente
ITA-1	Interruptor automático de transferencia.

Fuente:

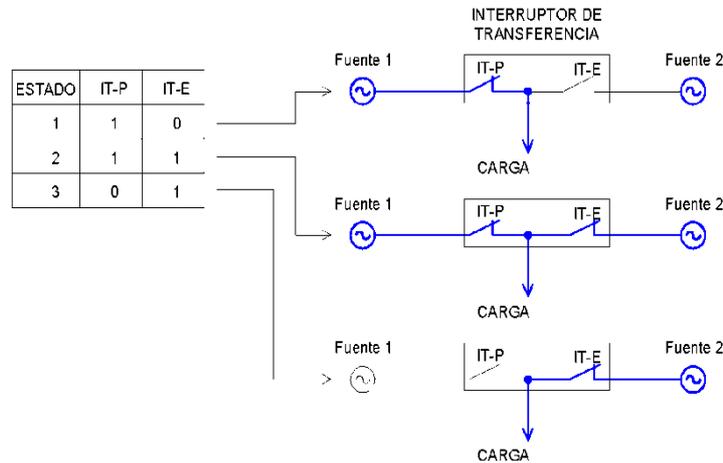
[http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYSELC DEUNSIST.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYSELC_DEUNSIST.pdf)

Si las dos fuentes de energía permiten estar conectadas juntas momentáneamente, el equipo de transferencia de energía debe estar provisto de los controles necesarios para que se pueda realizar la transferencia de energía a transición cerrada con transición cerrada requiere que las fuentes estén sincronizadas con el mismo ángulo de fase, secuencia de fase, mismo potencial y frecuencia. Si esto no se toma en cuenta se puede provocar un cortocircuito severo produciendo daños al equipo instalado. Los sistemas de transferencia pueden operar en transición cerrada y transición abierta cuyas características se mencionan a continuación.

- **Transición cerrada:** Es cuando el interruptor de la fuente 1 está cerrado (estado 1) y el interruptor de la fuente 2 pasa de abierto a cerrado (estado 2) para

posteriormente abrir el interruptor de la fuente 1 (estado 3).

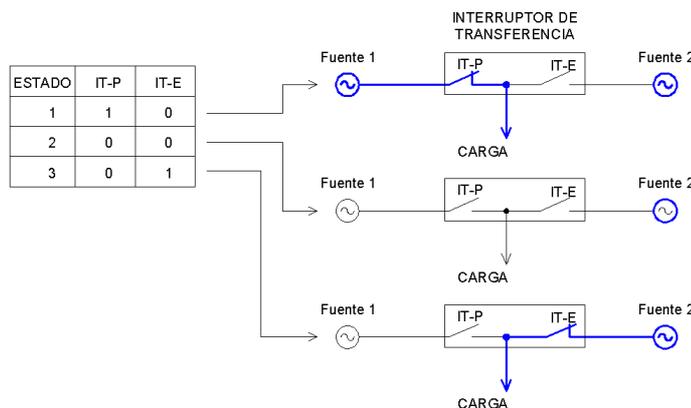
Figura 30. Diagrama eléctrico y tabla de estados de una transferencia a transición cerrada



Fuente: Los autores

- **Transición abierta:** Es cuando el interruptor de la fuente 1 está cerrado (estado 1) y el interruptor de la fuente 1 pasa de cerrado a abierto (estado 2) para posteriormente cerrar el interruptor de la fuente 2 (estado 3). En este instante la carga es alimentada por la fuente 2. Como se muestra en la figura 31.

Figura 31. Diagrama eléctrico y tabla de estados de una transferencia a transición abierta



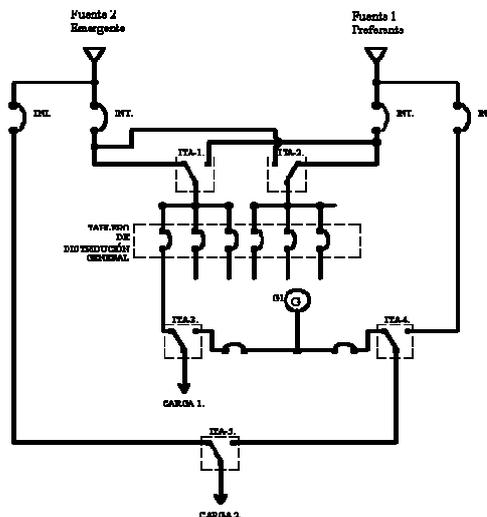
Fuente: Los autores

Existen más variantes para estos arreglos lo cual depende el grado de confiabilidad que se quiera para el sistema eléctrico de la planta industrial y de la inversión. Otro arreglo muy común es emplear dos fuentes de suministro de la compañía suministradora y una más que corresponde a una fuente de emergencia.

Este arreglo se puede utilizar para el autoabastecimiento o cuando las dos fuentes tienen una falla. La fuente de emergencia en estas condiciones no puede soportar toda la carga del sistema, la solución es insertar interruptores de transferencia dentro del circuito eléctrico de la industria para transferir al generador únicamente las cargas más críticas (cargas 1 y cargas 2) como se muestra en la figura 32.

El arreglo muestra que el circuito de las cargas críticas (cargas 1) está conectado directamente a la fuente preferente y emergente esto le da una confiabilidad alta al sistema y garantiza la continuidad del suministro a los circuitos de cargas 1 y 2. En la figura 32, se representan los interruptores de transferencia que conectan a los circuitos que alimentan las cargas más críticas del sistema, el control se diseña para que la transferencia sea entre las fuentes preferente a emergente cuando la fuente normal tenga una interrupción. La re-transferencia consiste en regresar del alimentador emergente al preferente. El control contempla el arranque del grupo electrógeno cuando las dos fuentes tengan una falla o cuando se dé mantenimiento a los tableros de distribución general.

Figura 32. Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con dos fuentes de la compañía suministradora y una de emergencia



- ITA Interruptor de transferencia automático
- G1 Fuente de emergencia compuesta por un grupo motor -generador
- ITN Interruptores electromagnéticos

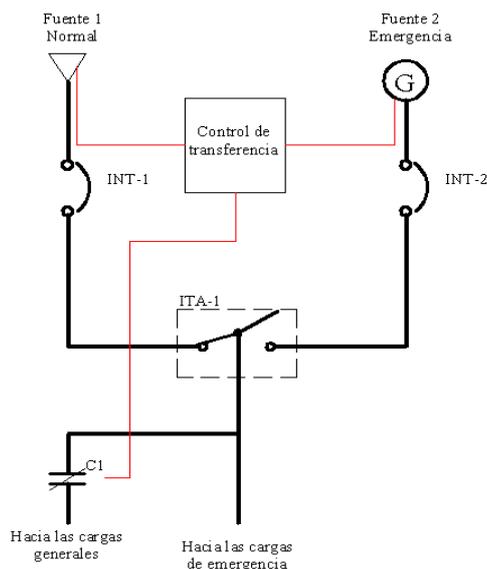
Fuente:http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYS_ELCDEUNSIST.pdf

La secuencia de mantenimiento consiste en usar los interruptores de puente ubicados en las acometidas de los alimentadores preferentes y emergentes junto con los interruptores de transferencia 5, 3 y 4.

De ocurrir una falla en la fuente preferente cuando se efectúen operaciones de mantenimiento el sistema de control transfiere los circuitos de las cargas críticas a la fuente emergente. Si las dos fuentes tienen una interrupción el sistema de control manda una señal para el arranque del grupo motor-generador.

2.10.3 *Arreglo de sistemas de transferencia de energía eléctrica para grupos electrógenos.* El equipo de transferencia que se usa para sistemas de emergencia donde la fuente es un grupo electrógeno, debe proveerse con los medios necesarios para el arranque automático del motor en una falla del servicio normal para la transferencia y operación automática de todos los circuitos eléctricos requeridos. Debe proveerse un dispositivo con ajuste mínimo de tiempo de 15min para impedir la re-transferencia en caso de restablecimiento de la fuente normal.

Figura 33. Diagrama unifilar de un arreglo básico de sistema de transferencia para grupos electrógenos



Fuente:http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYS_ELCDEUNSIST.pdf

- INT-1 Interruptor de fuente preferente
- INT-2 Interruptor de fuente emergente
- ITA-1 Interruptor de transferencia
- C1 Contactor normalmente cerrado

2.10.3.1 *Transferencia entre una fuente normal y una de emergencia.* Cuando se tiene un circuito de transferencia simple como el mostrado en la figura 33, la transferencia requiere de un control simple, se puede programar para el autoabastecimiento para que el control de transferencia arranque el motor, únicamente en horas pico o cuando se tenga una falla de suministro normal.

De acuerdo al horario pico el grupo motor- generador se arranca con una anticipación en promedio de 10min., el interruptor de transferencia se cierra (ITA-1) y la fuente de emergencia queda conectada en paralelo con la fuente normal. Una vez pasado el horario pico el grupo motor-generador es desenergizados y el circuito regresa a las condiciones normales.

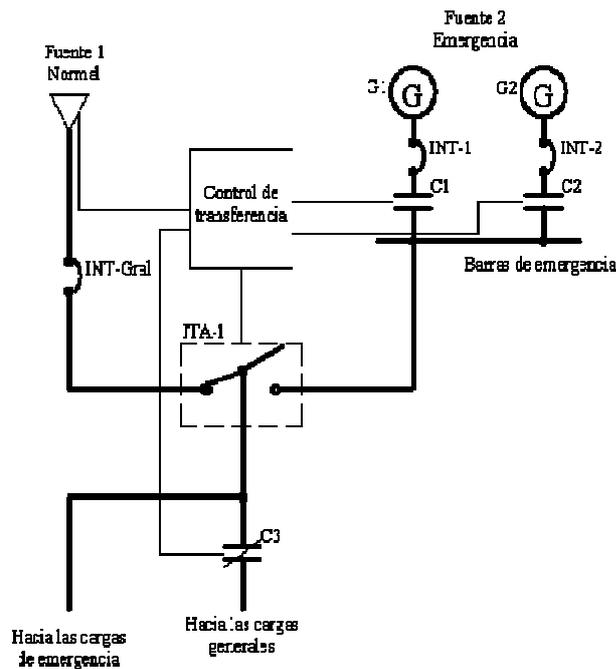
En éste sistema de transferencia, se observa un contactor conectado a las cargas generales, este se abre cuando la fuente de emergencia no soporta la carga.

2.10.3.2 *Transferencia automática entre una fuente normal y dos de emergencia.* Si se cuenta con varias unidades de generación, el equipo de transferencia cuenta con controles suficientes para los arranques de los generadores y la sincronización de los mismos. Así también se debe considerar que las fuentes de emergencia entren en operación alternadamente.

La ventaja de tener un arreglo de este tipo es que pueda incorporarse más unidades en función del crecimiento de la carga eléctrica. Un arreglo tipo de un sistema de transferencia eléctrica que involucra a dos fuentes de emergencia y a una fuente proporcionada por la compañía suministradora se muestra en la figura 34.

En este sistema de transferencia de energía, si la fuente proporcionada por la compañía suministradora tiene una interrupción ambos motores de los generadores (G1 y G2) arrancan automáticamente, después que el generador uno (G1) alcanza la tensión de operación y frecuencia del sistema el contactor (C1) pasa del estado abierto a cerrado.

