

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS SAGS SOBRE PLC'S

PRESENTADO POR:

**BYRON CANTOR PÉREZ
CRISTÓBAL ISAÍAS CHAFOYA CASTRO
VÍCTOR SALOMÓN SAGASTUME PEÑATE**

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERON

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS SAGS SOBRE PLC'S

Presentado por:

BYRON CANTOR PÉREZ

CRISTÓBAL ISAÍAS CHAFOYA CASTRO

VÍCTOR SALOMÓN SAGASTUME PEÑATE

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ

San Salvador, febrero 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

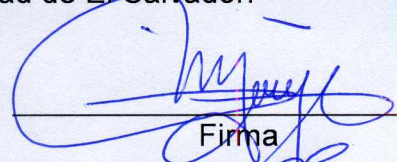
Docente Asesor:

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ

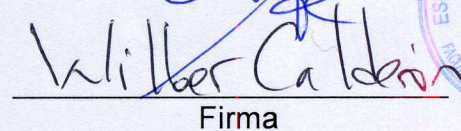
NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 7 de febrero de 2019, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director


Firma

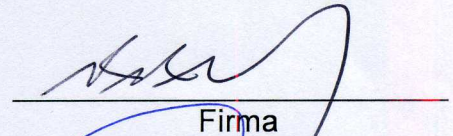
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma

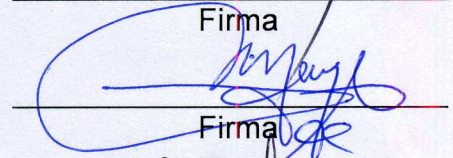


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

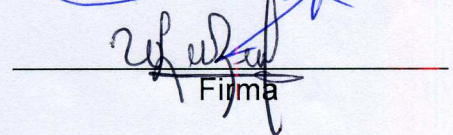
- ING. JOSE ROBERTO RAMOS LOPEZ
(Docente Asesor)


Firma

- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN


Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS SAGS SOBRE PLC'S

A cargo de los Bachilleres:

- CANTOR PEREZ BYRON
- CHAFOYA CASTRO CRISTÓBAL ISAÍAS
- SAGASTUME PEÑATE VÍCTOR SALOMÓN

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.0

(NUEVE PUNTO CERO)

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi vida, he tenido la fortuna de estar rodeado de muchas personas que, a su manera, me han inspirado a ser mejor persona, a esforzarme en todo lo que hago y en esta ocasión tengo la oportunidad de mencionarlos.

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme finalizar satisfactoriamente una etapa más en mi vida, una de la cual me siento muy orgulloso.

A mis padres, Marta Gloria Castro de Chafoya, y Cristóbal Chafoya Martínez, por el apoyo incondicional que me han proporcionado durante toda mi vida. Por cada palabra de aliento, correcciones y consejo que han llegado a formar la persona que soy ahora. Les agradezco con el alma, son la razón del porque he podido finalizar mi carrera y es a ellos a quienes dedico este logro y los venideros. A mis hermanos Martín, Marta, Judith, Daniel, Jenny, Pablo y Margarita, por estar presentes en cada episodio de este proceso de formación, compartiendo cada preocupación, ayudándome en cada lucha y reconociendo cada esfuerzo.

A mis amigos y afortunadamente mis compañeros en este trabajo de grado, Byron Cantor Y Víctor Sagastume a quienes les debo que este proceso resultara de la mejor manera posible. Son personas excepcionales y les deseo el mayor éxito en lo laboral y lo personal.

También hago una mención especial a la familia Cantor Pérez, a Allan Montenegro y su madre Magda Domínguez, que amablemente me brindaron un apoyo inmensurable en momentos muy importantes. A Manuel Suárez, José Suarez y sus padres, que me trataron como parte de su familia y no dejaron de apoyarme durante todos estos años de carrera.

A Salvador Montes, Hércules Lara y sus familias por la confianza que recibí, y la oportunidad que me brindaron de finalizar satisfactoriamente mi último año de la carrera. A Nairobi Ventura por su solidaridad e instrucción. A Karen Agreda, Juan Erazo, Rodrigo Carballo, Alejandro Velásquez, Roberto Morales y Eduardo Castellanos por su colaboración en muchos momentos durante la carrera, y que resultaron de gran importancia.

A Sasi Ramírez y Ricardo Argueta por su disponibilidad para proporcionarnos el acceso a PLC's para realizar las pruebas necesarias para nuestra tesis. A Adonnis Rodríguez, por facilitarnos la compra del Autotransformador desde el extranjero. A Don Posada y Don Juancito, por el apoyo que nos brindaron para poder finalizar la construcción del Generador de Sags. A Niña Reinita Vides por su cariño y toda su colaboración para que este proceso resultara menos difícil.

Finalmente, a mi maestro y asesor, Ingeniero José Roberto Ramos, por la ayuda que nos ha proporcionado a lo largo de este trabajo de graduación.

Cristóbal Chafoya

AGRADECIMIENTOS

Tengo mucho que agradecerle a Dios, por la oportunidad de estar culminando este proceso en mi vida, a mi madre Luisa ya que sin su apoyo nada de esto sería posible, es mi apoyo fundamental, mi mejora miga y cómplice en muchas de mis aventuras, a mi padre santana sin el cual no sería la persona que soy, con su carácter firme me enseñó que en la vida las cosas que realmente importa no son fáciles de obtener, ambos son mi apoyo fundamental en la familia y la razón por la cual nunca me rendir hasta llegar a la meta, a mis hermanas que me dieron el mejor ejemplo de superación personal y profesional, sé que se sentirán orgullosas de mí.

A mi Tío Alfredo Pérez que siempre estuvo dándome apoyo desde lejos, preguntando por mí avance y apoyándome en todo lo que estaba en sus manos, parte de este logro es gracias a usted y espero que se sienta orgulloso de lo que he logrado.

A mi asesor de tesis ing. José ramos por creer en nuestras capacidades y ser un excelente orientador, cuyos consejos nos ayudaron a llegar hasta donde estamos, siempre recordaremos sus consejos, a mis compañeros de tesis Chafoya y Sagastume, que más que compañeros de tesis somos muy buenos amigos, con los cuales sobrellevamos todas las adversidades que nos encontramos, no pude tener mejores compañeros de tesis, les deseo lo mejor en la nueva etapa que cada uno llevara en el futuro.

A mis amigos Allan, Salvador, Vladimir y en especial a Karen Agreda con los que además de formar buenos equipos de trabajo y de estudio, formamos una gran amistad y vivimos muchas aventuras, que esta amistad perdure más allá de la universidad.

Agradezco a Reina vides, quien estuvo preocupada por nosotros desde antes que iniciáramos esta aventura y siempre nos apoyó y facilitó lo que estaba en sus manos. A Don Posada y Juancito, quienes nos apoyaron no solo en la tesis, sino que también a lo largo de la carrera, con ellos se formó una buena amistad y nos apoyaremos siempre que podamos.

A Ricardo Argueta y Sasi Ramírez que de manera desinteresada nos ayudó de gran manera en el desarrollo de la tesis, son muy buenos amigos y excelentes colegas, a Adonnis que compartió un poco de su tiempo para facilitarnos equipo que fue de suma importancia para que pudiéramos culminar con éxito la tesis.

A todos los miembros de IEEE y de ASEIE, con los que aprendí muchas cosas que me servirán para mi carrera profesional y personal.

Byron Cantor

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, Víctor Alonso Sagastume Mena, Sandra Marlene Peñate y Johanna Sagastume, por el amor, apoyo y motivación que me brindan, han sido los pilares que me mantuvieron firme para culminar esta etapa y lo seguirán siendo para las próximas. En honor a ustedes es este logro.

A mis amigos, Jonathan Hernández Silva quien siempre ha estado en las buenas y las malas; Christian y Nancy Serrano, quienes fueron sin duda alguna parte importante en este proyecto, Silvia Letona y su familia, sin su apoyo y consejos esto no sería posible.

Culminar una tesis es el fin de un proceso que enmarca experiencias increíbles, buenas y malas, nos deja historias inolvidables las cuales nunca se podrán dejar de contar, por esto agradezco a mis compañeros y amigos quienes son parte de estas historias; Brenda Solís, Rocío Alvarenga, Verónica Milián, Laura Hernández, Oscar Surio, Byron Cantor, Isaías Chafoya, Allan Montenegro, Diego Guidos, Marvin Miranda, Javier Hernández, Jacobo Gómez, Karen Agreda, Juan Erazo, Rodrigo Rivas, Rosa Mejía, Jocelyn Regina, Jonathan Pasasin, a los amigos IEEE, ustedes forman parte de esta increíble experiencia. Les agradezco a Byron y Chafoya, mis compañeros de tesis y amigos, gracias a su esfuerzo culminamos esta etapa.

Entre todas mis experiencias en el transcurso de la carrera debo de resaltar el hecho de coincidir en el tiempo y lugar correcto con Mónica Olivar, quien me ha mantenido con los pies en la tierra. A ti te agradezco en especial por el amor, paciencia y apoyo que me has brindado.

A nuestro asesor de tesis Ing. José Ramos López, gracias totales, ya que fue quien confió en nuestra capacidad y nos brindó todo su apoyo en el transcurso de este proceso.

Agradezco a Reina Vides, quien ha sido de mucho apoyo en toda la carrera, definitivamente una amiga especial. Juancito y Don Posada; gracias por su apoyo y paciencia. Gracias a mis amigos Ricardo Argueta y Sasi Ramírez, quienes colaboraron para culminar este trabajo de graduación.

Para todos los protagonistas y colaboradores es mi gratitud.
¡Muchas gracias a todos!

“El hombre atraviesa el presente con los ojos vendados, sólo puede intuir y adivinar lo que de verdad está viviendo; y después, cuando le quitan la venda de los ojos, puede mirar al pasado y comprobar qué es lo que ha vivido y cuál era su sentido.” Milan Kundera.

Víctor Sagastume

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.4.1. ALCANCES.....	4
1.4.2. LIMITACIONES	4
1.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	4
CAPÍTULO II: VARIACIONES DE TENSIÓN SAGS	5
2.1 MARCO REGULADOR.	5
2.1.1 INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS (IEEE).....	5
2.1.2 COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL (IEC).....	7
2.2 ¿QUÉ ES UN HUECO DE TENSIÓN SAG?	8
2.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS HUECOS DE TENSIÓN	9
2.2.1.1 HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A FALLAS.	10
2.2.1.2 HUECO DE TENSIÓN DEBIDO A ARRANQUE DE MOTORES.....	12
2.2.1.3 HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A ENERGIZACIÓN DE TRANSFORMADORES. .	13
2.2.1.4 CLASIFICACIÓN FASORIAL DE HUECOS DE TENSIÓN EN LÍNEAS TRIFÁSICAS	
.....	14
2.3 NORMAS DE CALIDAD DE POTENCIA	15
2.3.1 CURVA ITIC (CBEMA - 1996).....	15
2.3.2 SEMI F47-0706, ESPECIFICACIONES PARA PRUEBAS DE INMUNIDAD.....	17
2.3.3 IEC 61000-4-11/34, Especificaciones para pruebas de inmunidad.	18
2.4 NORMAS DE SAGS DE VOLTAJE: SEMI F47-0706 E IEC 61000-4-11	19
Criterios de aprobación / rechazo	20
Modos de prueba de sags de voltaje	21
CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO GENERADOR DE SAGS PARA PRUEBAS DE ROBUSTEZ	23
3.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	23
3.2 DIAGRAMA UNIFILAR.....	23
3.2.1 ETAPA DE CONTROL	24
3.2.2 ETAPA DE POTENCIA	25
3.2.3 ETAPA DE MEDICIÓN	25
3.3. CONSTRUCCIÓN FÍSICA DEL EQUIPO GENERADOR DE SAGS.....	26
3.4 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS.....	28