Figura 34. Diagrama unifilar de un arreglo con alimentación doble



ITA	Interruptor de transferencia automática
C1, C2	Contactores normalmente abiertos
C3	Contactador normalmente cerrad
INT-1	Interruptor de protección de G1
INT-2	Interruptor de protección de G2
G1	Generador de corriente alterna 1
G2	Generador de corriente alterna 2

Cuando el generador dos (G2) se ha sincronizado con respecto al generador uno (G1) se cierra el contactor (C2) y éste conecta automáticamente en paralelo al generador uno (G1) con el generador dos (G2). El paso que sigue es que el interruptor de transferencia se cierre para que la carga quede conectada eléctricamente a los generadores, si uno de los generadores presenta algún problema al estar conectado a la carga y sale de operación el contactorC3 se abrirá para desconectar la carga. Con esto se asegura que lamáquina que está en funcionamiento no sufra ningún daño por la sobrecarga, además de garantizar la continuidad de la energía eléctrica en el circuito de la carga L.

Cuando la fuente de la compañía suministradora es restablecida, toda la carga es retransferida a su conexión normal y los equipos de generación son desenergizados después de asegurarse que la fuente normal está en buenas condiciones de servicio.

El control de todos los equipo de conmutación es gobernado por el sistema de transferencia de energía. Los interruptores INT-1 y INT-2 son para la protección del generador en caso de que se presente una falla de cortocircuito. Se considera que estas protecciones deben estar coordinadas con los demás equipos de protección de la red eléctrica de la industria.

La figura 35,muestra un arreglo en donde se tiene tres fuentes de potencial, una corresponde al suministro normal y las dos restantes son fuentes de emergencia

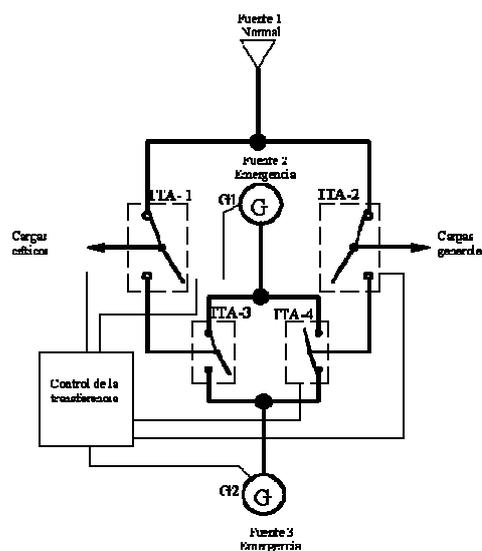
Este arreglo es similar al anterior solo que aquí las tres fuentes tienen como prioridad principal el suministro eléctrico al circuito de las cargas más críticas y como prioridad secundaria al circuito de las cargas generales.

Es un arreglo en donde se tiene conectadas en las partes laterales las cargas más críticas, y las cargas generales a través de los interruptores de transferencia ITA-1 e ITA-2, respectivamente.

Si la fuente normal sufre una interrupción ambos generadores arrancan (G1 y G2) y se conecta al circuito de las cargas más críticas el que alcance en primer lugar las mejores condiciones de tensión y frecuencia. La segunda fuente de emergencia toma la carga de circuito de cargas generales.

Para este arreglo se tiene la condición de tener energizadas las cargas críticas en todo momento. Si la fuente que alimenta a la carga uno (cargas críticas) falla el ITA-3 conmutará para que la fuente 1 sea energizada por la fuente de emergencia dos (G2). Si el suministro de energía es restablecido los interruptores de transferencia regresan a sus condiciones normales y los grupos electrógenos son desenergizados.

Figura 35. Diagrama unifilar de un sistema de transferencia con tres sistemas de alimentación a las cargas



ITA Interruptor automático de transferencia

G1, G2 Generadores de emergencia uno y dos respectivamente

Fuente:http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYS_ELCDEUNSIST.pdf

2.11 El controlador lógico programable (PLC) características y aplicaciones

Un PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar secuencialmente procesos en tiempo real en un ámbito industrial.

Dentro de las funciones del PLC se puede mencionar:

- Adquirir datos del proceso por medio de las entradas digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a reglas programadas.
- Almacenar datos en memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre dispositivos externos mediante las salidas digitales y analógicas.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

2.11.1 Aplicaciones de los PLC. Es usado en la actualidad en una amplia gama de aplicaciones de control, muchas de las cuales no eran económicamente posibles hace algunos años. Esto debido :

- El costo efectivo por punto de entrada/salida ha disminuido con la caída del precio de los microprocesadores y los componentes relacionados.
- La capacidad de los controladores para resolver tareas complejas de computación y comunicación ha hecho posible el uso de PLC en aplicaciones donde antes era necesario dedicar un computador.

Existen 5 áreas generales de aplicación de PLC:

- Control secuencial.
- Control de movimiento.
- Control de procesos.

- Monitoreo y supervisión de procesos.
- Administración de datos.
- Comunicaciones.
- Domótica.

Un controlador lógico programable se compone de cuatro unidades funcionales:

- Unidad de entradas
- Unidad de salidas
- Unidad lógica
- Unidad de memoria

2.12 Sentron pac3100[6]

El medidor de potencia SENTRON PAC3100 permite visualizar todos los parámetros relevantes de una red de distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones trifásicas y utilizarse en sistemas de esquema TN, TT, e IT de tres o cuatro conductores y cargas desequilibradas, las corrientes deben medirse a través de transformadores de corrientes.

Figura 36 Sentron pac3100



Fuente: Manual del sistema Siemens

EL SENTRON PAC3100 ofrece:

- Contadores de energía activa y reactiva.
- 2 entradas digitales para monitorizar el estado.
- 2 salidas digitales, programables en modo de impulso representativos de energía activa o reactiva o en modo lógico para control remoto desde un PC.

Para fines de comunicación tiene una interfaz MODBUS RTU 485, para la adquisición de datos y monitoreo con el sistema SCADA.

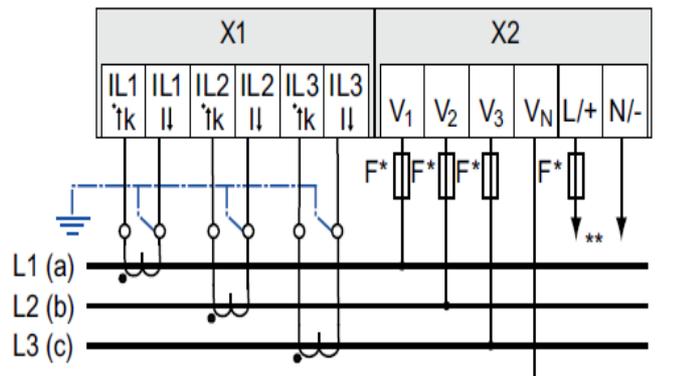
2.12.1 Máxima precisión y seguridad. La precisión de las mediciones que realiza el multimedidor PAC3100 no tiene precedentes en esta clase de instrumentos en la medición de tensiones, intensidades de la corriente, potencias y energías activas, posee una exactitud de 0,2 % referida al valor de medición según la norma IEC 61557-12. De esta manera garantiza que el rendimiento, la seguridad y el comportamiento funcional en servicio de su planta cumplan con los requerimientos de las instalaciones industriales más modernas.

2.12.2 Visualizaciones definidas por el usuario. Un total de cuatro representaciones en pantalla configurables en forma individual le ofrecen un confort adicional. Así podrá visualizar los valores como gráfico de barras o presentación digital para obtener directamente en el instrumento un panorama rápido del estado de su instalación.

En los ejemplos de conexión, el secundario del transformador está puesto a tierra en el borne "I" a modo de ejemplo. La puesta a tierra se puede realizar en los bornes "k" o "l". La puesta a tierra no influye en la medición. Los tipos de conexión indicados a continuación se refieren a la parametrización del dispositivo

2.12.3 Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

Figura 37. Conexión 3P4W sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente



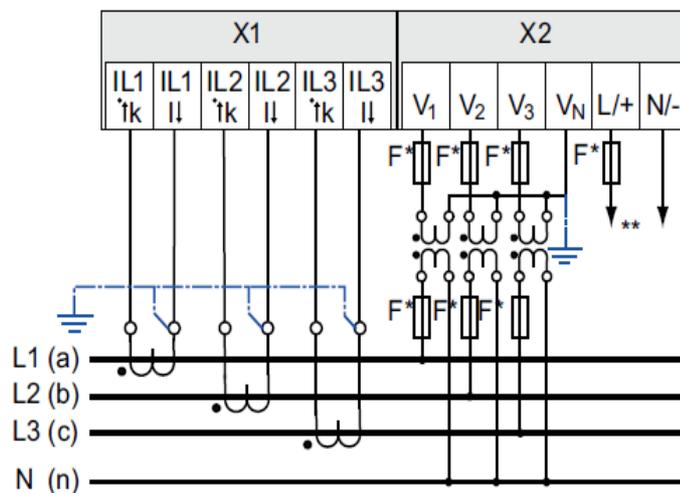
* Los fusibles deben preverse en la instalación

** Conexión de la tensión de alimentación

Fuente: Manual del sistema Siemens

2.12.4 Tipo de conexión 3P4W, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

Figura 38. Conexión 3P4W con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente



Fuente: Manual del sistema Siemens

2.12.5 Transformadores de corriente. Un transformador de corriente es, aquel en el cual el devanado primario se encuentra en serie con el circuito al cual se quiere medir la corriente. En el devanado secundario se conecta en serie los instrumentos normalmente

estos dispositivos tienen muy baja impedancia que prácticamente mantienen el TC en condiciones de cortocircuito en el secundario.

Para que un transformador cumpla su función de indicar exactamente el valor de la corriente circulante en el primario, se debe si es posible el valor de la carga, por lo cual se trata de reducir al mínimo la corriente magnetizante.

2.13 *Red de adquisición de datos.* Lo constituyen las redes que se utiliza para la adquisición de datos y para el monitoreo del tablero.

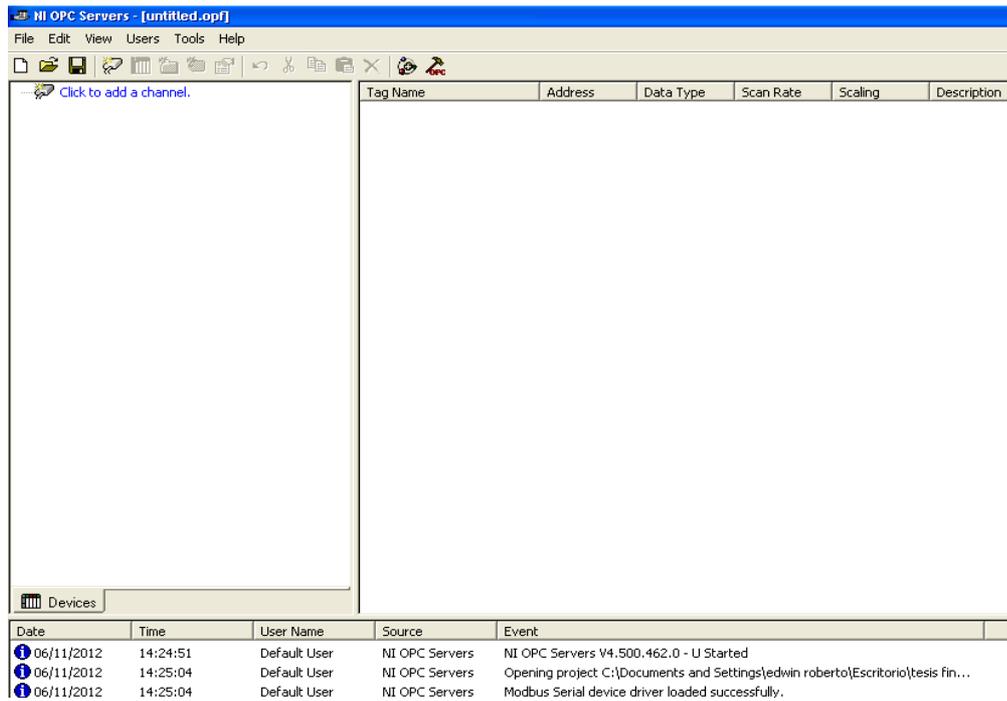
2.13.1 *NI OPC Servers.* El OPC (Ole Process Control) está basado en OLE/COM (ObjectLinking and Embedding/CommonObjectModel), es una aplicación estándar, el mismo que permite el intercambio de datos sin ninguna limitación del tipo de Hardware utilizado. Cada fabricante de Software y Hardware sólo tiene que implementar una interfaz un mecanismo estándar de comunicación, que interconecte de forma libre todo tipo de dispositivos de datos, alarmas, históricos, etc.