3.4.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	28
3.4.1.1 PROTECCIÓN PRINCIPAL: INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.....	28
3.4.1.2 PROTECCIÓN PARA LOS SSR: FUSIBLE TIPO AMERICANO DE 10 ^a	30
3.4.2 TRANSFORMADORES.....	30
3.4.2.1 TRANSFORMADOR VARIABLE.....	30
3.4.2.2 TRANSFORMADOR DE ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	32
3.4.2.3 TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN.....	32
3.4.3 FUENTE RECTIFICADORA.....	32
3.4.3.1 PUENTE DE DIODOS.....	32
3.4.3.2 CAPACITOR.....	32
3.4.3.3 REGULADOR DE TENSIÓN.....	33
3.4.4 SISTEMA DE POTENCIA.....	33
3.4.4.1 TRANSISTOR 2N2222.....	33
3.4.4.2 RELÉS DE ESTADOS SOLIDO (SSR).....	33
3.4.5 SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	33
3.4.5.1 NI USB 6008.....	33

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL GENERADOR DE SAGS..... 34

4.1 ENTORNO DE LABVIEW.....	34
4.1.1 ¿QUÉ ES LABVIEW?.....	34
4.1.2 ¿QUÉ SON LOS SUBVI'S EN LABVIEW?.....	35
4.2 TIPOS DE DATOS EN LABVIEW.....	36
4.2.1 TIPO DE DATO CADENA DE CARACTERES.....	36
4.2.2 TIPO DE DATO NUMÉRICO.....	37
4.2.3 TIPO DE DATO BOOLEANO.....	37
4.2.4 TIPO DE DATO DINÁMICO.....	38
4.3 ARREGLOS EN LABVIEW.....	38
4.4 ESTRUCTURAS DE EJECUCIÓN EN LABVIEW.....	39
4.4.1 CICLO FOR.....	39
4.4.2 CICLO WHILE.....	40
4.4.3 ESTRUCTURA DE CASOS.....	41
4.4.4 ESTRUCTURA DE EVENTOS.....	43
4.5 ESTRUCTURA DE CICLOS MAESTRO-ESCLAVO EN LABVIEW.....	45
4.6 NI-DAQMX EN LABVIEW.....	46
4.6.1 USO DEL DAQ ASSISTANT.....	47
4.6.2 USO DE SUBVI'S DE DAQMX EN BAJO NIVEL.....	48
4.7 VOLTAGE SAGS SIMULATOR 1.0.....	49
4.7.1 PARÁMETRO INICIALES.....	50
4.7.2 MEDICIONES A TIEMPO REAL.....	52
4.7.3 ETAPA DE GENERACIÓN DE SAGS.....	54
4.7.4 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN ARCHIVO.....	58
4.7.5 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	60
4.7.6 INTERFAZ GRÁFICA.....	61

4.7.7 LIMITACIONES DEL PROGRAMA.....	64
5.1 PROCESO DE PRUEBA SEGÚN NORMAS IEC 61000-4-34 Y SEMI F47-0706	68
5.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	70
5.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	73
5.4. SOLUCIONES DE CONTROL DE NIVEL DE VOLTAJE	80
5.4.1 EL TRANSFORMADOR FERRORESONANTE O DE VOLTAJE CONSTANTE (CVT)	81
5.4.2 EL DYNAMIC SAG CORRECTOR (DYSC) O COMPENSADOR ACTIVO EN SERIE (DIP)	84
5.4.2.1 CÁLCULO DE TIEMPO PARA INTERRUPCIONES	86
5.4.3 EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (UPS).....	87
5.5 RESUMEN DE ESTRATEGIAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ROBUSTA: FUENTE DE ALIMENTACIÓN MONOFÁSICA CON RESPUESTA ANTE SAGS.....	88
RECOMENDACIONES	93
CONCLUSIONES	94
REFERENCIAS.....	96
ANEXOS.....	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Presentación de onda y voltaje RMS de Sag 50%, 33 ms medido en laboratorio de la Universidad de El Salvador.	8
Figura 2. 2 Sag 50%, 250 ms producido con el generador de SAGS monofásico.	9
Figura 2. 3 Simulación de Sag 20% 100 ms, provocado por falla monofásica de Fase A y tierra, simulado en Matlab.....	10
Figura 2. 4 Simulación de Sag 40% 100 ms, provocado por falla Bifásica de Fase A y B a tierra, simulado en Matlab.....	11
Figura 2. 5 Simulación de Sag 50% 100 ms, provocado por falla trifásica, simulado en Matlab.	12
Figura 2. 6 Caracterización del hueco de tensión en rms producido por un motor de inducción simulado en Matlab.....	13
Figura 2. 7 Caracterización del hueco de tensión en rms producido por energización de un transformador conectado directamente a carga simulado en Matlab.....	14
Figura 2. 8 Curva CBEMA tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.	15
Figura 2. 9 Curva ITIC tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.	16
Figura 2. 10 Curva SEMI F-47C tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.	18
Figura 3. 1 Diagrama unifilar del generador de sags.....	24
Figura 3. 2 Etapa de control del generador de sags.....	24
Figura 3. 3 . Etapa de potencia con tres SSR	25
Figura 3. 4 Etapa de medición.	26
Figura 3. 5 Vista lateral izquierda del generador de sags.....	26
Figura 3. 6 Vista lateral derecha del generador de sags	27
Figura 3. 7 . Vista frontal del generador de sags.	27
Figura 3. 8 Fotografía del interior del equipo generador de sags monofásico.	28
Figura 3. 9 Transformador variable	31
Figura 4. 1 : a) Panel Frontal b) Diagramas de bloques.	35
Figura 4. 2 Icono de SubVI	36
Figura 4. 3 Datos de cadena.	36
Figura 4. 4 Tipo de dato numérico Doble complejo en diagrama de Bloques de LabVIEW.	37
Figura 4. 5 Tipo de dato numérico entero en diagrama de Bloques de LabVIEW.....	37
Figura 4. 6 Tipo de dato Booleano en diagrama de Bloques de LabVIEW.	37
Figura 4. 7 Tipo de dato dinámico en diagrama de Bloques de LabVIEW.	38
Figura 4. 8 Imagen del Índice de Arreglo, Arreglo del Control Numérico	39
Figura 4. 9 Estructura básica de un ciclo For en LabVIEW.	40
Figura 4. 10 : Estructura básica de ciclo While en Labview.	40
Figura 4. 11 Ejemplos de uso de ciclo While.	41
Figura 4. 12: estructura de 2 casos, true y false.	41

Figura 4. 13 Caso ilustrativo de una estructura de casos, utilizando los túneles.	43
Figura 4. 14: descripción de la estructura de eventos.	44
Figura 4. 15 Estructura básica de patrón Maestro – Esclavo.....	46
Figura 4. 16 Ventana de configuraciones de DAQ Assistant	47
Figura 4. 17:SubVI's de adquisición de datos.	48
Figura 4. 18: Librería de NI DAQmx	49
Figura 4. 19: Diagrama de bloques básico para generar pulsos digitales con DAQmx.....	49
Figura 4. 20. Presentación de software Voltage Sags Simulator 1.0.	50
Figura 4. 21. Estructura de configuración de los puertos digitales.....	51
Figura 4. 22. Configuración de puertos analógicos con Daq Assistant.	53
Figura 4. 23. Etapa de adquisición de datos.	54
Figura 4. 24 .Tiempos programados de pulsos.	57
Figura 4. 25. Estructura de casos “Activar”	58
Figura 4. 26. Adquisición y almacenamiento de datos.....	59
Figura 4. 27. Configuraciones básicas de forma de almacenamiento de datos.	60
Figura 4. 28. Interfaz de Voltage Sags Simulator 1.0.	63
Figura 4. 29. Pestaña de Configuración.	63
Figura 4. 30. Pestaña post Simulación.	64
Figura 4. 31Velocidad de respuesta del programa con las SSR.....	65

Figura 5. 1. Imagen tomada de figura 3-3 de “Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food Processing Industry”. 95% probabilidad proyectada para cualquier sitio que caiga en el rango de eventos mostrados en las áreas determinadas.	67
Figura 5. 2. Imagen tomada de figura 3-4 de “Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food Processing Industry”. Porcentaje de efecto de fases durante variaciones RMS de voltaje.....	68
Figura 5. 3. Diagrama de proceso según equipo diseñado y norma IEC 61000-4-11.....	69
Figura 5. 4. Equipo para prueba de robustez con VARIAC.	70
Figura 5. 5. Presentación de la ficha de robustez integrada.	72
Figura 5. 6.Transformador ferroresonante de voltaje constante.	81
Figura 5. 7.Característica de entrada/salida de un CVT sistema monofásico.	82
Figura 5. 8. Caída de voltaje en función de la carga del transformador ferroresonante.	83
Figura 5. 9.Mejoramiento de voltaje con transformador ferroresonante (TF).	83
Figura 5. 10. Mejoramiento de voltaje con Sintetizador magnético (DIP).....	85
Figura 5. 11. Tipos de UPS Standby, En línea, híbrido.....	88
Figura 5. 12. Estrategias para aumentar robustez, fuentes de alimentación monofásica con respuesta ante caídas.....	89
Figura 5. 13. Acondicionamiento de energía a nivel de máquina o subsistema.....	90
Figura 5. 14. Nivel de control de Acondicionamiento de energía para sistemas de control.....	90
Figura 5. 15. Nivel de control de la solución de CC integrada, para sistemas de control.....	91
Figura 5. 16. Esquema de diferentes niveles de solución y los costos involucrados.	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Tipos y categorías de perturbaciones que afectan a la calidad de onda según IEEE Std. 1159-2009 (Revisión of IEEE Std. 1159-1995).	6
Tabla 2. 2 Nivel de prueba y duraciones para caídas de voltaje según IEC 61000-4-11/34	7
Tabla 2. 3 Clasificación de desempeño de equipos según IEC 61000-2-4	7
Tabla 2. 4 Reproducción de Tabla 1, Tabla R1-1 de norma SEMI F47	17
Tabla 2. 5 Niveles de prueba y duraciones para interrupciones cortas (Reproducido de la Tabla 2 de IEC 61000-4-11 (2004)).....	20
Tabla 2. 6 Comparación general de normas IEC y SEMI F47	21
Tabla 3. 1 Descripción del interruptor termomagnético.	30
Tabla 3. 2 Especificaciones de transformador variable	32
Tabla 4. 1 Distribución de puertos digitales.....	52
Tabla 4. 2. Configuración de puertos analógicos para mediciones de potencial eléctrico.....	53
Tabla 4. 3. Estados lógicos de puertos digitales.....	57
Tabla 5. 1. . Espacio determinado para colocar datos generales del equipo al que se le realizará las pruebas de robustez.....	70
Tabla 5. 2. Cuadro de recolección de datos con parámetros según prueba de robustez determinada por IEC 61000-4-11.....	71
Tabla 5. 3. Selección de criterio de evaluación según norma IEC 61000-4-11, detallados en capítulo 2 de este documento.	71
Tabla 5. 4. Cuadro de recolección de datos para creación de curva de robustez.....	72

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5. 1. Curva de robustez de PLC SIMATICS S7-1200.....	73
Gráfico 5. 2. Curva de robustez SCHENIDER TSX-NANO.....	74
Gráfico 5. 3. Curva de robustez OMRON SYSMACCP1H.....	74
Gráfico 5. 4. Curva de robustez SIEMENS S7-200.	75
Gráfico 5. 5. Curva de robustez LOGO 23ORCE.	76
Gráfico 5. 6. Curvas de Robustez de PLC SCHEIDER, SIEMENS Y OMRON.	76
Gráfico 5. 7. Curva de robustez SHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 630 ATV630U007M3.	77
Gráfico 5. 8. Curva de robustez SCHNEIDER ELECTRIC SR3B101FU.....	78
Gráfico 5. 9. Curva de robustez SCHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 930 ATV930U007M3.....	78
Gráfico 5. 10. Curva de robustez PHOENIX CONTACT QUINT ´PWER.....	79
Gráfico 5. 11. Curva de robustez de variadores de velocidad Schneider electric y fuente Phoenix.....	80

INTRODUCCIÓN

Los huecos de tensión conocidos como sags o dips, ocurren muy a menudo en las redes eléctricas de El Salvador y es el consumidor quien finalmente experimenta el verdadero problema de la incidencia de huecos de tensión en un sistema eléctrico, un sag es capaz de provocar la desconexión de un PLC, lo cual se traduce en el paro o mal funcionamiento del sistema que controle, dependiendo de su robustez o diseño el sistema puede requerir la intervención del hombre, lo cual se traduce en tiempo perdido de producción, para analizar este fenómeno se presenta el diseño y construcción de un equipo capaz de generar variaciones de tensión, se presenta una interfaz generada en LabView para el control de este equipo y un método a seguir para realizar las pruebas.

Se presentan las fuentes de sags más comunes en los sistemas, ya que depende de la complejidad del sistema eléctrico del usuario los problemas y magnitudes que puede presentar este, para simular este fenómeno se utiliza Matlab mediante la librería PowerSystem, con lo que se puede demostrar que cada arranque de motor eléctrico, activación de cargas eléctricas de potencia alta, energización de transformadores o fallas eléctricas, en los alrededores de un punto de interés podrían ser el motivo principal de la generación de un hueco de tensión.

En el presente trabajo de graduación se realiza una investigación de los efectos que producen los huecos de tensión en los PLC's, tomando como referencia las normas IEC61000-4-11 Y SEMIF47 las cuales presentan métodos para la evaluación y valores de tensión que los equipos deben de soportar según estas normativas internacionales, además de presentar otras normas que aún son usadas en la industria.

Para entender con mayor facilidad los efectos de los sags sobre los PLC's se analiza la curva de robustez del sistema o equipo, ya que esta determina la variación de la tensión y el tiempo en el que puede estar sometido el equipo. Se presentan y describen equipos utilizados para mitigar los sags, su funcionamiento y posible ubicación, que al final depende de la importancia del sistema o la inversión que desea realizar el usuario.

En este documento se recalca la importancia del uso de un sistema robusto realizando pruebas a equipos de marca SIEMENS Y SHNEIDER ELECTRIC, los cuales son marcas que se encuentran presentes hoy en día en la mayoría de empresas.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Analizar los efectos en PLC's ante perturbaciones eléctricas conocidas como sags, mediante simulación de estos fenómenos generados por maniobras o eventos electromagnéticos y la prueba de robustez de los equipos, utilizando un generador de sags que permita el ensayo bajo normas que caracterizan estos eventos.

ESPECIFICOS:

- Adaptar un generador de sags para realizar pruebas de robustez a PLC's, que verifiquen las normativas IEC 61000-4-11, SEMIF47, CBEMA96 y curva ITIC, que caracterizan el fenómeno.
- Evaluar mediante simulación en Matlab los efectos sobre la señal de tensión generada por maniobras de conexiones eléctricas o eventos electromagnéticos comúnmente observados en la industria.
- Determinar las fuentes más comunes de sags que afectan la industria salvadoreña.
- Determinar los métodos más efectivos para mitigar los efectos negativos de los sags.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En diciembre del 2008, se presentó el trabajo de graduación **“Diseño y construcción de un prototipo de laboratorio del flickermeter IEC 61000-4-15”** realizado por Julio Cesar Rodríguez Herrera y Luis Alfonso Valdivieso Hidalgo. La investigación se enfocó en el diseño de un instrumento capaz de censar flicker, perturbación eléctrica claramente visible. Este se basó en la medición de los voltajes a través del paso de las etapas que simulan el ojo y el cerebro humano. Dentro de esta se realizó la etapa de evaluación estadística la cual proporcionó los valores de severidad del flicker conocidos como Pst y Plt.

En el año 2017 ciclo II, se realizaron dos proyectos de Ingeniería titulados, **“Investigación de tecnologías de PLC’s en El Salvador”** y **“Diseño de un generador de perturbaciones eléctricas”**, realizados por los estudiantes: Byron Cantor Pérez, Cristóbal Isaías Chafoya Castro y Víctor Salomón Sagastume Peñate, en los cuales se realizaron investigaciones sobre marcas de tecnología PLC’s más utilizadas en El Salvador y el diseño de un generador de perturbaciones de Sags y Swells.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las perturbaciones eléctricas son muy comunes debido al mal servicio eléctrico que existe en algunos lugares del país, maniobras de conexión y desconexión de equipos, por lo que es importante conocer cómo se comportan los PLC’s, que son denominados equipos de electrónica sensible, con la calidad de energía actual. En los laboratorios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador no existe una guía para simulación de fenómenos que generan variaciones de tensión, ni un equipo adecuado para realizar pruebas de robustez ante perturbaciones eléctricas, como los sags.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Conocer herramientas y modelos que permitan simular sags de la red, es parte importante para comprender los fenómenos que los generan y sus efectos negativos. Además, poseer un equipo capaz de probar la robustez de PLC’s trae una nueva oportunidad para prácticas en la escuela de Ingeniería Eléctrica ya que la habilitación de un instrumento de este tipo dará inicio a un estudio exhaustivo de efectos en distintas cargas.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. ALCANCES

- Investigar los fenómenos que comúnmente generan variaciones de tensión en la industria y simular los parámetros básicos de los sistemas eléctricos industriales para obtener una estimación de su comportamiento.
- Evaluar PLC's ante variaciones de tensión caracterizadas por las normas: IEC 61000-4-11, SEMIF47, CBEMA96 y curva ITIC.

1.4.2. LIMITACIONES

- La disposición de las empresas a permitir evaluación de sus equipos.
- Tamaño de la muestra de equipos a los cuales se le realiza la prueba.
- La falta de información estadística del fenómeno bajo estudio.

1.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Con el objetivo de desarrollar la parte teórica de este trabajo, se realizó una investigación y recopilación de normas e información técnica especializada y actualizada, adquirida principalmente en IEC, IEEE y EPRI, además de boletines técnicos sobre normativas sobre el tema. Con la base teórica clara se procede a la fabricación de un generador de sags monofásico con la capacidad de generar las formas de onda necesarias de voltaje. Se diseña una interfaz de control en Labview para introducir los parámetros del sag.

Con el equipo necesario listo se procede a la parte experimental y práctica, con la ayuda de Matlab se procede a simular fenómenos que comúnmente generan variaciones de tensión los cuales se presentan en el documento. En la parte práctica se realizan pruebas con el equipo construido siguiendo la normativa IEC61000-4-11, para lo cual se crea una ficha para recolección de datos y así poder determinar el nivel de robustez. Como apoyo para este proyecto se usaron programas como Excel para graficar y Office Visio 2016 para dibujar esquemas.

CAPÍTULO II: VARIACIONES DE TENSIÓN SAGS

2.1 MARCO REGULADOR.

Los tipos de fenómenos que afectan la calidad del servicio eléctrico tienen una gran importancia en la industria actual y definir con exactitud las causas u orígenes de las perturbaciones eléctricas requiere un correcto monitoreo y análisis con el objetivo de proponer acciones de corrección adecuadas al caso.

Las definiciones de estos fenómenos se basan en los estudios realizados por organismos internacionales como el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), la International Electrotechnical commission (IEC), Electric Power Research Institute (EPRI), estas entidades invierten recursos en el análisis de la importancia, evolución y consecuencias del Power Quality, en base a estas entidades en El Salvador se regula por medio de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), quien es la entidad encargada de adaptar las normativas internacionales para ser aplicadas de la mejor forma en nuestro país.

2.1.1 INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS (IEEE).

Poseen tres niveles de aplicabilidad y validez.

1. Guide (Guía), da ejemplo de diseño típico y práctica operativa.
2. Recommended Practice (Práctica recomendada), reconoce la existencia de varias soluciones, pero aconseja una como mejor que las otras posibles. En caso de que se indiquen límites, estos deben ser usados como objetivos de diseño.
3. Standard (Norma), que son códigos consensuados y adoptados por la industria, el gobierno y los usuarios. En algunos estados de Norteamérica tienen fuerza de ley.

Los tres niveles citados, son ascendentes, pasando de guía a practica recomendada y posteriormente a norma.

-IEEE 1250-1995: IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances; Describe disturbios momentáneos, su efecto potencial en equipos sensibles y su mitigación, asimismo informa de los límites de distorsión armónica.

-IEEE 1346-1998: IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment; Orientada a aquellos sistemas que se encuentran en la etapa de diseño y planeamiento, donde pueden resolverse las incompatibilidades que se presentan.

-IEEE 1159-2009: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality; Se trata de un resumen relacionado con el monitoreo de calidad de potencia, incluyendo descripciones detalladas de los fenómenos electromagnéticos que se presentan en los sistemas de potencia.

-IEEE 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems; Establece objetivos para el diseño de sistemas eléctricos que incluyen cargas lineales y no lineales. Se describen las formas de onda de corriente y tensión que pueden existir en el sistema, estableciendo los valores deseables.

Se han establecido diferentes recomendaciones como IEEE STD. 1159-1995, la cual define los fenómenos eléctricos según categoría, espectro en frecuencia, duración y magnitud como se muestra en la siguiente tabla.

CATEGORÍA	ESPECTRO DE FRECUENCIA (TÍPICO)	DURACIÓN (TÍPICO)	MAGNITUD DE LA TENSIÓN (TÍPICA)
1.TRANSITORIOS			
1.1.Impulsivos			
1.1.1.Nanosegundos	tr= 5 ns	< 50 ns	
1.1.2.Microsegundos	tr= 1 us	50 ns - 1ms	
1.1.3.Milisegundos	tr=0,1 ms	> 1ms	
1.2.Oscilatorios			
1.2.1.Frecuencia baja	< 5 kHz	0.3-50 ms	0-4 p.u.
1.2.2.Frecuencia Media	5 - 500kHz	20 ms	0 - 8 p.u.
1.2.3.Frecuencia alta	0,5 - 5 MHz	5 ms	0 - 4 p.u.
2.VARIACIONES DE CORTA DURACION			
2.1. Instantáneas			
2.1.1.Sag(Dip)		0,5 -30 ciclos	0,1 - 0,9 p.u.
2.1.2.Swell		0,5 -30 ciclos	1,1 - 1,8 p.u.
2.2.Momentáneas			
2.2.1.Interrupción		0,5 ciclos- 3s	<0,1 p.u
2.2.2.Sag(Dip)		30 ciclos - 3s	0,1 - 0,9 p.u.
2.2.3.Swell		31 ciclos - 3s	1,1 - 1,8 p.u.
2.3.Temporales			
2.3.1.Interrupción		3s - 1 min	<0,1 p.u
2.3.2.Sag(Dip)		3s - 1 min	0,1 - 0,9 p.u.
2.3.3.Swell		3s - 1 min	1,1 - 1,8 p.u.
3.VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN			
3.1.Interrupción sostenida		> 1 min	0,0 p.u.
3.2. Subtensión		> 1 min	0,8 - 0,9 p.u.
3.3. Sobretensión		> 1 min	1,1 - 1,2 p.u.
4.DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN		Estado estacionario	0,5-2%
5. DISTORSIÓN DE ONDA			
5.1. Componente D.C.		Estado Estacionario	0 - 0,1%
5.2. Armónicos	0 - 100 armónicos	Estado Estacionario	0 - 20%
5.3. Interarmónicos	0 - 6 kHz	Estado Estacionario	0 - 2%
5.4. Notch	> 10kHz	Estado Estacionario	
5.5. Ruido	Banda Ancha	Estado Estacionario	0 - 1%
6.FLUCTUACIONES DE TENSION < 25 Hz (PARPADEO-FLICKER)		Intermitente	0,1 - 7%
7.VARIACIONES DE LA FRECUENCIA DEL SISTEMA		< 10 s	

Tabla 2. 1 Tipos y categorías de perturbaciones que afectan a la calidad de onda según IEEE Std. 1159-2009 (Revisión of IEEE Std. 1159-1995).