Un cliente OPC podrá conectarse, por medio de una red a Servidores OPC proporcionados por uno o varios fabricantes sin ningún tipo de restricción debido al software utilizado.

National Instruments dispone de software de supervisión y control de procesos industriales LabVIEW, el cual, mediante el OPC Servers desarrollado por N.I. permite el enlace y por lo tanto, el intercambio de datos entre cualquier "Cliente/Servidor" sin ningún tipo de restricción.

El NI OPC Server de la National Instruments es el software usado para la adquisición de los voltajes, corrientes, frecuencias, potencias activas y reactivas, las cuales se usarán para realizar la sincronización de los generadores y su respectiva monitorización del comportamiento de proceso de sincronización.

Figura 39. NI OPC Servers



Fuente: Los autores

2.13.2 OPC Quick Client. Este software nos permite verificar la conexión entre los multimedidores SENTRON PAC 3100 y el sistema SCADA.

Figura 40. OPC Quick Client

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
sentron.MEDIDOR 2.FRECUENCIA P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.I1 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.I2 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.I3 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.V1 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.V2 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1
sentron.MEDIDOR 2.V3 P2	Float	Unknown	17:18:47:046	Bad	1

Fuente: Los autores

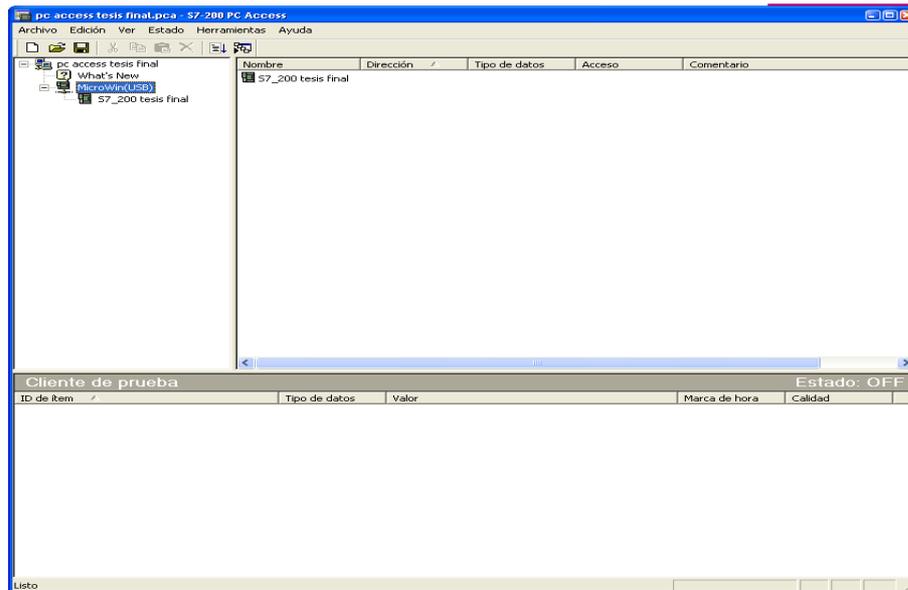
2.13.3 PC Access. El software S7-200 Pc Access es un servidor OPC que permite edición y visualización avanzada de los datos del sistema de automatización utilizado para realizar la comunicación entre Labview y el PLC.

El S7-200 Pc Access se comunica con el sistema scada a través de la conexión PPI Multi-Master por medio del cable USB/PPI Multi-Master inteligente, para el intercambio de datos en tiempo real entre servidores y clientes.

Con el PC Acces configuramos el interfaz tanto del control y la monitorización del PLC por medio del Scada en la figura 41, se muestra la ventana de configuración para la comunicación del PLC en el cual se deben considerar todas las variables que vamos a monitorizar y controlar.

Para realizar la comunicación se deberá realizar el intercambio de variables tanto en el PLC como en el Scada.

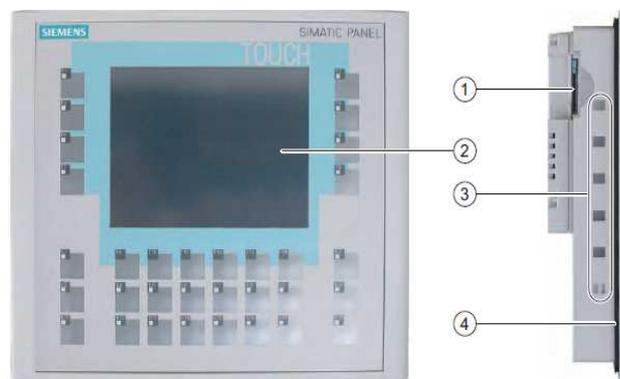
Figura 41. S7-200 Pc Access



Fuente: Los autores

2.14 Estructura del panel operador op177b

Figura 42. Touch OP/177B vista frontal y lateral



Fuente: Manual del sistema siemens

Donde:

1. Ranura para una MultiMediaCard
2. Display/Pantalla táctil
3. Escotaduras para sensores
4. Junta de montaje

Figura 43. Touch OP/177B vista posterior



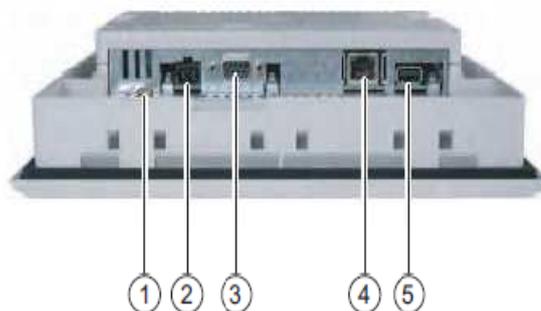
Fuente: Manual del sistema siemens

Donde:

1. Ranura para una MultiMediaCard
2. Placa de características
3. Interruptor DIL
4. Nombre del puerto

2.14.1 Puertos del panel operador op177b.

Figura 44. Puertos del touch OP/177B



Fuente: Manual del sistema siemens

Donde:

1. Conexión a masa para equipotencialidad.
2. Conexión para la fuente de alimentación
3. Interfaz RS -485/RS -422 (IF 1B)

4. Conexión PROFINET (sólo en el OP 177B PN/DP)
5. Conexión USB

2.15 Requerimientos de la unidad de soporte

La fuente de alimentación no-interrumpida (UPS) se diseña para proporcionar energía limpia, no interrumpida con un retraso de conmutación automática aceptable durante cualquier período en que la fuente de alimentación normal es incapaz de suministrar potencia. Los sistemas de UPS protegen el hardware bloqueando disturbios, micro cortes y apagones de la energía. Estos dispositivos se diseñan para mantener el equipo funcionando durante una interrupción de la energía, por lo menos un tiempo suficiente para encender un generador de emergencia. La característica más importante de un sistema de UPS es su tiempo de carga, es decir cuánto tiempo proporcionará la reserva de energía durante una interrupción. La mayoría de los sistemas de UPS sostendrán el equipo por cerca de 10 minutos, que es generalmente un lapso de tiempo suficiente como para activar un generador de emergencia con seguridad pero no bastante tiempo como para soportar con un apagón prologado de 60 a 90 minutos.

2.16 Relés de supervisión

2.16.1 Relé de voltaje. La función de los relés de voltaje es supervisar la calidad del voltaje de la acometida como el de los generadores, todos los relés de voltaje son ajustables, pudiendo ser el ajuste por medio de potenciómetros analógicos o bien de una interfaz digital para el usuario.

Entre las magnitudes medidas están: una ventana ajustable de tensión, la frecuencia, la secuencia de fases y también la presencia de las tres fases. Por lo regular la salida hacia el controlador lógico programable es un contacto libre de potencial que puede ser, ya sea normalmente cerrado o normalmente abierto, sin embargo en algunos casos la salida puede ser discreta, como una señal analógica de corriente o de voltaje (0-10 V ó 4-20mA) o bien, como una señal de campo por medio de un BUS de comunicaciones, en todo caso es el controlador lógico programable el encargado de interpretar dicha señal y tomar una decisión.

2.16.2 Relé de frecuencia. Al igual que el relé de voltaje, el relé de frecuencia puede proporcionar una salida digital o bien una discreta, puesto que la frecuencia a medir es relativamente pequeña medirla con exactitud es un tema de vital importancia, por tanto la medición es indirecta, por medio de un oscilador a cristal de gran exactitud. La salida como bien se ha dicho puede ser un contacto abierto/cerrado o bien una salida de voltaje (0-10 V) o corriente (4-20mA) usualmente la resolución es 12 bits. La determinación precisa de la frecuencia de los generadores cobra importancia en la sincronización de los generadores y en los efectos transitorios debidos a incrementos o cortes de carga, en el caso de los incrementos de carga todas las partes de un sistema de potencia se deterioran si se excede la sobrecarga disponible en los generadores.

2.16.3 Relé de protección contra potencia inversa. El relé de protección contra potencia inversa cumple con la función de evitar que uno de los generadores actúe como carga de la barra, detecta la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje, cuenta con un retardo para evitar que el generador se dispare cuando produce tan solo un transitorio, recordemos que cuando un generador arrastra a otro se produce un intercambio de corrientes reactivas.

2.16.4 Relé Falla Tierra. El relé de falla a tierra cumple la función de determinar si existe una fuga de corriente en alguna de las fases, tanto del tablero principal, como de los tableros de distribución, el procedimiento determinando el monto de la corriente que debería de retornar por el neutral, puesto que la corriente del neutral es la suma algebraica de las corrientes de cada una de las fases, en caso de ser menor la corriente de neutral es posible que exista una corriente de arqueo en alguna de las líneas. Determinar, si ocurre una descarga a tierra es importante puesto que dicha descarga puede provocar un daño en el aislamiento de conductores o en el aislamiento de las cargas, el medido de corriente diferencial emplea cuatro transformadores una para cada fase y uno para el neutral, la magnitud de la corriente de falla a tierra se ajusta ya sea en amperios o bien como porcentaje de la corriente de neutral.

CAPÍTULO III

3. CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE SINCRONIZACIÓN Y TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1 Propósito

El propósito es siempre mejorar el nivel académico e institucional, la construcción del tablero para la sincronización de generadores en paralelo y su visualización con la herramienta de LabVIEW; está enfocada como un medio didáctico para el laboratorio de máquinas eléctricas y control industrial en beneficio del estudiante y la institución.