2.1.2 COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL (IEC).

La normativa europea posee conceptos y recomendaciones presentados a continuación:

- IEC 61000-1-x** General. Provee definiciones, terminología, etc.
- IEC 61000-2-x** Ambiente. Define las características del ambiente donde se instalarán los equipos.
- IEC 61000-3-x** Límites de emisión: Dan los límites permisibles de perturbaciones que pueden ser ocasionadas por los equipos conectados al sistema de potencia.
- IEC 61000-4-x** Técnicas de medición y pruebas. Proveen directivas detalladas para los equipos de medición y procedimientos de prueba para asegurar el cumplimiento con las restantes partes de la norma.
- IEC 61000-5-x** Directivas de mitigación e instalación. Suministran una guía detallada de los equipos, tales como filtros, acondicionadores de energía, mitigadores, supresores de sobretensiones, etc.
- IEC 61000-6-x** Normas genéricas y de productos. Definen los niveles de inmunidad requeridos para los equipos específicos o generales.

La norma IEC 61000-4-11, especifica una serie de inmersiones recomendadas y patrones de interrupción para equipos <16 A / fase, mientras que IEC 61000-4-34 es la contrapartida para equipos más grandes con corrientes más altas define el método de medición de calidad de onda eléctrica y su interpretación, sus parámetros se muestran en la siguiente tabla.

Clase a	Nivel de test y duración de huecos de tensión (t _s) (50 Hz/60Hz)				
Clase 1	Caso por caso de acuerdo a requerimientos de equipos				
Clase 2	0 % duración 1/2 ciclo	0 % duración 1 ciclo	70% duración 25/30 ciclos ^c		
Clase 3	0 % duración 1/2 ciclo	0 % duración 1 ciclo	40 % duración 10/12 ^c ciclo	70 % duración 25/30 ^c ciclo	80 % duración 250/300 ^c ciclo
Clase Xb	x	x	x	x	x
<p>a Clases por IEC 61000-2-4.</p> <p>b A definir por comité de producto. Para los equipos conectados directa o indirectamente a la red pública, los niveles no deben ser menos severos que los de la clase 2.</p> <p>c "25/30 ciclos" significa "25 ciclos de prueba para 50 Hz" y "30 cliclos de prueba para 60 Hz"</p>					

Tabla 2. 2 Nivel de prueba y duraciones para caídas de voltaje según IEC 61000-4-11/34

Resultados de las pruebas de inmunidad son clasificados en cuatro categorías	
-Criterio de desempeño A:	Rendimiento dentro de los límites de especificación
-Criterio de desempeño B:	Degradación temporal que es auto recuperable
-Criterio de desempeño C:	Degradación temporal que requiere intervención del operador
-Criterio de desempeño D:	Pérdida de función que no es recuperable

Tabla 2. 3 Clasificación de desempeño de equipos según IEC 61000-2-4

2.2 ¿QUÉ ES UN HUECO DE TENSION SAG?

Conocido como sag o dip, es una de las perturbaciones de tensión más importantes que puede afectar a la mayoría de los equipos sensibles como computadoras personales (PC), unidades de velocidad ajustable (ASD), controladores lógicos programables (PLC), dispositivos semiconductores (SD) y contactores.

Un evento de caída de tensión se define:

Según IEEE: Como la disminución en el valor rms de voltaje entre 0,1 p.u. y 0.9 p.u. para duraciones de 0.5 ciclos a 1 minuto [4].

Según IEC: Como “una repentina reducción del voltaje en un punto particular de un sistema de suministro de electricidad, por debajo de un límite de caída especificado seguido por su recuperación después de un breve intervalo [1].

La cantidad de eventos de caída de tensión es mucho mayor que la de las interrupciones de energía. Por lo tanto, para clientes específicos, las pérdidas financieras causadas por eventos de caída de tensión pueden incluso ser mayores que el costo asociado con interrupciones de energía. La mayor sensibilidad y los altos costos asociados con dichos eventos están actuando como un factor impulsor para aumentar el interés de estudiar y para reducir los efectos de las caídas de tensión en las operaciones de los clientes.

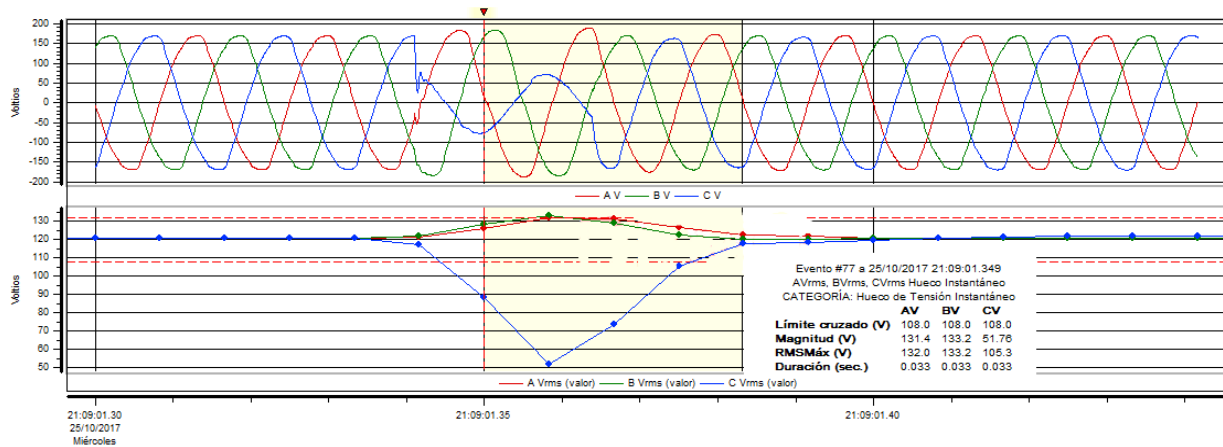


Figura 2. 1 Presentación de onda y voltaje RMS de Sag 50%, 33 ms medido en laboratorio de la Universidad de El Salvador.

2.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS HUECOS DE TENSION

Para caracterizar de mejor manera los huecos de tensión debemos comprender dos conceptos fundamentales:

Magnitud: hace referencia a la profundidad del hueco de tensión, es decir, la caída de tensión sufrida durante la perturbación. Hay diversos procedimientos para calcular este valor. La mayoría de los equipos de medición obtienen la magnitud del hueco de tensión por medio de la tensión eficaz. Existen varias alternativas de cuantificación del nivel de tensión durante un evento, por ejemplo, la caracterización de la magnitud de los huecos de tensión puede hacerse también por medio de la magnitud de la componente fundamental de la tensión por medio de un análisis de Fourier, o por la tensión de pico.

Duración: La caída de tensión en las líneas o en los nodos durante un cortocircuito, dentro de los límites establecidos para provocar un hueco de tensión, va a activar las protecciones que tratan de aislar el cortocircuito. Una vez despejada la falla el sistema retomará sus valores originales. La duración de un hueco de tensión es principalmente determinada por el tiempo de despeje, aunque éste puede ser mayor a este tiempo de despeje bajo algunas condiciones.

La definición comúnmente utilizada de la duración de un hueco de tensión es el número de ciclos durante los cuales la tensión cae por debajo de un umbral dado. Si se atiende a las dos normas con las que se abre el capítulo, este umbral se fija en 0.9 pu.

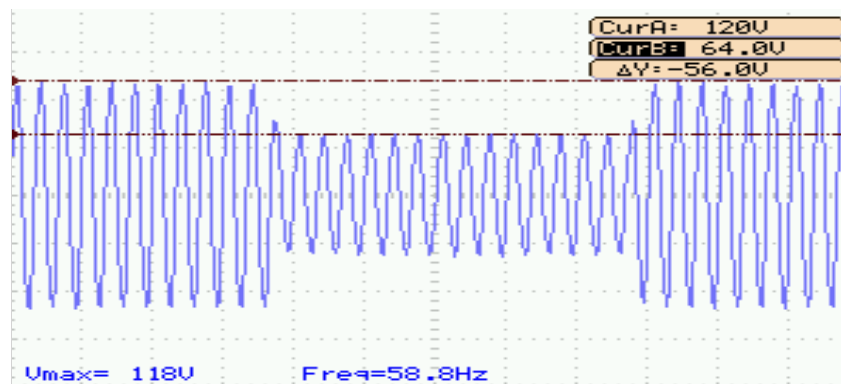


Figura 2. 2 Sag 50%, 250 ms producido con el generador de SAGS monofásico.

Para el estudio teórico de los huecos de tensión se han utilizado sistemas monofásicos por su facilidad a la hora de observar los efectos provocados por esta perturbación, pero en los sistemas eléctricos de distribución, como la alimentación a las grandes industrias, estos son realizados en trifásica. En los siguientes puntos se estudiarán las líneas trifásicas y el efecto de los huecos de tensión sobre ellas.

La principal causa de los huecos de tensión son los cortocircuitos provocados por fallas en la red, estas perturbaciones crean un hueco de tensión, con una caída brusca y recuperación rápida de tensión una vez despejada la falta, existen otras perturbaciones, el arranque de grandes motores o la energización de transformadores, que generan huecos de tensión de forma no rectangular. La caída de tensión es igual de brusca pero su recuperación es sostenida en el tiempo formando una línea más suave.

2.2.1.1 HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A FALLAS.

En los siguientes puntos se muestran ejemplos de diferentes tipos de cortocircuitos, y el efecto sobre la alimentación de la carga. Para el estudio se supone que las 3 fases tienen un desfase de 120° , sin desviaciones del caso ideal.

Cortocircuito Monofásico: El circuito monofásico (contacto de una fase y tierra) supone la mayor parte de cortocircuitos del sistema. En la figura 2.3 se observa la señal de onda simulada en Matlab de un circuito trifásico en el que la fase a ha sufrido un cortocircuito, la fase b y c no han sufrido efectos y su valor de tensión se mantiene, no así sus valores de corriente.

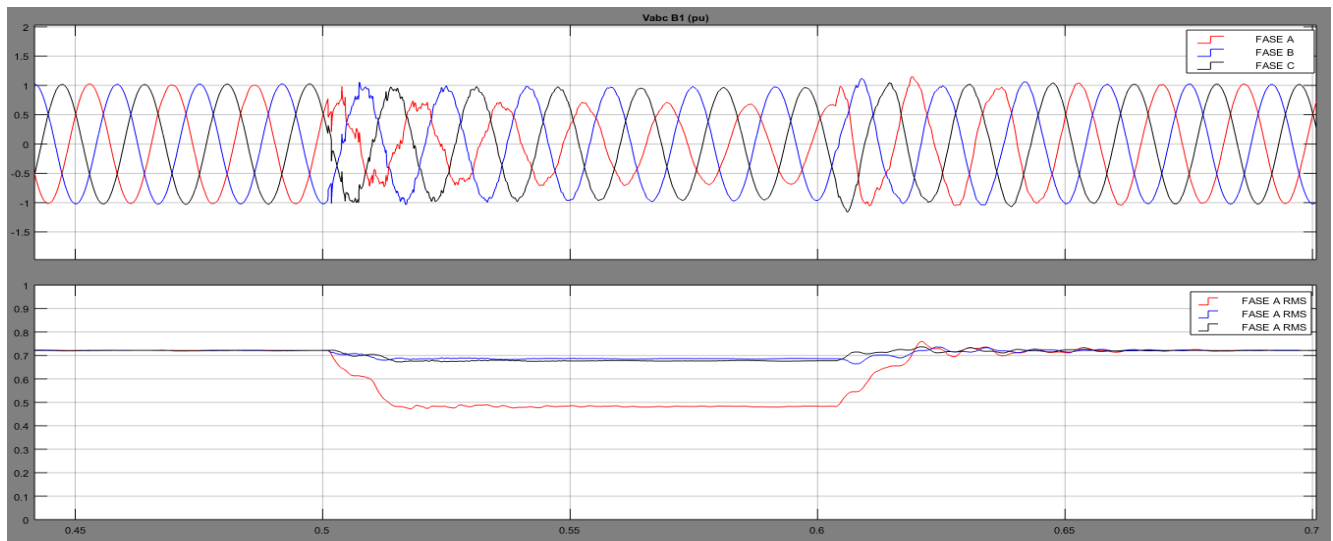


Figura 2. 3 Simulación de Sag 20% 100 ms, provocado por falla monofásica de Fase A y tierra, simulado en Matlab

Cortocircuito Bifásico: El cortocircuito bifásico se produce al contactar dos fases entre sí, o dos fases entre sí y tierra. Este tipo de cortocircuito provoca un desequilibrio de corrientes entre las fases. En la figura 2.4, se puede observar este fenómeno en las señales de voltaje, simulado en Matlab.

A pesar de la corta duración del evento, en este caso la carga sí sufriría el efecto de los huecos de tensión, y podría afectar a equipos especialmente sensibles como equipos de informática y de control automático.

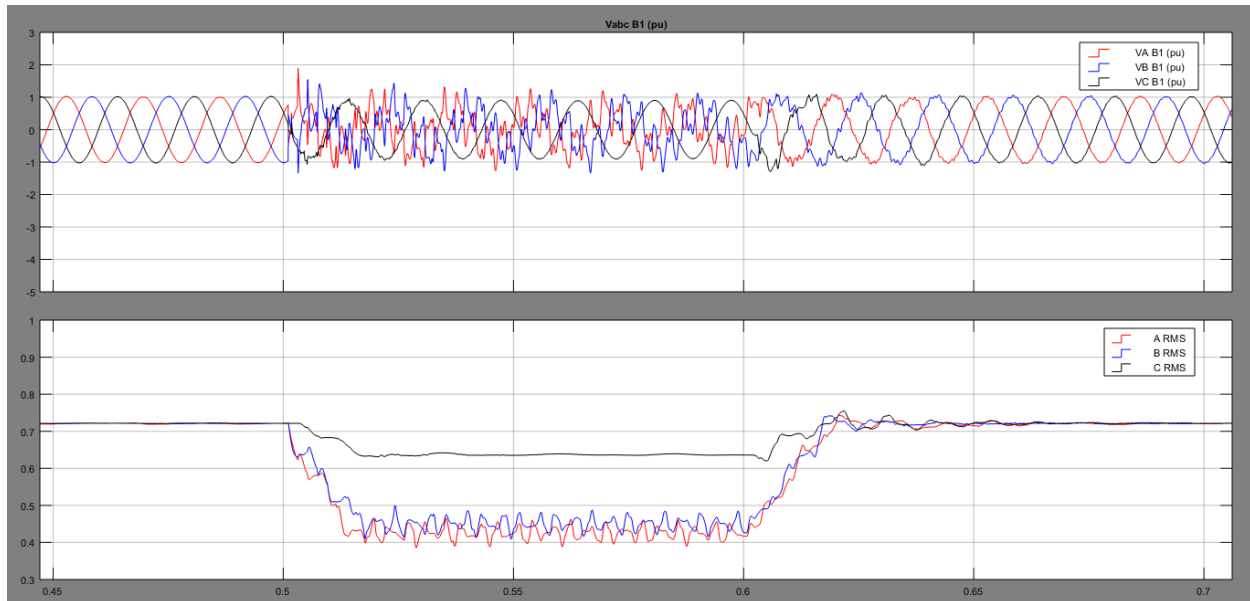


Figura 2. 4 Simulación de Sag 40% 100 ms, provocado por falla Bifásica de Fase A y B a tierra, simulado en Matlab.

Cortocircuito trifásico: Este cortocircuito supone que las tres fases tienen contacto entre sí o a través de una impedancia muy baja. Es el más grave que puede darse. Las corrientes de cortocircuito son iguales en las tres fases. Se considera, un hueco de tensión en cada fase del 50% y con una duración de 100 ms.

En la figura 2.5 se observa que la carga sufre una disminución importante de potencia durante los 100 ms que dura el cortocircuito, esto podría suponer funcionamientos defectuosos, o más probablemente paradas, incluso en equipos más robustos que no se habrían visto afectados directamente en el cortocircuito bifásico.

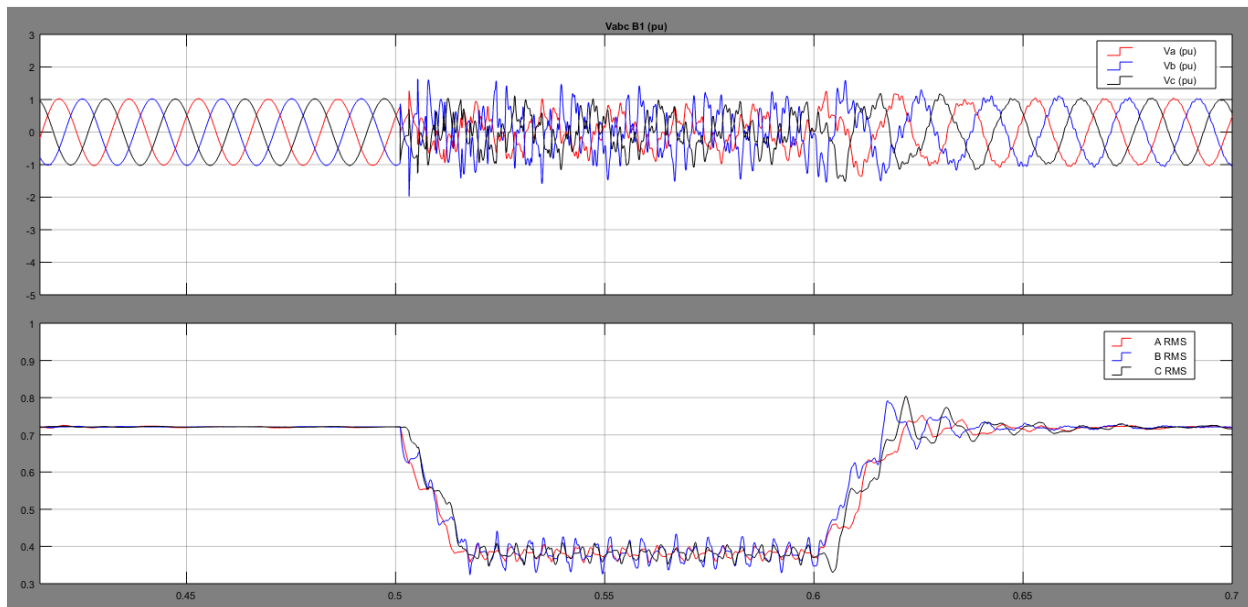


Figura 2. 5 Simulación de Sag 50% 100 ms, provocado por falla trifásica, simulado en Matlab.

2.2.1.2 HUECO DE TENSIÓN DEBIDO A ARRANQUE DE MOTORES.

El arranque de un motor de inducción demanda grandes corrientes, en torno a 5 veces la corriente nominal, y con un factor de potencia muy bajo. Actualmente, para evitar perturbaciones, se limita la demanda de intensidad en el arranque con variadores de velocidad o diferentes configuraciones de arranque, el efecto que tendría el arranque de un motor si no hubiera protecciones que limitasen la demanda de corriente sería el mostrado en la figura 2.6.

A diferencia de las faltas de red, la duración del hueco de tensión está determinado por la inercia de la máquina, una vez alcance el estado estable la corriente disminuye provocando que el hueco de tensión desaparezca. En la figura 2.6 se muestran los resultados de simulación de un hueco de tensión originado por el arranque de un motor de inducción en un sistema de 13,8 kV.

Esta clase de huecos de tensión se caracterizan por la recuperación de tipo exponencial que sigue la tensión. Este comportamiento hace que sea clasificado como un hueco de tensión no rectangular [18]. Generalmente, los huecos de tensión producidos por motores son menos severos que los producidos por cortocircuitos en la red eléctrica. El motor de inducción presenta importantes efectos sobre los huecos de tensión, de tal forma que puede modificar la característica rectangular del hueco debido a la generación de un hueco producto de la reaceleración de la máquina una vez se da el despeje de la falla generadora del hueco de tensión original [12].

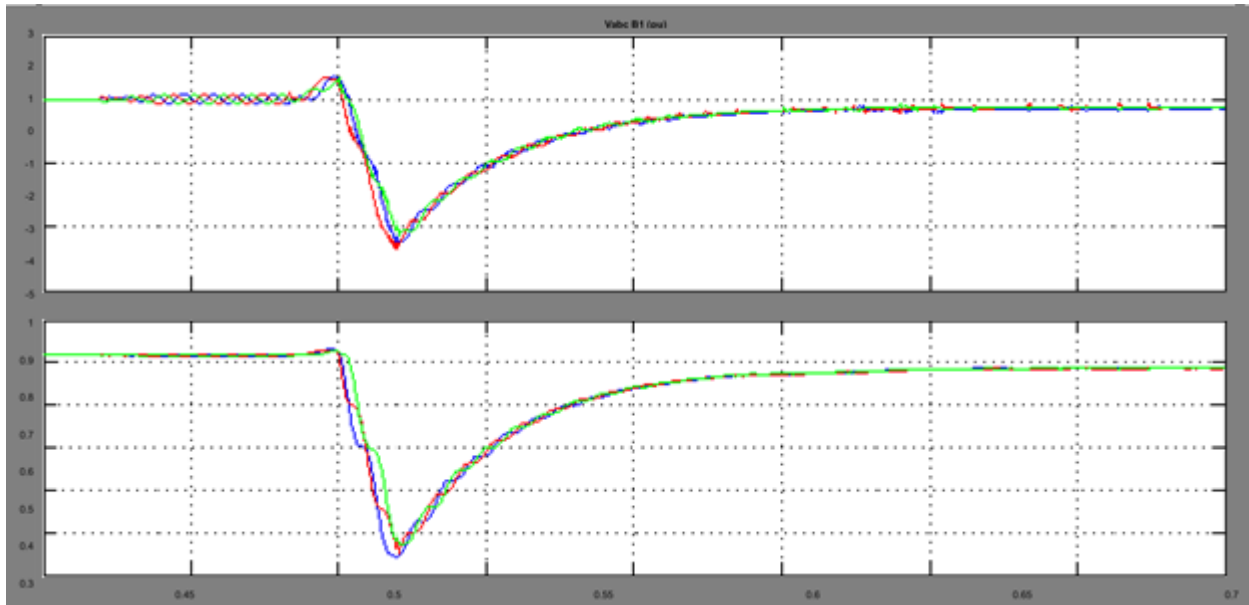


Figura 2. 6 Caracterización del hueco de tensión en rms producido por un motor de inducción simulado en Matlab

2.2.1.3 HUECOS DE TENSIÓN DEBIDO A ENERGIZACIÓN DE TRANSFORMADORES.

Durante la energización de un transformador se presentan transitorios en el flujo magnético del transformador originándose elevadas corrientes de magnetización en el transformador. En la figura 2.7 se muestra un hueco de tensión originado por la energización de un transformador.