Los estudiantes podrán realizar y comprender las prácticas con mayor interés y observación, disminuyendo la dificultad en obtención de datos, mediciones o cableado de la práctica.

Para el diseño y construcción del tablero de transferencia y sincronización de generadores síncronos, se ha tomado en cuenta que, debe ser o estar constituido de tal forma que facilite el aprendizaje e ilustre claramente las partes más importantes del tema en estudio.

También que se acople perfectamente a los módulos que se encuentran en el laboratorio de Control Industrial de la Facultad de Mecánica, tomando en cuenta las normas establecidas para la instalación de los diferentes dispositivos eléctricos–electrónicos que se requiera para realizar las prácticas.

3.2 Modos de operación del tablero de transferencia y sincronización.

De acuerdo al diseño propuesto en el proyecto, el tablero de sincronización y transferencia automática de energía y cuenta con dos modos de operación:

1. Modo manual
2. Modo automático

3.2.1 *Modo manual.* Durante este modo de operación el sistema de control enciende los generadores, activa los disyuntores y la carga de forma manual, se realiza la retransferencia de recarga a la red, se desconecta cada generador de la barra común mediante sus disyuntores.

Se optó por este método de trabajo, para realizar un encendido periódico que permita verificar que los generadores se encuentren en perfecto estado para actuar cuando se suscite una falla de red de la empresa eléctrica.

Además cuando exista una falla o falta de comunicación entre la red de comunicación e intercambio de datos con el PG. Cabe recordar que en aplicaciones reales todas las operaciones se realizaran de forma manual

3.2.2 *Modo automático.* Durante este modo de operación se aplican las características STAND BY; es decir, en caso de falla de red el sistema de control realiza las maniobras de acoplamiento en paralelo y sincronismo de generadores,

La maniobra conmutación y reparto de carga con detección de la cantidad de generadores necesarios para abastecer la carga.

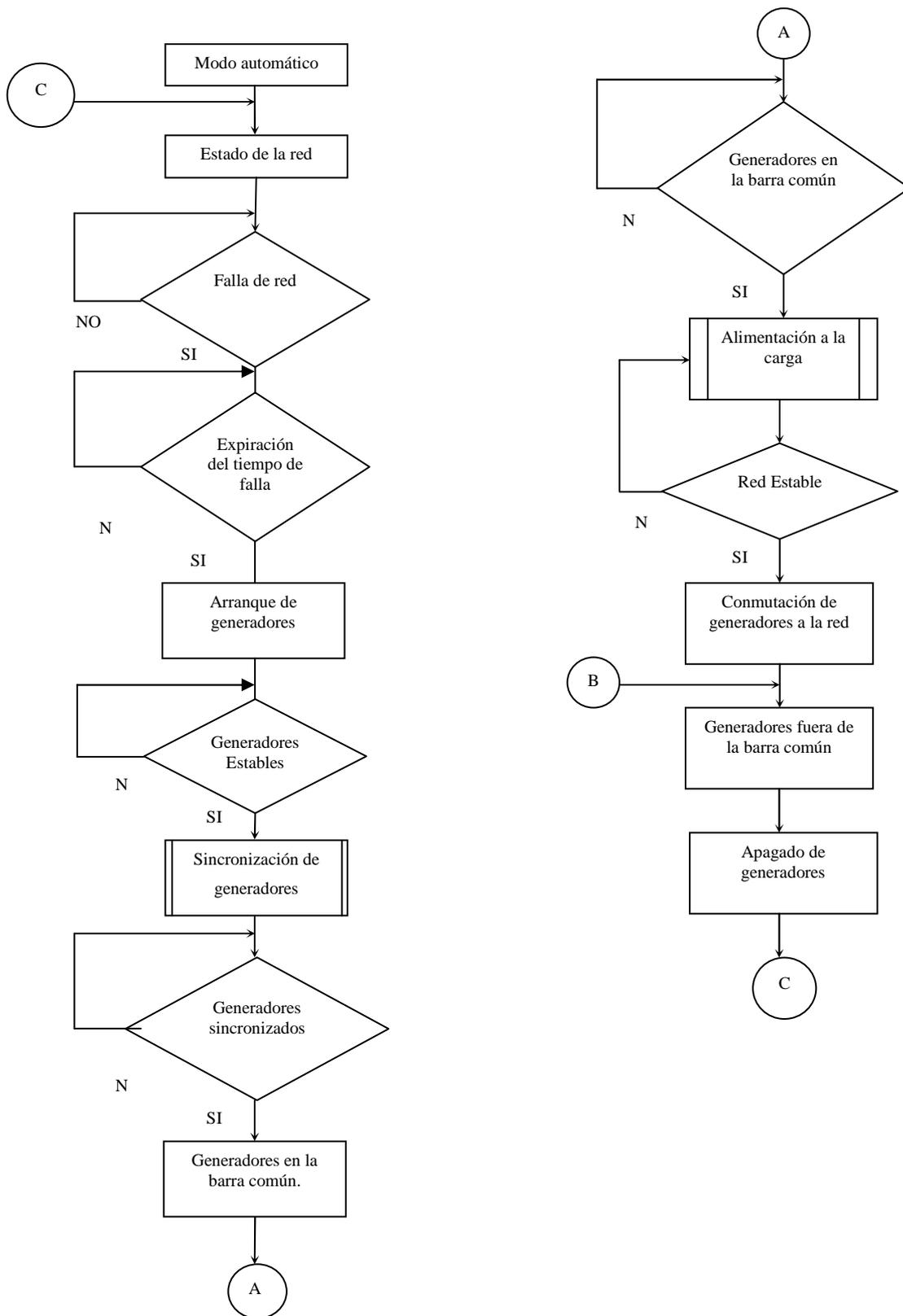
Así también, cuando retorna la red, se conmuta de la energía auxiliar hacia la energía principal y se desacoplan los generadores de la barra común.

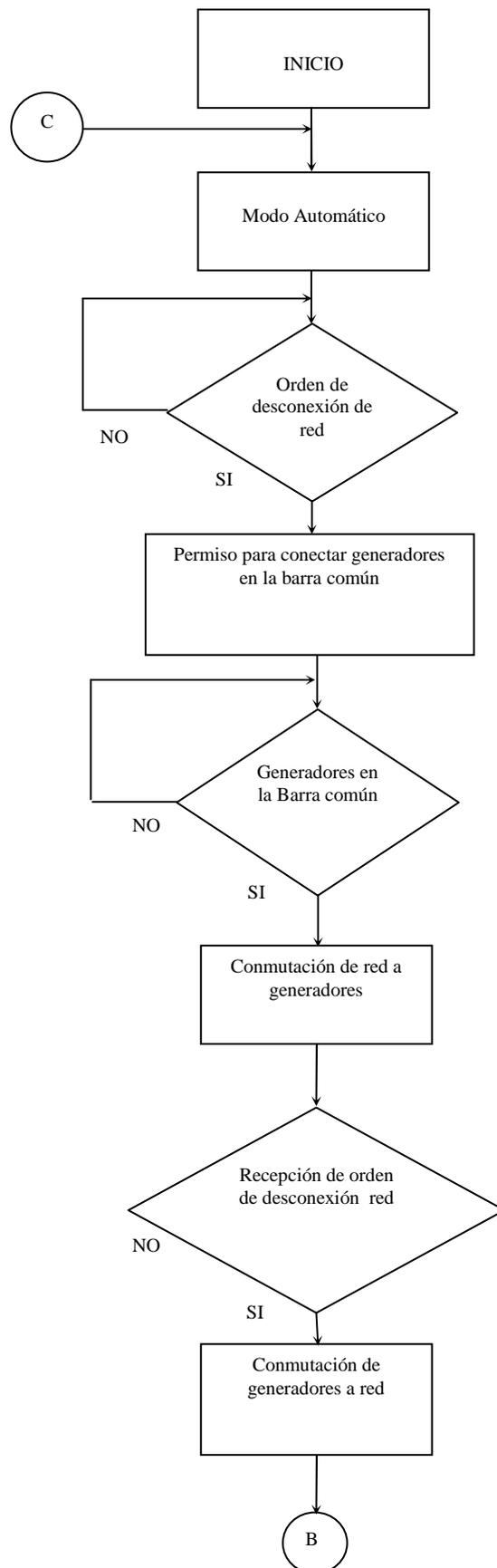
Los generadores están disponibles para alimentación de la carga de haber una falla de red, los generadores se encienden uno a continuación de otro mediante un tiempo controlado por un temporizador programado en el PLC y una vez sincronizado y funcionando en paralelo se acoplan a la barra común cerrando su disyuntor respectivo.

Inmediatamente se realiza la maniobra de conmutación de red a los generadores con la cual toman la carga.

Al retorno de la red el conmutador cambia de posición ejecutando la maniobra generadores-red y los generadores se desacoplan de la barra común.

Figura 45. Flujoograma de transferencia y retransferencia automática



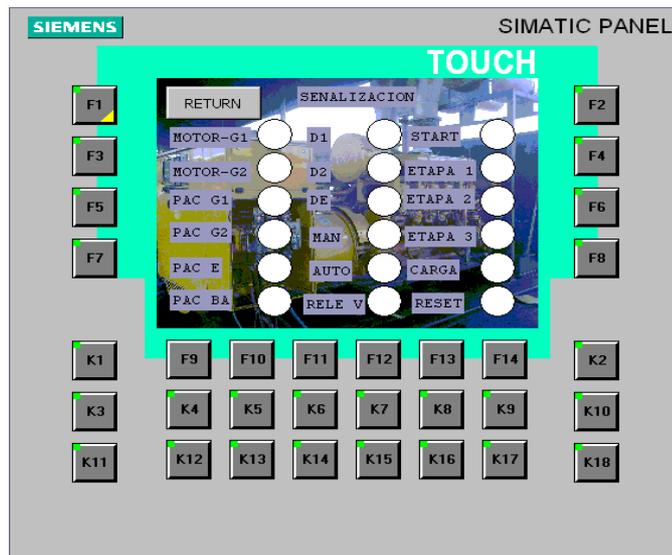


Fuente: Los autores

3.3 Sistema de señalización y alarmas [2]

El tablero de transferencia automática de energía y sincronización de generadores de emergencia cuenta con alarmas visuales y luces de señalización para conocer el estado de cada uno de los generadores y el sistema en general para conocimiento del operador la misma que se muestran en la siguiente imagen de la pantalla.

Figura 46. Imagen de señalización en la Touch



Fuente: Los autores

3.3.1 *Generador Encendido.* Para indicar este estado se emplea una luz verde de señalización que permite conocer si el generador ha sido encendido. Esta se activa mediante un contacto del relé auxiliar de encendido.

3.3.2 *Disyuntor Cerrado.* Para indicar este estado se emplea una luz verde de señalización que permite conocer si el disyuntor ha sido conectado a la barra común. Esta se activa mediante un contacto de relé auxiliar.

3.3.3 *Falla de Generador.* La luz indicadora de falla se activa cuando se detecta cualquier situación de falla o sin no arranca, baja frecuencia, bajo voltaje, o sobre frecuencia en el generador. La luz roja de señalización es un indicativo de una grave

falla en el generador dando como resultado la desconexión automática de su correspondiente disyuntor y apagado inmediato del generador.

3.3.4 Red. Para conocer el estado de la red se emplea una luz verde de señalización que se enciende cuando la red está presente. Para lo cual utilizamos el relé de supervisión de voltaje.

3.3.5 Voltajes, frecuencias y velocidad de los generadores. Se activarán unas alarmas visuales de color rojo en la pantalla táctil cuando sobrepase los rangos establecidos.