Una característica importante de los huecos de tensión originados por la energización de transformadores es el desbalance que se presenta entre las tensiones de fase y el contenido significativo de armónicos de corriente inyectados por el transformador [11]. Esto resulta importante para distinguir entre huecos de tensión originados por la energización de transformadores y huecos de tensión por el arranque de motores de inducción ya que estos últimos, aunque presentan una recuperación tipo exponencial, no inyectan armónicos a la red.

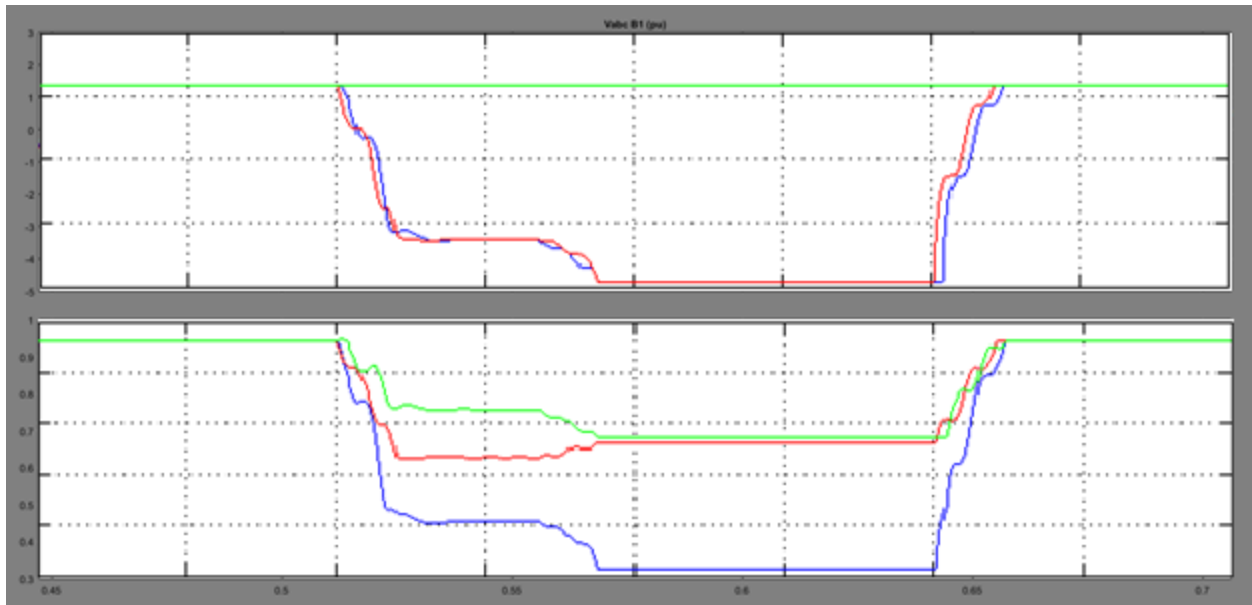


Figura 2. 7 Caracterización del hueco de tensión en rms producido por energización de un transformador conectado directamente a carga simulado en Matlab.

2.2.1.4 CLASIFICACIÓN FASORIAL DE HUECOS DE TENSIÓN EN LÍNEAS TRIFÁSICAS

Se han definido los sags de tensión producidos por cortocircuitos en líneas trifásicas asumiendo que las fases son ideales y se mantienen a 120° entre sí para facilitar el estudio y la generación de estos. Sin embargo, en la clasificación más común de huecos de tensión trifásicos y monofásicos, se añade información respectiva al desfase que se genera durante el hueco [11].

Esta clasificación arroja un resultado de más tipos de huecos de tensión, en función del tipo de cortocircuito y de si la carga está conectada en triángulo o en estrella. Esta información es importante a la hora de estudiar la propagación de los huecos de tensión a través de los transformadores ya que cambiará el tipo de hueco de tensión al pasar del devanado primario al devanado secundario.

Para la prueba de robustez aplicada en este documento no es necesario profundizar en el desfase de los huecos de tensión en sistemas trifásicos ya que no es necesario hacer este tipo de distinciones a la hora de crear una curva de robustez.

2.3 NORMAS DE CALIDAD DE POTENCIA.

La mejor manera de garantizar que los equipos del proceso sean compatibles con su entorno eléctrico es exigir que el equipo cumpla con los estándares de los sags de voltaje, por lo que los fabricantes de equipos tienen que ser forzados a incorporar tolerancia a sags de voltaje en sus equipos.

EPRI (Electric Power Research Institute), en diversos estudios ha mostrado que las máquinas que se construyen bajo estándares de sags de voltaje, como SEMI F47 e IEEE 61000-41, son de mayor confianza en la industria y se encuentran con casi ninguna diferencia en costo.

EPRI reconoce estándares de sags de voltaje discutidos en el presente documento, estos son:

- ITIC (Information Technology Industry Council)
- Curva del Information Technology Industry Council ITIC (CBEMA) (1996)
- SEMI F47-0706 (Semiconductor Equipment and Materials institute)
- IEC 61000-4-11 and 61000-4-34 (International Electrotechnical Commission)

2.3.1 CURVA ITIC (CBEMA - 1996)

En 1977 El Computer and Business Equipment Manufacturers Association's (CBEMA) desarrolló un estándar para abordar el perfil de rendimiento energético de los equipos informáticos, a lo largo de los últimos treinta años, la curva del CBEMA pasó de ser una simple curva que describía el rendimiento de la estructura principal del equipo de cómputo (las PC no estaban disponibles), a una curva que se usó para intentar definir todo, desde los criterios de especificación para equipos electrónicos hasta la base del rendimiento de la calidad de la potencia, contratos entre empresas eléctricas y grandes clientes industriales adoptaron como base esta normativa.

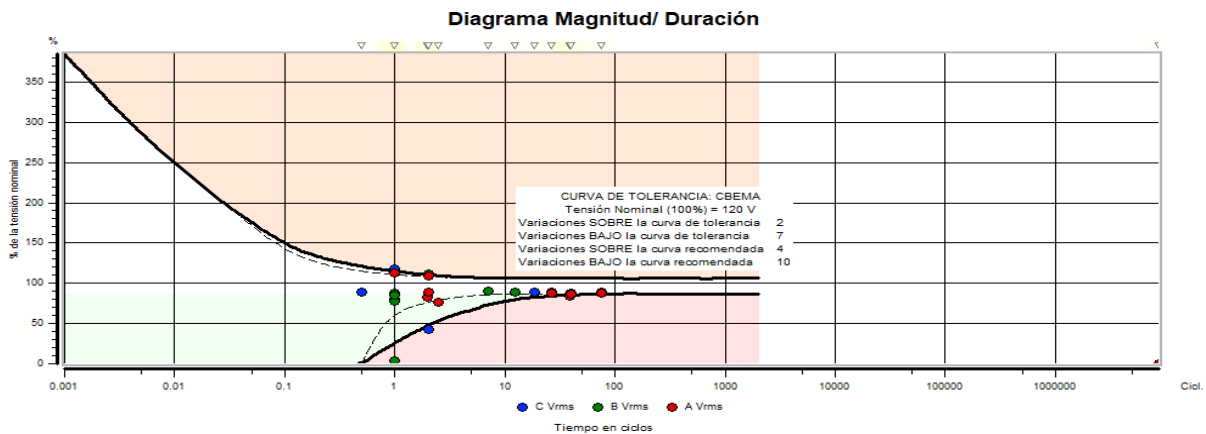


Figura 2. 8 Curva CBEMA tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Aquellos puntos por encima de la traza positiva suponen causas de mal funcionamiento, tales como fallas en el aislamiento, disparos por sobretensión, y sobreexcitación. Los puntos por debajo de la negativa implican causas de pérdida de carga debido a la falta energía. La región de tensión de +/-10% se encuentra definida como margen de estado estable de suministro. Cualquier variación de tensión dentro del +/-10% no será evaluada como eventos ni perturbación.

La curva superior se encuentra definida por una duración mínima de 1 milésima de ciclo (0,001 * Ciclo) y un desvío de tensión respecto de la tensión nominal de alrededor de 200%. Habitualmente se emplea la curva, a partir de la décima parte de un ciclo (0,1 * Ciclo) debido a las limitaciones prácticas de los instrumentos de calidad de potencia y a las diferencias de criterios sobre la definición de magnitudes en el marco de tiempos subciclo.

Hacia los años 1990, el análisis mediante la curva CBEMA se sustituyó por la curva ITIC desarrollada por "Information Technology Industry Council". Comparativamente contempla una aplicación con un espectro más amplio sobre el comportamiento de los equipos presentes en la industria actual.

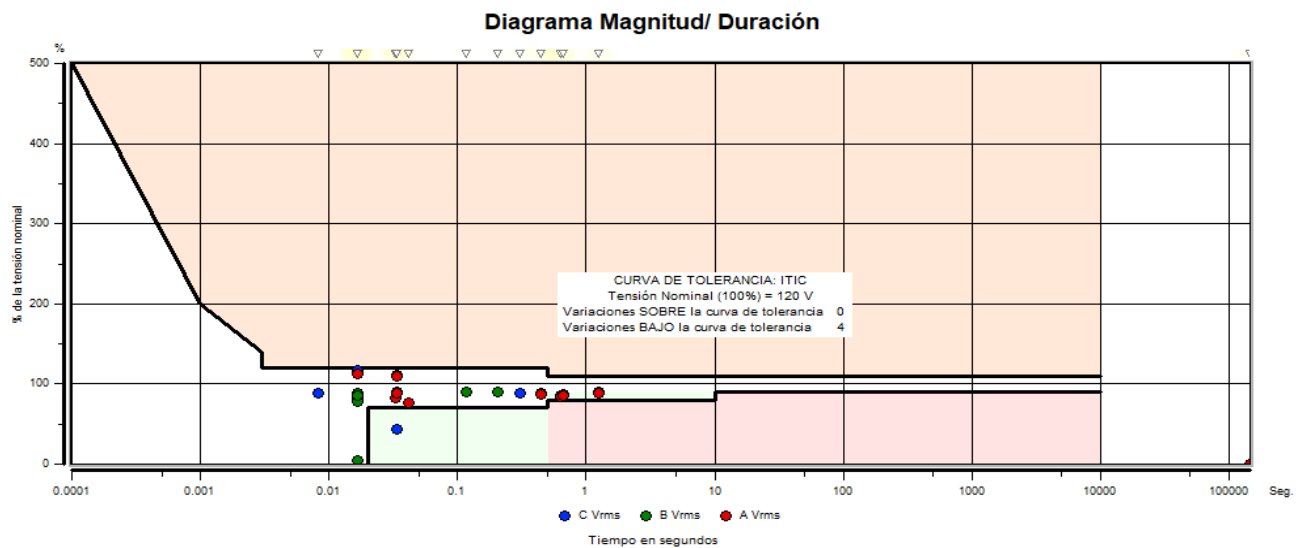


Figura 2. 9 Curva ITIC tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Desarrollada con fines de aplicación para equipamientos de tensión nominal de 120V, obtenidos de suministros 208Y/120V y 120/240V @ 60Hz, las aplicaciones de los criterios de evaluación no son exclusivos, permitiendo ser implementadas bajo el criterio técnico en redes de 50Hz, para verificar la confiabilidad del suministro.