Tabla 3. Rangos de magnitudes

Magnitudes	Mínimo	Máximo
Frecuencia	57 Hz	61 Hz
Voltaje	100 V	130 V
Velocidad	1710 rpm	1830

Fuente: Los autores

3.3.6 Falla de Carga. Al momento que se encuentre activada o desactivada la carga se mostrara una señal visual que indicará el estado de la carga

3.4 Circuito de mando para una transferencia con sincronización automática

Cumple la misión de sincronizar y transferir los generadores a la carga en el momento que el suministro de energía externo falle, el mando es por sí mismo un conjunto de aparatos e instrumentos que realizan el control del sistema.

El circuito de mando está compuesto por:

1. Periferia
2. Control
3. Medición
4. Red de adquisición de datos
5. Visualización
6. Actuadores.

3.4.1 Periferia. La periferia está compuesta por una multitud de relés, los más comunes son: voltaje, frecuencia, potencia inversa, secuencia negativa, diferencial; además de los elementos antes mencionados se agrega el sincronoscopio y el relé de verificación de sincronía.

3.4.2 Control. El control está constituido por el controlador lógico programable propiamente dicho, que para nuestro caso hemos seleccionado el PLC S7 200XP.

A primera impresión se pensaría que un PLC puede controlar tanto la velocidad de los generadores, sincronizarlos y además; controlar el flujo de carga. Lo anterior supone una integración total del funcionamiento en la transferencia.

En la actualidad se hace común el empleo de controladores lógicos programables también llamados PLC para el control de un sin número de procesos, sin embargo, la sincronización de generadores conlleva ciertas predisposiciones que dejan fuera de esta aplicación a muchos PLC, por ejemplo: todos los módulos de salidas y de entradas deben ejecutar de forma rápida su objetivo, en particular los módulos de entradas analógicas, deben de trabajar en tiempo real y no de forma multiplexada.

El funcionamiento de la sincronización y transferencia manual y automática está regido por el algoritmo dentro del PLC que realiza el control, existen algunas directrices que se deberán seguir para garantizar el funcionamiento sea el adecuado. La programación lo podemos apreciar en el anexo C

Lo anterior no descarta el uso de un PLC para sustituir el esquema de relevación en interruptor automático de transferencia, en especial el control en todos los modos de arranque, operación, funcionamiento de generadores, comunicación con la pantalla táctil y además con el sistema SCADA.

3.4.3 Medición. Se ha utilizado el medidor de potencia SENTRON PAC3100 de la conocida marca siemens. Dicho medidor nos permite visualizar todos los parámetros relevantes de una red de distribución de energía eléctrica en baja tensión. Las corrientes deben medirse a través de transformadores de corrientes, en nuestro caso este

multimedidor es el más adecuado para realizar las mediciones de las magnitudes que nos interesan para la sincronización en lugar de utilizar un instrumento para realizar la medición de cada una de las magnitudes tenemos en un solo modulo la medición de tensión, frecuencia, corrientes, potencias, entre otras magnitudes.

3.4.4 Red de adquisición de datos. Lo constituye las redes que se utiliza para la adquisición de datos y para el monitoreo con el sistema scada.

3.4.5 Visualización. En general las interfaces de usuario sirven para visualizar el funcionamiento del sistema, además de su parametrización, son tres los sistemas de visualización y manejo de datos más comunes, el primero es el panel de operador que es una pantalla con una representación gráfica del sistema donde el funcionamiento del sistema se puede parametrizar, visualizar el funcionamiento de la máquina además de desplegar un conjunto de mensajes de alarma que funcionan en conjunto con señales de alerta dentro del controlador lógico programable.

El segundo es el SCADA, este es un sistema mucho más completo, puesto que es un programa de computación puede emplear los recursos de la computadora, es capaz de guardar datos de operación del equipo, por tal razón es útil para guardar el historial de funcionamiento de los generadores, y el historial de la calidad de servicio de energía eléctrica, la utilización del SCADA permite la posibilidad de hacer servicio remoto al sistema por completo, solo es necesaria la adición de módulos de software para poder acceder de forma remota al sistema de adquisición de datos. Además del SCADA están los módulos de comunicación para controlador lógico programables.

3.4.6 Actuadores. Los actuadores están constituidos por los relés de interface y contactores gobernados por el PLC, actuando directamente en el circuito de potencia del tablero de transferencia y sincronización.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1 Desarrollo de HMI en Labview

El programa desarrollado en LABVIEW permite conocer los valores en tiempo real de las magnitudes eléctricas como voltaje, frecuencia, intensidades y más parámetros que producen los generadores y la empresa eléctrica. Además monitorea el estado del PLC.

Todo esto se logra mediante la utilización del interfaz OPC (Ole forProcess Control) que es una aplicación estándar de comunicación, la misma que permite el intercambio de datos sin ninguna limitación de tipo de hardware usado.

4.1.1 Configuración del NI OPC servers. Este software es usado como interfaz entre Labviewy los multimedidores Sentron pac3100, los cuales permiten una comunicación modbus la red de comunicación MODBUS RS-485 del sentron pac, se acopla a un convertidor RS 232 -485, el cual está unido a un cable convertidor RS 232 serial a usb que finalmente llega a un puerto COM de la computadora.

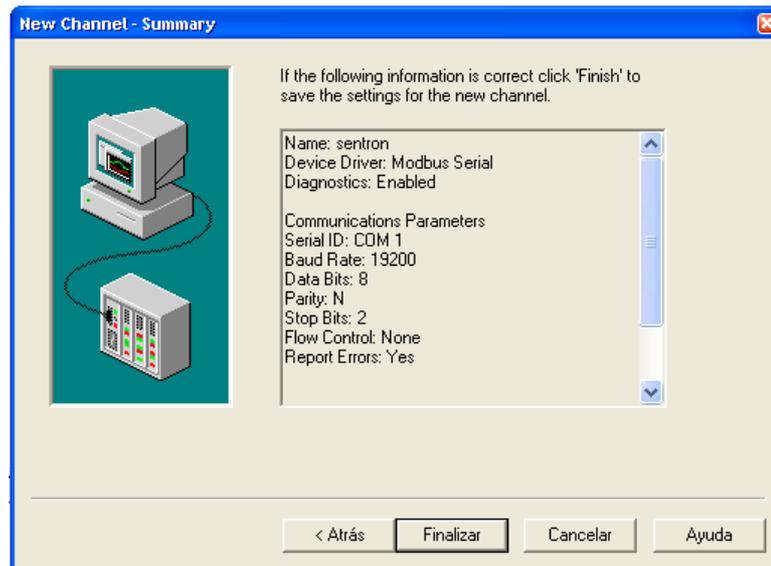
Para la configuración de NI OPC Servers empezamos añadiendo un canal con el nombre de “sentron”. Seleccionamos los parámetros de comunicación de acuerdo a la configuración tanto del sentron pac3100 como del adaptador serial. Este canal facilita la comunicación del computador con el sentron pac3100.

Figura 47. Canal de comunicación sentron



Fuente: Software OPC server

Figura 48. Ventana de resumen de la configuración del canal del NI OPC Servers

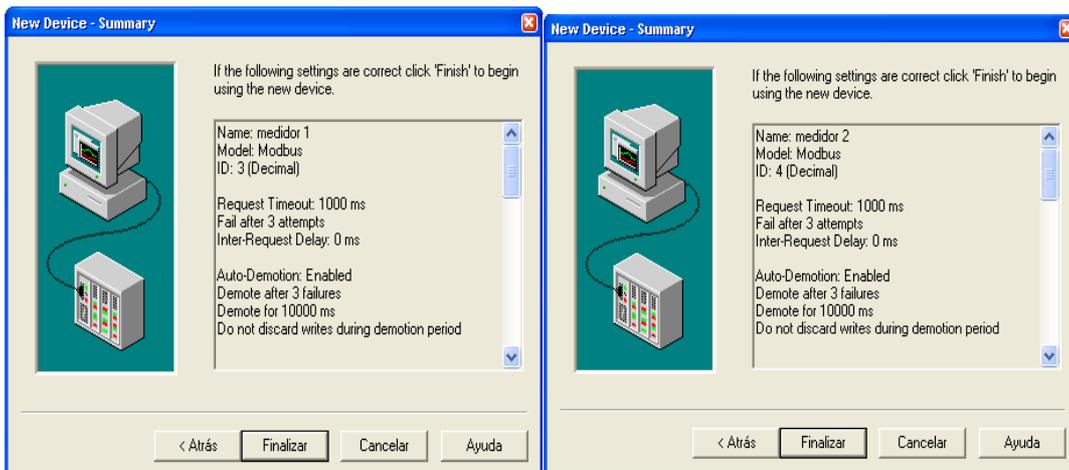


Fuente: Software OPC server

Puesto que en un canal de comunicación se pueden conectar varios equipos, es necesario agregar un dispositivo.

Al agregar cada dispositivo seleccionamos los parámetros bajo los cuales los medidores sentron pac3100 van a realizar sus funciones.

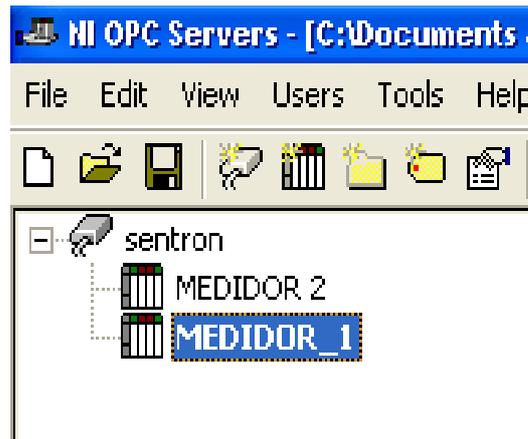
Figura 49. Ventana de resumen de la configuración de dispositivos



Fuente: Software OPC server

Nuestro canal de comunicación posee dos dispositivos denominados “MEDIDOR 1” Y “MEDIDOR 2” que corresponden al sentron pac3100-1 y al sentron pac3100-2 que irán alternándose según las necesidades y las fuentes que vayamos a conectar para realizar la sincronización y transferencia.

Figura 50. Dispositivos de canal de comunicación sentron



Fuente: Software OPC server

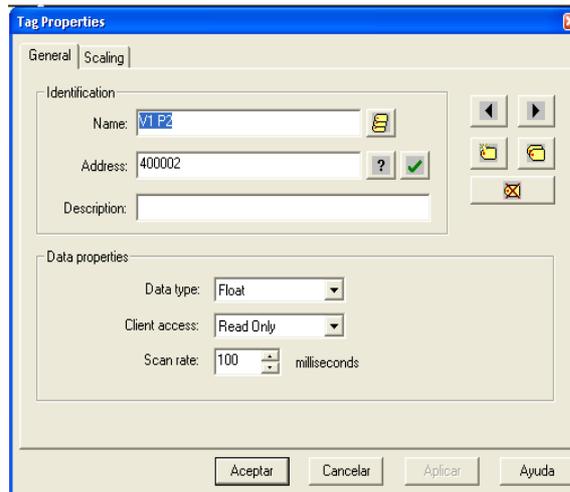
En este punto ya está configurada la comunicación de los dispositivos sentron pac3100 con el computador mediante NI OPC servers; es decir que desde un cliente OPC se podría monitorear las entradas, salidas, y parámetros del sistema del sentron pac.