El plano duración – magnitud de la curva ITIC-CBEMA define además de las dos regiones, de operación y mal funcionamiento, otras tres regionales de análisis estadístico. La zona de sobre tensiones (swell) comprendida entre el 10 y 20% con duraciones inferiores a 0,5s. La zona de sub-

tensiones (sag/dip) entre el -10 al -20 con duraciones limitadas por la curva negativa y por último, la zona de eventos con decaimiento oscilatorio de baja frecuencia (Low frequency decaying ringwave).

Con igual criterio que la curva ITIC-CBEMA, la región de tensión de +/-10% está definida como margen de estado estable de suministro, de modo que cualquier variación de tensión dentro del +/-10% no será evaluada como eventos ni perturbación.

Para la visualización de grandes cantidades de datos de control de calidad, con frecuencia se añade un tercer eje que represente el número de eventos dentro de cada rango predefinido por magnitud y duración, si se limita a sólo a dos dimensiones se presentará una trama de puntos sobre el plano tiempo-duración, en nuestro caso nos limitamos al plano tiempo duración. [3].

2.3.2 SEMI F47-0706, ESPECIFICACIONES PARA PRUEBAS DE INMUNIDAD.

EPRI junto con los proveedores de servicios públicos, fabricantes de semiconductores y proveedores de equipos semiconductores jugaron un papel decisivo en el desarrollo de SEMI F47 que se adoptó en 1999, la norma antes mencionada contiene especificaciones para la robustez de equipos semiconductores de procesamiento ante sags de voltaje, definen el mínimo nivel de dip de voltaje para no causar fallas en el funcionamiento de los equipos semiconductores.

- SEMI F47-0706 Referencia a Estándares de IEC (IEC 61000-4-34) para información del protocolo de prueba.

Esta normativa no abarca la calidad del producto, la intención de la norma es mantener el equipo en funcionamiento sin intervención del operador cuando se ve expuesto a sags de voltaje por encima de los márgenes definidos en la tabla 2.4 y que se muestran en la gráfica 2.10.

Tabla 1. Inmunidad de sags de voltaje requeridos		
Profundidad Sag	Duración 50Hz	Duración 60 Hz
50%	10 ciclos	12 ciclos
70%	25 ciclos	30 ciclos
80%	50 ciclos	60 ciclos

Tabla R1-1 Inmunidad de sags de voltaje recomendados		
Profundidad Sag	Duración 50Hz	Duración 60 Hz
0%	1 ciclo	1 ciclo
80%	500 ciclos	600 ciclos

Tabla 2. 4 Reproducción de Tabla 1, Tabla R1-1 de norma SEMI F47

Los límites establecidos determinan la región de funcionamiento y establecen una zona inferior, como prohibida o de mal funcionamiento. Como es de esperar, los intervalos de tiempos fuera de lo especificado, deben ser contemplados, para ello SEMI F47 establece y recomienda umbrales adicionales, que no son requisitos de la norma y pueden observarse en la tabla 2.4, a partir de ello, se incluyen huecos del 0% residual hasta 1 ciclo, del 80% residual hasta 10s y huecos continuos del 90% residual. [2]

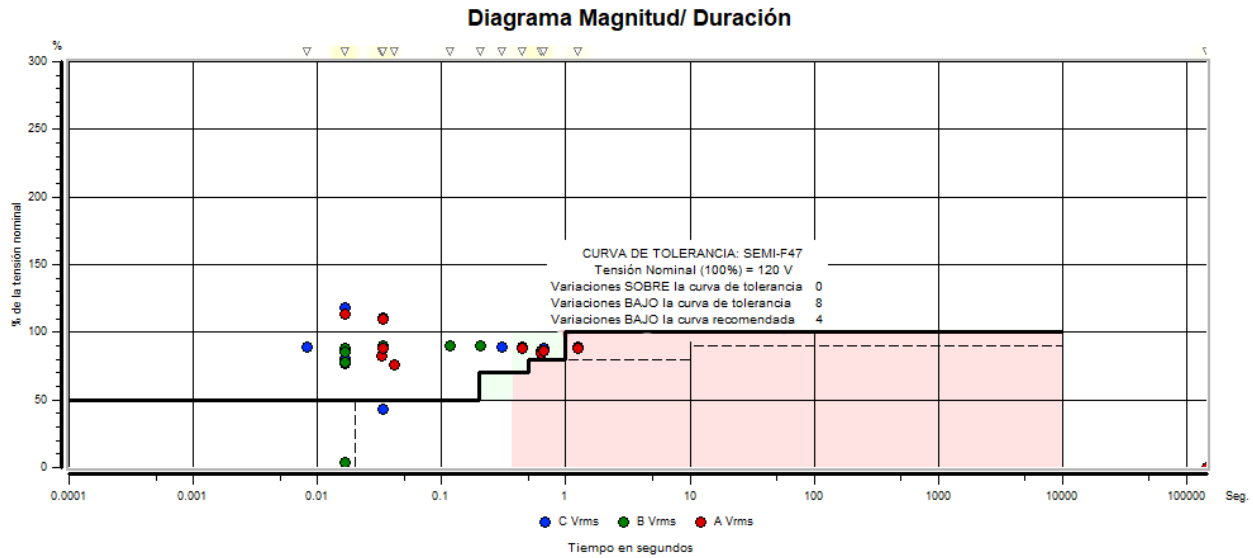


Figura 2. 10 Curva SEMI F-47C tomada con analizador de energía Dranetz en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

2.3.3 IEC 61000-4-11/34, Especificaciones para pruebas de inmunidad.

Dentro de la normativa IEC 61000-4 existen dos opciones para la evaluación de los equipos y estas son:

- IEC 61000-4-11 está destinado a ser utilizado en equipos con MENOS de 16A
- IEC 61000-4-34 está destinado a ser utilizado en equipos con MÁS de 16A

La intención de las normas IEC 61000-4-11 y -34 es definir los niveles de sags de voltaje, no para tipos específicos de equipos, sino para intentar definir el entorno del equipo.

La Tabla 2.2 se muestran los niveles de prueba y en la tabla 2.3 los criterios de desempeño de los equipos, para definir en qué clase debe de ser evaluado nuestro equipo debemos tomar en cuenta lo siguiente.

IEC 61000-4-11 Clase 1:

Esta clase se aplica a los suministros protegidos y tiene niveles de compatibilidad inferiores a los de la red pública, se relaciona con el uso de equipos muy sensibles a las perturbaciones en la fuente de alimentación, por ejemplo, la instrumentación de laboratorios tecnológicos, algunos equipos de automatización y protección, algunas computadoras, etc.

NOTA Los entornos de Clase 1 normalmente contienen equipos que requieren protección por parte de aparatos como Fuentes de alimentación (UPS), filtros o supresores de sobretensiones.

IEC 61000-4-11 Clase 2:

Esta clase se aplica a puntos de acoplamiento común (para sistemas de consumo) y puntos de acoplamiento común en el entorno industrial en general. Los niveles de compatibilidad en esta clase son idénticos a los de las redes públicas; por lo tanto, los componentes diseñados para su aplicación en redes públicas pueden usarse en esta clase de entorno industrial.

IEC 61000-4-11 Clase 3:

Tiene niveles de compatibilidad más altos que los de la clase 2 para algunos fenómenos de perturbación de be de considerarse para entornos industriales. Por ejemplo, esta clase debe considerarse cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Una parte importante de la carga se alimenta a través de convertidores.
- Máquinas de soldadura están presentes.
- Los motores grandes se arrancan con frecuencia.
- Las cargas varían rápidamente.

NOTA 1 El suministro a cargas altamente perturbadoras, como hornos de arco y grandes convertidores que generalmente se suministran desde una barra de bus segregada, con frecuencia tiene niveles de perturbación que superan la clase 3 (ambiente hostil). En tales situaciones especiales, los niveles de compatibilidad deben ser acordados.

NOTA 2 La clase aplicable para nuevas plantas y extensiones de plantas existentes debe relacionarse con el tipo de equipo y el proceso en consideración.

IEC 61000-4-11 Clase X:

Definida por el usuario. [1]

2.4 NORMAS DE SAGS DE VOLTAJE: SEMI F47-0706 E IEC 61000-4-11

- ‘Sags’ en América, ‘Dips’ en Europa
- Requiere equipo para tolerar sags/dips de voltaje
- 61000-4-11 hasta 16 amperios por fase
- 61000-4-34 más de 16 amperios por fase

- 61000-4-11 ya obligatorio
- Para TODAS las industrias (maquinaria, productos de consumo, etc.)

Superposiciones

- Tanto la norma IEC como la SEMI utilizan los mismos métodos de prueba.
- La norma SEMI usa estándares IEC para definir el generador de sags de voltaje
- Algunas duraciones de los puntos de prueba son las mismas
- Algunos niveles de puntos de prueba son los mismos
- Ambas normas utilizan solo pruebas de fase a fase, y no se requieren reducciones de 3 fases.

Diferencias

- SEMI F47-0706 para los tres métodos de prueba de fase a fase, IEC 61000-4-34 permite solo dos métodos de fase a fase.
- Las normas tienen diferencias en los niveles de prueba y duraciones.
 - ✓ IEC define los puntos de prueba según la Clase de equipo (Clase 1, 2, 3 y X)
 - ✓ Desde el punto de vista de IEC 61000-4-34, el punto de prueba SEMI F47 se incluye en equipos de Clase X.
 - ✓ Las normas IEC tienen requisitos de puntos de prueba de interrupción corta (Tabla 2 en el estándar), SEMI F47-0706 no.

Clase	Nivel de prueba y duración de interrupciones cortas (ts)(50Hz/60Hz)
Clase 1	Caso por caso de acuerdo a los requerimientos del equipos
Clase 2	0% durante 250/300c ciclos
Clase 3	0% durante 250/300c ciclos

Tabla 2. 5 Niveles de prueba y duraciones para interrupciones cortas (Reproducido de la Tabla 2 de IEC 61000-4-11 (2004))

Criterios de aprobación / rechazo

- SEMI F47
- Determinado por el cliente
 - ✓ Generalmente aceptado:
 - Recuperación sin intervención del operador.
 - Componentes - operación nominal completa

IEC 61000-4-34

- ✓ Rango de opciones desde “sin daños” hasta “operación nominal completa” (debido a varias industrias), se deben de considerar los criterios antes descritos.