Sin embargo es conveniente agregar la etiqueta estática con sus respectivas propiedades para obtener los parámetros eléctricos que necesitamos para la sincronización y transferencia de los generadores emergentes como son voltajes, frecuencias de cada una de las fuentes que vamos a conectar.

Para la configuración de cada etiqueta estática elegimos el nombre de acuerdo a nuestra conveniencia, la dirección nos suministra el manual del sentron pac 3100, el tipo de dato debe ser de tipo flotante o “*Float*”.

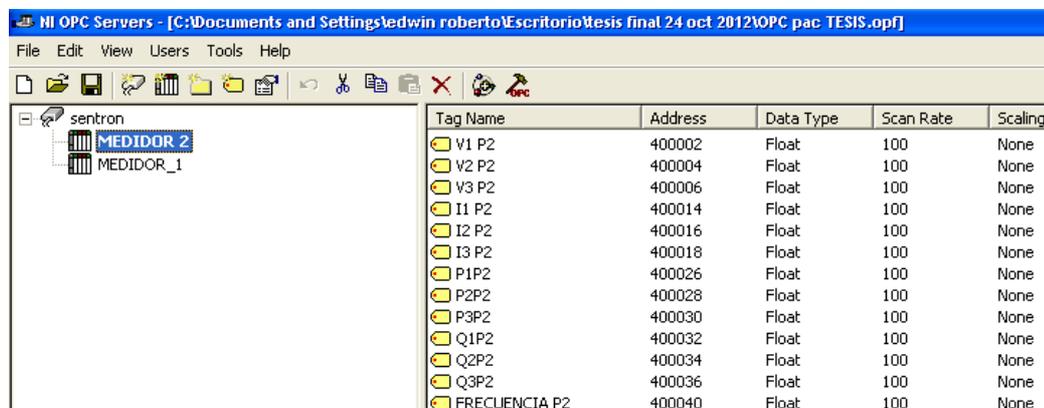
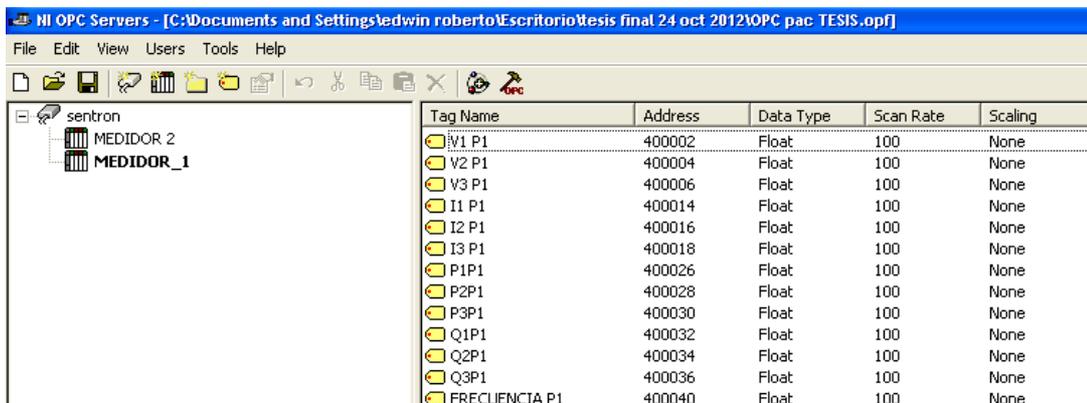
Con la creación de las etiquetas estáticas se culmina con la configuración del NI OPC Servers el cual utilizaremos posteriormente para la creación de las librerías del Project explorer de Labview.

Figura 51. Configuración de la etiqueta estática



Fuente: Software OPC server

Figura 52. Configuración del NI OPC Servers

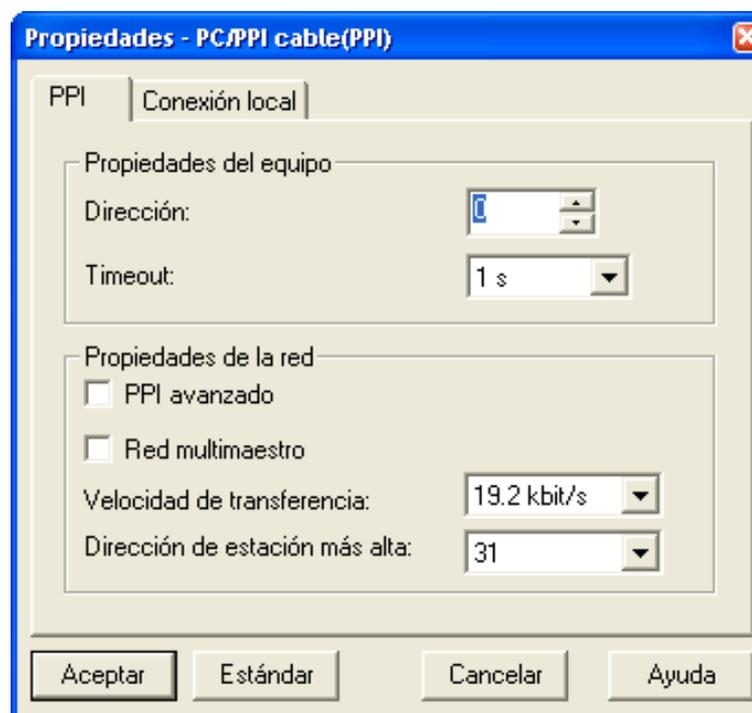


Fuente: Software OPC server

4.1.2 Configuración OPC S7 200 (Pc Access). Es un servidor para CPUs S7-200, este interactúa con cualquier cliente OPC estándar y soporta OPC Data Access. Nos permite monitorear las acciones del PLC para determinar su estado.

En el enlace con el PLC determinamos las propiedades del cable PPI donde es importante seleccionar la velocidad de comunicación adecuada para no tener problemas posteriormente.

Figura 53. Propiedades del cable PC/PPI



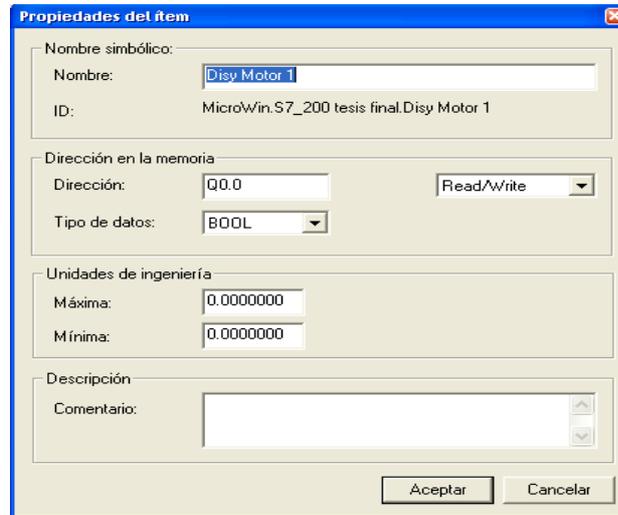
Fuente: Software OPC server

Al crear un nuevo PLC seleccionamos el nombre (S7_200 tesis final) y la dirección (2) del autómata.

Las etiquetas estáticas se configuran de manera similar que las de la NI OPC servers, con nombre dirección, tipo de dato, etc. Los ítems seleccionados nos permiten monitorear en Labview el estado de los disyuntores, selección de pac, motores y la carga.

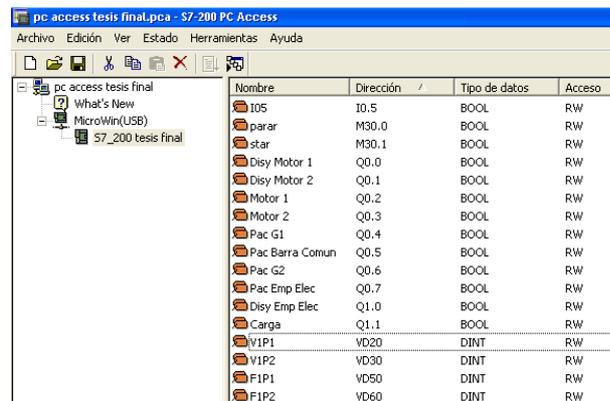
De la misma manera nos permite escribir el PLC los datos de voltajes, frecuencia que serán mostrados en la pantalla táctil.

Figura 54. Propiedades de la etiqueta estática en el PC Access



Fuente: Software OPC server

Figura 55. Configuración del OPC S7_200 (Pc Access)



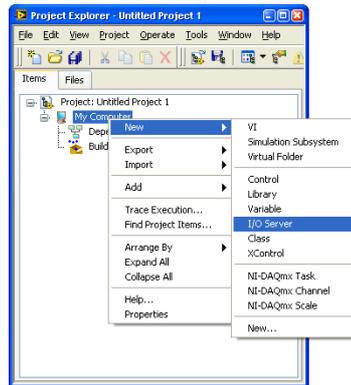
Fuente: OPC S7-200 Pc Acces

Finalmente guardamos el proyecto y está listo para ser agregado a la librería del Project explorer de Labview.

4.2 Configuración de HMI en Labview.

Para la configuración del HMI en Labview iniciamos creando un nuevo proyecto en el cual a través del I/O servers creamos las librerías tanto del NI OPC Servers como del OPC S7_200.

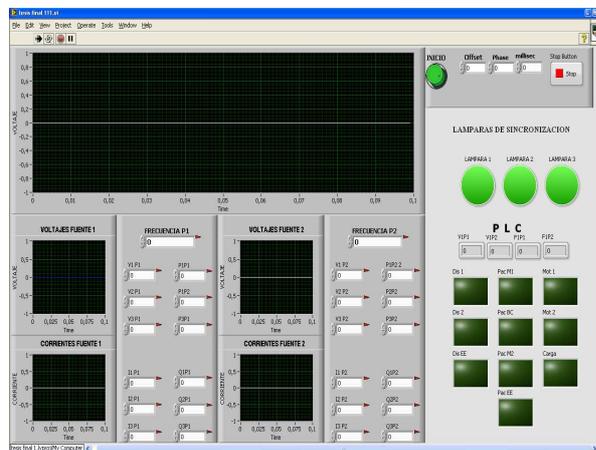
Figura 56. Creación del Project Explorer en Labview



Fuente: OPC S7-200 Pc Acces

ElVI desarrollado en Labview permite la visualización de los voltajes, frecuencias, intensidades, potencias reales, potencias reactivas. La gráfica de sincronización, voltaje vs. frecuencia e intensidad vs. frecuencia.

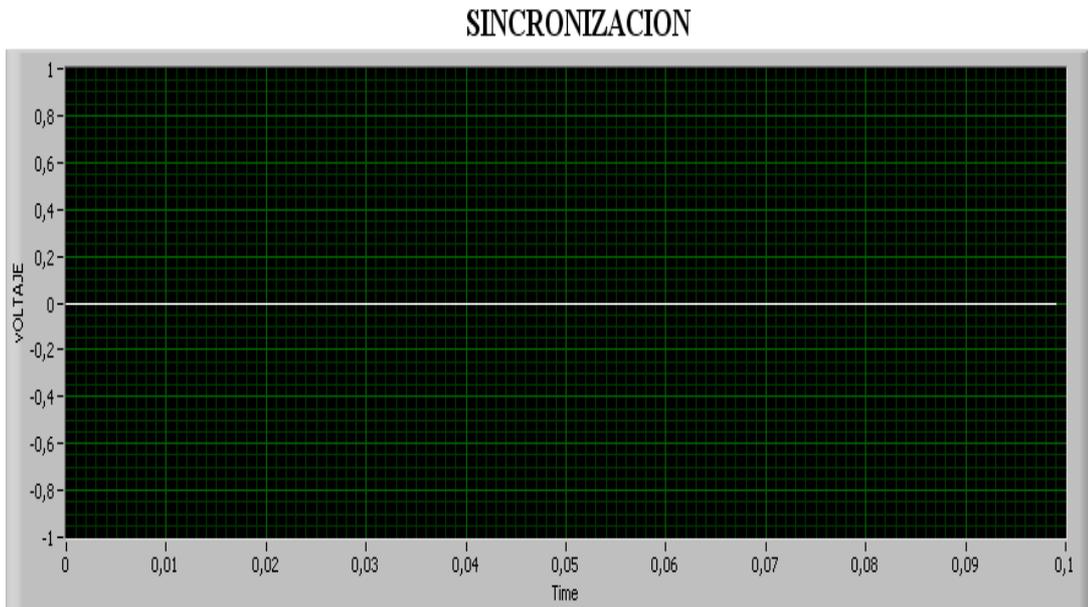
Figura 57. Configuración del VI en Labview



Fuente: Software Labview

4.2.1 Gráfica de sincronización. El WaveformGraph es una función de Labview que nos permite visualizar las ondas senoidales de los generadores o de la empresa eléctrica. En esta gráfica vamos a observar la sincronización de dos fuentes diferentes (EE-G1, G1-G2 o BC-EE). Esto depende del selector de sincronización en la pantalla táctil.

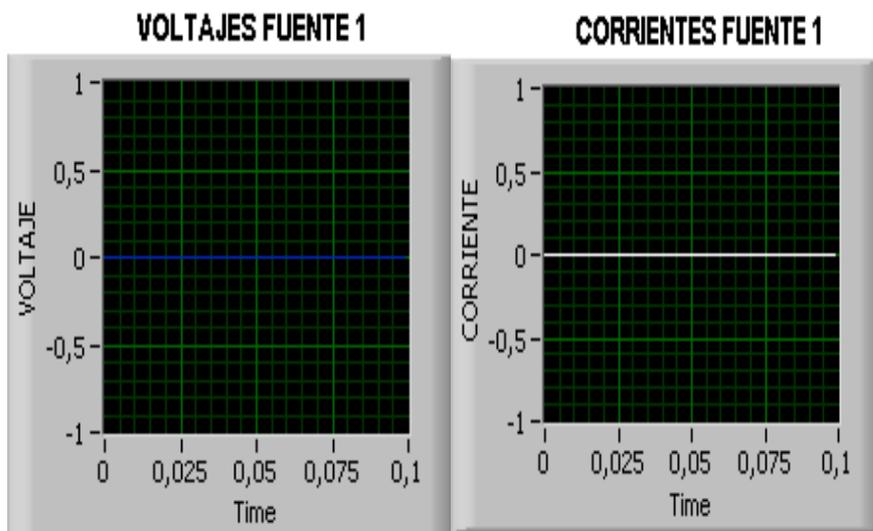
Figura 58. Gráfica de sincronización de dos fuentes



Fuente: Software Labview

4.2.2 Gráfica de voltaje e intensidad. Para graficar las ondas senoidales de los voltajes y frecuencias y las intensidades tomadas de cada una de las fuentes utilizamos la función WaveformGraph.

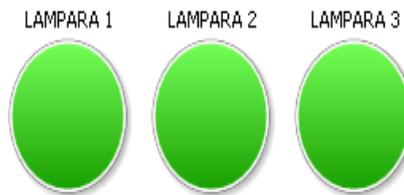
Figura 59. Gráficas de voltaje y corrientes



Fuente: Software Labview

4.2.3 Lámparas de sincronización. La función round led nos permite simular la sincronización de dos fuentes a través del método de las lámparas apagadas.

Figura 60. Lámparas de sincronización

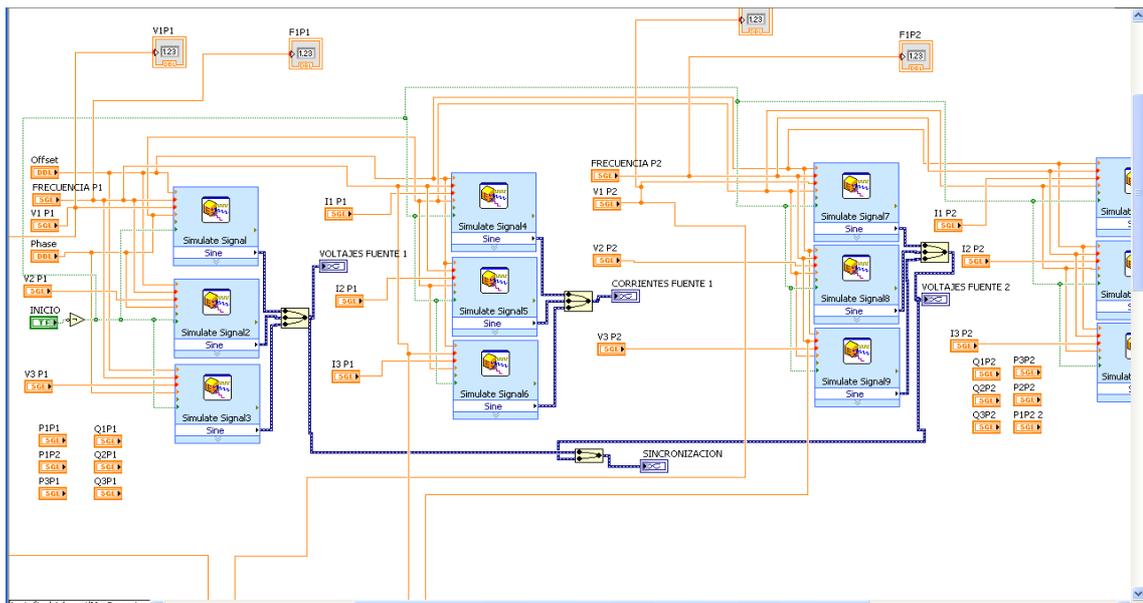


Fuente: Software Labview

4.2.4 Visualización de magnitudes eléctricas. Para la visualización de los voltajes, frecuencias, potencias reales, potencia reactiva e intensidades se utiliza la funciones numeric control. Estas funciones son arrastradas directamente desde las librerías del OPC creadas previamente en el Project explorer.

4.3 Configuración del diagrama de bloques.

Figura 61. Configuración del diagrama de bloques



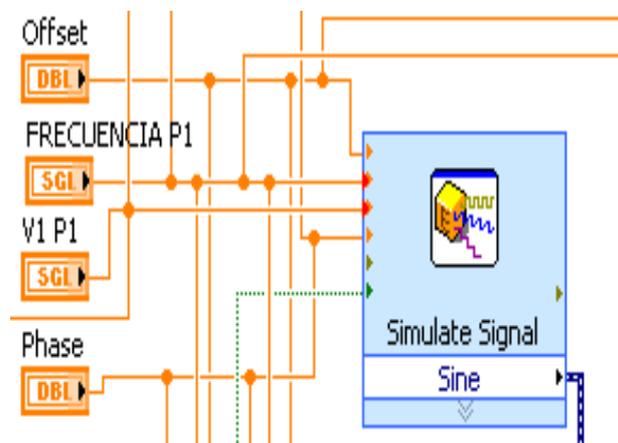
Fuente: Software Labview

En el diagrama de bloques las funciones de Labview permiten enlazar las diferentes operaciones y librerías del OPC para desarrollar del programa en Labview.

4.3.1 *Función `simulatesignal`.* Esta función permite graficar la onda sinusoidal para los voltajes, intensidades y la sincronización. Por lo que ha sido usada frecuentemente dentro de la configuración de diagrama de bloques.

- La entrada *Offset* permite cambiar el punto del eje de las abscisas. En el panel frontal disponemos de un *numeric control* para variar este punto.
- La entrada de *Frequency*, es la frecuencia que la obtenemos a través del NI OPC servers.
- La entrada *Amplitude*, la asignamos para el voltaje que se lee a través del NI OPC Servers.
- La entrada *ResetSignal*, nos permite actualizar las gráficas disponibles en el panel frontal.
- La salida *Sinese* conecta a la función *mergesignal*.

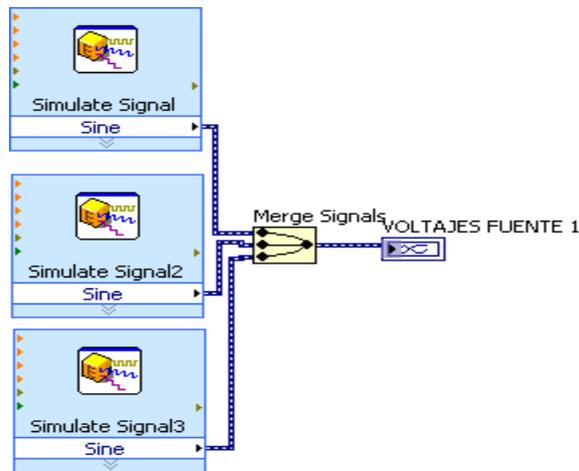
➤ Figura. 62. Función `SimulateSignal`



➤ Fuente: Software Labview

4.3.2 *Función `MergeSignal`.* Esta función une varias salidas de la función `SimulateSignal` subsiguientemente a las funciones `WaveformGraph` de los voltajes, intensidades, frecuencias de cada una de las fuentes para monitorizar y controlar el proceso de sincronización.

Figura 63. Función MergeSignals

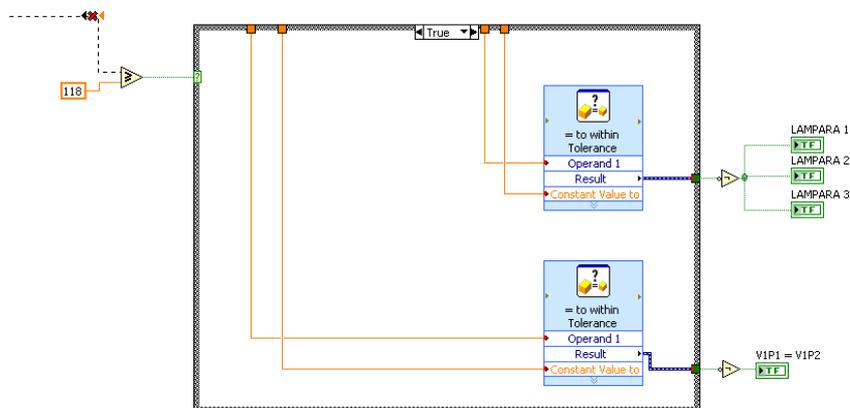


Fuente: Software Labview

4.3.3 Función Case Structure. Esta función selecciona los casos según sea verdadero o falso. El caso verdadero compara los valores de frecuencia de dos fuentes diferentes con una tolerancia de 0,005Hz si las frecuencias están dentro del rango de tolerancia las lámparas de sincronización se apagan en el panel frontal.

Para los voltajes el rango de tolerancia es de 0,05V y si los valores se encuentran dentro de éste, la lámpara en el panel frontal se apaga. Este caso se activa cuando el valor del voltaje es mayor o igual a 118V.

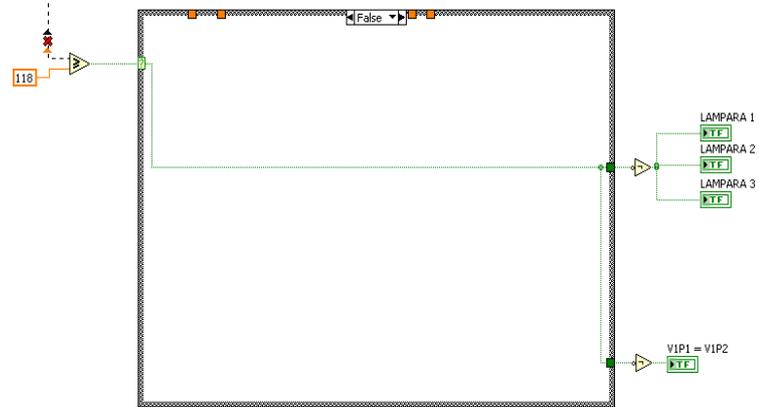
Figura 64. Estructura de caso verdadero



Fuente: Software Labview

Se selecciona el caso falso cuando el voltaje es menor a 118V. En éste caso las lámparas de sincronización y la lámpara de igualdad de voltajes permanece encendida.

Figura 65. Estructura de caso falso



Fuente: Software Labview

CAPÍTULO V

5. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL TABLERO DE TRANSFERENCIA SINCRONIZACIÓN

5.1 Consideraciones para el montaje del tablero de transferencia y sincronización

Para el montaje e instalación del tablero de transferencia y sincronización de energía y sincronización de generadores de emergencia, se recurrieron a las normas del Código Eléctrico Nacional (NEC) tanto para las especificaciones del tablero de control como las referencias a los sistemas de emergencia.

La norma NEC 702 Optional Standby System (sistemas de reserva) tiene por finalidad proteger las instalaciones o propiedades públicas o privadas cuando la seguridad de la vida humana no depende del funcionamiento del sistema y suministrar energía eléctrica generada en sitio o determinadas cargas de modo automático. La que se han aplicado de la siguiente forma:

- El sistema de reserva tiene la capacidad y el régimen adecuado para el funcionamiento simultáneo de todas las cargas fijadas seleccionadas para este fin.
- El equipo de transferencia está diseñado e instalado de modo que impide la interconexión accidental de las fuentes de alimentación normal y de reserva al hacer cualquier operación.

5.2 Características y dimensiones de los principales instrumentos en el diseño del tablero de transferencia y sincronización

- Tablero de transferencia automática. Acero negro con pintura electrostática; 800 x 1000 x 300 mm.

- Sentron pac3100. Multimedidor digital para medir las variables eléctricas de los generadores para su sincronización; 96 x 96 x 51 mm.
- Pantalla táctil siemens op 177b. Pantalla gráfica donde se puede parametrizar, visualizar el funcionamiento de la máquina, funciona en conjunto con el PLC, 240 x 210 mm.
- Controlador lógico programable (PLC). Controla procesos en tiempo real; 130 x 85 mm.
- Fuente de 24 Vcc. siemens. Alimentación de dispositivos que requieren corriente continua para su funcionamiento; 80 x 85 mm.
- Variador de frecuencia. Arranca la carga; 150 x 90 x 116mm.
- Transformadores de corriente. Relación de corriente de carga a medir en el sentron pac; 40 x 75 x 70mm.
- Relés de interface. Protege al PLC de cortocircuitos en los contactores; 16 x 60mm.
- Contactores. Actúan según la programación del PLC en el circuito de potencia; 40 x 60 mm.
- Breakers. Protección para los componentes del tablero. 45 x 75 mm.
- Barra común. Sincronización de generadores y suministro de energía a la carga; 135 x 70 mm

5.3 Disposición de los equipos en el tablero de transferencia y sincronización

La disposición de los diferentes equipos empleados para el tablero de transferencia y sincronización se detalla en los planos.

5.4 Montaje e instalación

El tablero de transferencia automática de energía y sincronización de generadores de emergencia, está construido de acuerdo a las especificaciones NEMA 12, para uso en interiores, con protección contra polvo, goteo de líquidos no corrosivos y caída de suciedad. Este tablero está hecho de acero negro con pintura electrostática no conductiva cuyas dimensiones son 800 X 1000 x 300 mm, está dividido en dos secciones que separa la sección de fuerza de la sección de control.

5.4.1 *Montaje de equipo de control.* La alimentación de control no supera los 600 V y 1000 VA, de acuerdo a la norma NEC 725-21 Class 1, class 2 and class 3 remote control signalling and powerlimitcircuit.

La distribución de los equipos se basó en la norma NEC 725-24 (Class 1, class 2 and class 3 signalling and powerlimitcircuit).

La sección de control contiene los siguientes elementos ubicados dentro del tablero: PLC, detector trifásico de red, contactores, transformadores de potencial, transformadores de medición, disyuntores de protección, relés, borneras

El conductor para el circuito de control es numero 16 AWG, ya que las cargas alimentadas no superan las capacidades de corriente este conductor tiene un sistema de aislamiento adecuado para 600V THW.

5.5 Puesta a tierra

Todos los sistemas eléctricos están conectados a tierra para limitar el voltaje existente en los circuitos de señalización, líneas de alimentación y estabilizar el voltaje durante su operación normal. Todos los equipos construidos de material conductivo están conectados a tierra para limitar el voltaje a tierra de estos materiales.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con un adecuado diseño eléctrico, también el estado de los equipos y elementos que están ubicados en el Tablero. Se obtuvieron en las pruebas las adecuadas mediciones indicadas en la práctica.

La investigación realizada sobre los parámetros de sincronización y los dispositivos de comunicación nos permitió entender su composición, estructura y funcionamiento, en sus diferentes etapas para llevar a cabo la transferencia y sincronización de generadores emergentes.

La programación en el PLC se realizó tomando en cuenta la disponibilidad que tenemos en los generadores del laboratorio de Maquinas eléctricas, y las facilidades de comunicación entre los diferentes dispositivos de comunicación pero con la finalidad de asimilar a un proceso de aplicación industrial razón por la cual se realizó diferentes modos de funcionamiento.

La construcción del tablero es de gran utilidad, para tener un monitoreo constante de los parámetros eléctricos que intervienen en el proceso de sincronización y transferencia y nos permite tomar las respectivas acciones para llevar a cabo una práctica.

El tablero tiene una gran versatilidad puesto con él se puede hacer diferentes prácticas de sistemas de automatización y control y comunicación con un sistema Scada.

La visualización a través del Software de Labview permite tener otra perspectiva de lo que ocurre cuando encendemos los motores, generadores, entrada de carga y la puesta en sincronización.

6.2 Recomendaciones

Es importante recalcar el manejo de los elementos para la variación de voltajes, corriente, frecuencia y potencia, se lo debe hacer con el debido cuidado ya que los equipos son muy sensibles y a la vez poder cumplir con los requerimientos de la práctica, en especial en el momento de repartir la carga entre los dos generadores.

Manipular el equipo por personal familiarizado con la puesta en servicio y operación para asegurar el funcionamiento correcto del equipo.

Tomar en cuenta que la conexión de los cables de red, del motor y de mando o control deberán realizarse de la forma correcta a fin de evitar que interferencias que afecten al correcto funcionamiento de los diferentes dispositivos de comunicación y control.

El tablero se diseñó para trabajar integrando diferentes tipos de comunicaciones y protocolos industriales, además del sistema Scada por esta razón se deberá tener una información detallada de todo el software que interviene en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.biblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/6213133m385.swf>
- [2] KOSOW Irvin, Máquinas Eléctricas y Transformadores. Pág. 195-229
- [3] JESUS FRAILE MORA, Maquinas Eléctricas, 5 Edición, Mac Graw Hill, México
- [4] RAMÍREZ VÁZQUES, José, Máquinas de CA, Enciclopedia CEAC de electricidad, 4 Edición, España 1982.
- [5] [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYSEL DEUNSIIST.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/CALCYSEL_DEUNSIIST.pdf)
- [6] Power Monitoring Device SENTRON PAC3100 Manual. Pág. 17-48

BIBLIOGRAFÍA

ARTERO David. Automatismo eléctrico y electrónico. Prentice hall hispanoamericana
España: 2003.

BOYLESTAD Robert, NASHELESKY Louis. Electrónica: Teoría de circuitos.
Pranticehall hispanoamericana. México: 1995.

CASALS, BOSCH. Máquinas eléctricas. Aula politécnica náutica. Ediciones UPS,
2005.

CORTEZ Manuel. Máquinas síncronas y motores c.a. de colector. Editorial Reverté.
España: 2004.

CHAPMAN Stephen. Máquinas eléctricas.3ra. ed. Colombia: 2000.

IWSCHITZ Garick, WHIPPLE E. Máquinas de corriente alterna, Editorial continental,
1972.

KOSOW Irvin. Máquinas eléctricas y transformadores. 2da ed. México: 1993.

MUHAMMAD Rashid. Electrónica de Potencia. Prantice hall hispanoamericana,
México: 1996.

RAMÍREZ José, BELTRÁN Lorenzo. Máquinas motrices: Generadores de energía
eléctrica. 5ta. ed. España: 1984.

LINKOGRAFÍA

OPERACIÓN EN PARALELO DE GENERADORES SÍNCRONOS

<http://www.electrosector.com/wp-content/ftp/descargas/operacion.pdf>

2012-02-13

GENERADORES SÍNCRONOS

<http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos-maquinaselectricas/generadores-sincronos-maquinas-electricas2.shtml>

2012-02-13

SINCRONIZACIÓN DE GENERADORES POR LÁMPARAS APAGADAS

<http://es.scribd.com/doc/50916351/18/metodo-de-las-lamparas-apagadas>

2012-03-11

GENERADORES SÍNCRONOS EN PARALELO

<http://www.monografias.com/trabajos89/generadores-sincronosparalelo/generadores-sincronos-paralelo.shtml>

2012-03-11

MANUAL SENTRON PAC3100

<http://www.industry.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/documents/manual-sentron-pac3100.pdf>

2012-04-14

SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4960/1/calcsysdeunsist.pdf>

2012-05-16

MANUALES DE PRODUCTOS NATIONAL INSTRUMENTS

<http://www.ni.com/manuals/esa/>

2012-06-29

MANUAL OPC DE INSTALACIÓN Y USO

http://www.duranelectronica.com/docs/9_1295_e-man_opc_de-1-v01.pdf

2012-07-12

ACTIVACIÓN E INSTALACIÓN LOS NI OPC SERVERS

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/b620196403cab3f1862573a3006dfa8f>

2012-07-14

COMUNICACIÓN NI-OPC SERVERS CON PLC S7-200 Y LABVIEW

<http://www.datalights.com.ec/site2/images/docs/opcsiemenss7200.pdf>

2012-07-16

MANUAL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN S7 - 200

<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/.../simatic/documents/s7200manualsistema.pdf>

2012-07-18

MANUAL DE PANEL DE OPERADOR OP/177B

<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/...c/controladores/documentos/hmi%20tp177.pdf>

2012-08-06

SOFTWARE S7-200 PC-ACCESS V1 SP6

<http://support.automation.siemens.com/ww/lisapi.dll?query=pc+access&func=cslib.cssearch&content=adsearch%2fadsearch.aspx&lang=es&siteid=cseus&objaction=cssearch&searchinprim=0&nodeid=4000024&x=15&y=9>

2012-08-15

COMUNICACIÓN DE LABVIEW CON EL PLC

<http://es.scribd.com/doc/46854279/seminario-practico-plc>

2012-08-17