Comparación general de normas

Norma	Peor caso para el punto de prueba del Sag de Voltaje	Define los requisitos y configuración del instrumento de prueba
SEMI F47-0706 para: Herramientas, subsistemas y componentes de semiconductores	10/12 ciclos 50% Vnom	En su mayor parte se refiere a documentos IEC
IEC 61000-4-11 No específico de la industria: Equipo eléctrico <16A	10/12 ciclos 40% Vnom (Clase 3)	Si

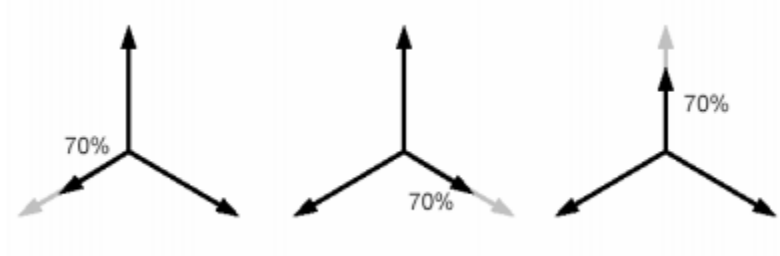
Tabla 2. 6 Comparación general de normas IEC y SEMI F47

Modos de prueba de sags de voltaje

IEC 61000-4-11

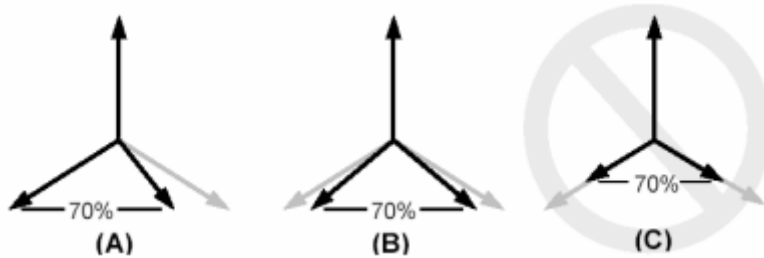
- Pruebas de fase a neutro

Las pruebas monofásicas se realizan variando cada fase del sistema, como se muestra a continuación



- Pruebas de fase a fase

Dentro de las pruebas de fase a fase se realizan desfases angulares como se muestran



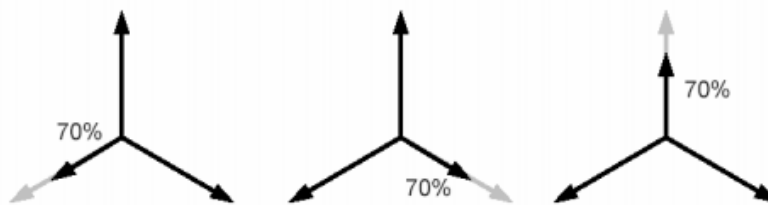
En IEC el desplazamiento angular o cambio de fase durante la variación de tensión es requerido, como se puede observar en (A) y (B).

- No hay caídas de tensión trifásica

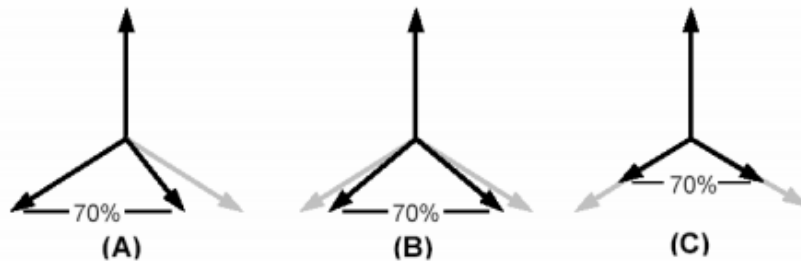
SEMI F47-0706

- Pruebas de fase a neutro

En la norma SEMI la forma de probar los equipos monofásicos es similar.



- Pruebas de fase a fase



A diferencia de la norma IEC61000-4-11, en SEMIF47 no es requerido el salto de fase, como se puede observar en (C).

- No hay caídas de tensión trifásica

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO GENERADOR DE SAGS PARA PRUEBAS DE ROBUSTEZ

Para poder realizar correctamente el análisis de los sags en plc's, es primordial crear un dispositivo que sea capaz de generar sags de manera controlada, con diferentes amplitudes y tiempos de duración.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El equipo generador de sags que se diseño es capaz de intercambiar dos señales con diferente tensión, en diferentes tiempos, con la misma frecuencia y fase, es capaz de alimentar una carga que demande una corriente considerable por lo que se utilizó un equipo con suficiente capacidad para suministrar energía.

La entrada de voltaje del equipo generador de sags alimenta un variac, que entrega la tensión reducida la cual pasará por relés de estado sólido (ssr), dichos relés son controlados desde el programa “Voltage Sag Simulator” (sección 4.7) el cual está desarrollado en LabVIEW y se comunica a través de un NI USB 6008 que controla transistores conectados a una etapa de control lo que proporciona precisión a la hora de generar los sags.

3.2 DIAGRAMA UNIFILAR

En la imagen 3.1. Podemos observar el diagrama unifilar del equipo generador de sags, diseñado para proteger de daños el equipo bajo prueba de robustez y al mismo equipo, por lo que se están utilizando protecciones para la alimentación principal y en la salida de los relés de estado sólido.

Para el correcto funcionamiento del equipo generador de sags, se diseñó un sistema que es capaz de combinar dos señales con diferente amplitud sin que se generen problemas eléctricos, a través de un ssr que funciona como transición entre las dos señales.

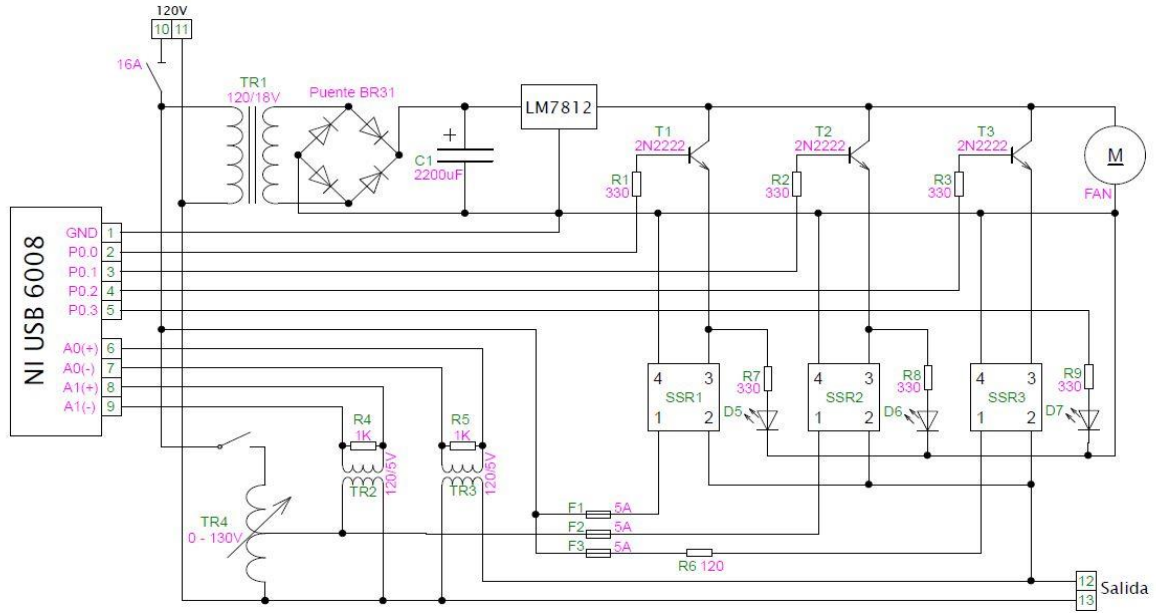


Figura 3. 1 Diagrama unifilar del generador de sags

3.2.1 ETAPA DE CONTROL

En la etapa de control se tiene un rectificador de onda completa conectada a la salida de un transformador de 120/18V que provee la potencia necesaria para que funcione el sistema de control, luego del rectificador, un capacitor elimina el rizado de la señal para luego pasar por el integrado que estabiliza la señal de tensión a 12V.

Para controlar los/ tres SSR se necesita un dispositivo electrónico que sea capaz de abrir y cerrar la conexión controlado, este dispositivo es la NI USB 6008, en la figura 3.2 se observa el funcionamiento de la etapa de control de del generador de sags.

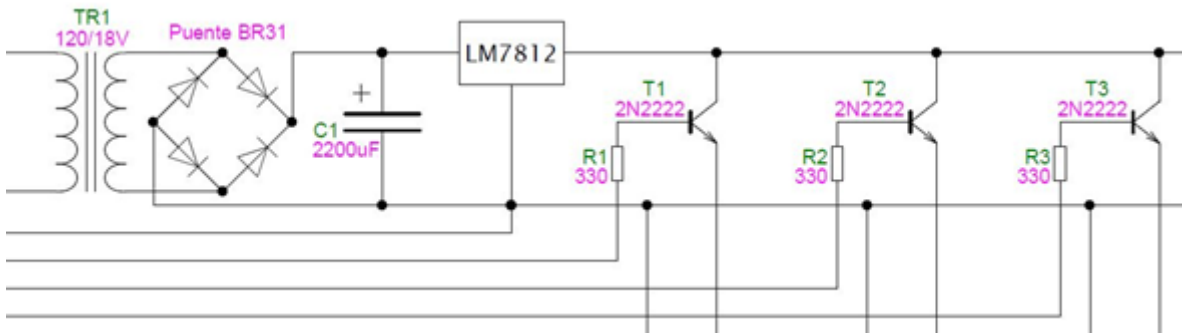


Figura 3. 2 Etapa de control del generador de sags

Como se puede observar en la figura 3.2 se están utilizando tres 2n2222 como interruptores, controlados a través de la base, protegido por resistencias de 330Ω , con el colector conectado a la salida del LM7812, y el emisor conectado a los terminales de control de las SSR.

3.2.2 ETAPA DE POTENCIA

Para controlar las señales de AC se utilizan tres SSR capaz de manejar hasta 10A cada uno, con lo que se maneja hasta tres señales diferentes, señal normal de AC (SSR1), señal de la salida del autotransformador (SSR2) y señal de transición (SSR3), conectadas todas a la misma salida como se puede observar en la figura 3.3.

Todas las señales antes de entrar a las SSR, pasan por fusibles para mayor seguridad del equipo que se utiliza y del equipo que está bajo prueba.

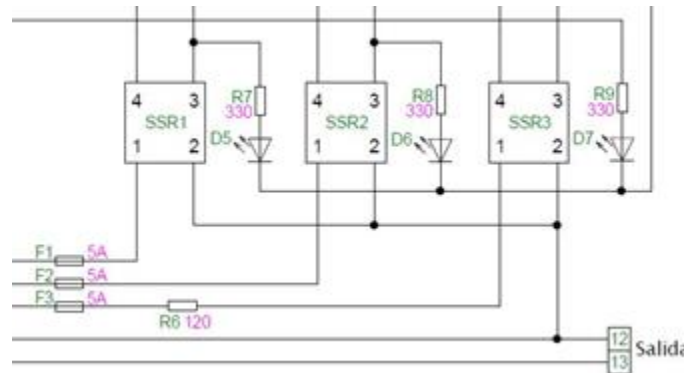


Figura 3.3. Etapa de potencia con tres SSR

Como podemos observar en la figura 3.3 existen tres leds indicadores, dos conectados directamente a los SSR y uno cuya conexión está directa a la NI USB 6008, dos de los leds nos indican cuando dos de las SSR están encendidos y el tercero representa un tiempo de espera desde que el software recibe la señal de “generar sag” hasta que se genera el sag.

3.2.3 ETAPA DE MEDICIÓN

Para poder mostrar en la pantalla del software el dato exacto de tensión que se está introduciendo a la carga es necesario medir con un transformador, el cual reduce la tensión a valores que pueden ser introducidos directamente a la NI USB 6008.

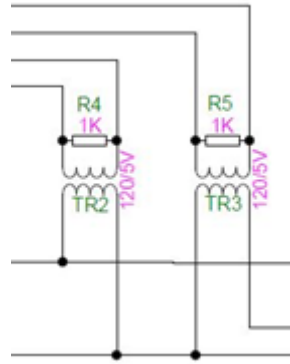


Figura 3. 4 Etapa de medición.

3.3. CONSTRUCCIÓN FÍSICA DEL EQUIPO GENERADOR DE SAGS

Con el diagrama unifilar presentado antes y los componentes descritos se procedió a realizar la construcción física del equipo, para lo cual se utilizó una caja metálica de 8x6x12" chapa 14, sin perforaciones en el cual se colocarán todos los dispositivos utilizados para el generador de sags monofásico.



Figura 3. 5 Vista lateral izquierda del generador de sags



Figura 3. 6 Vista lateral derecha del generador de sags



Figura 3. 7 . Vista frontal del generador de sags.

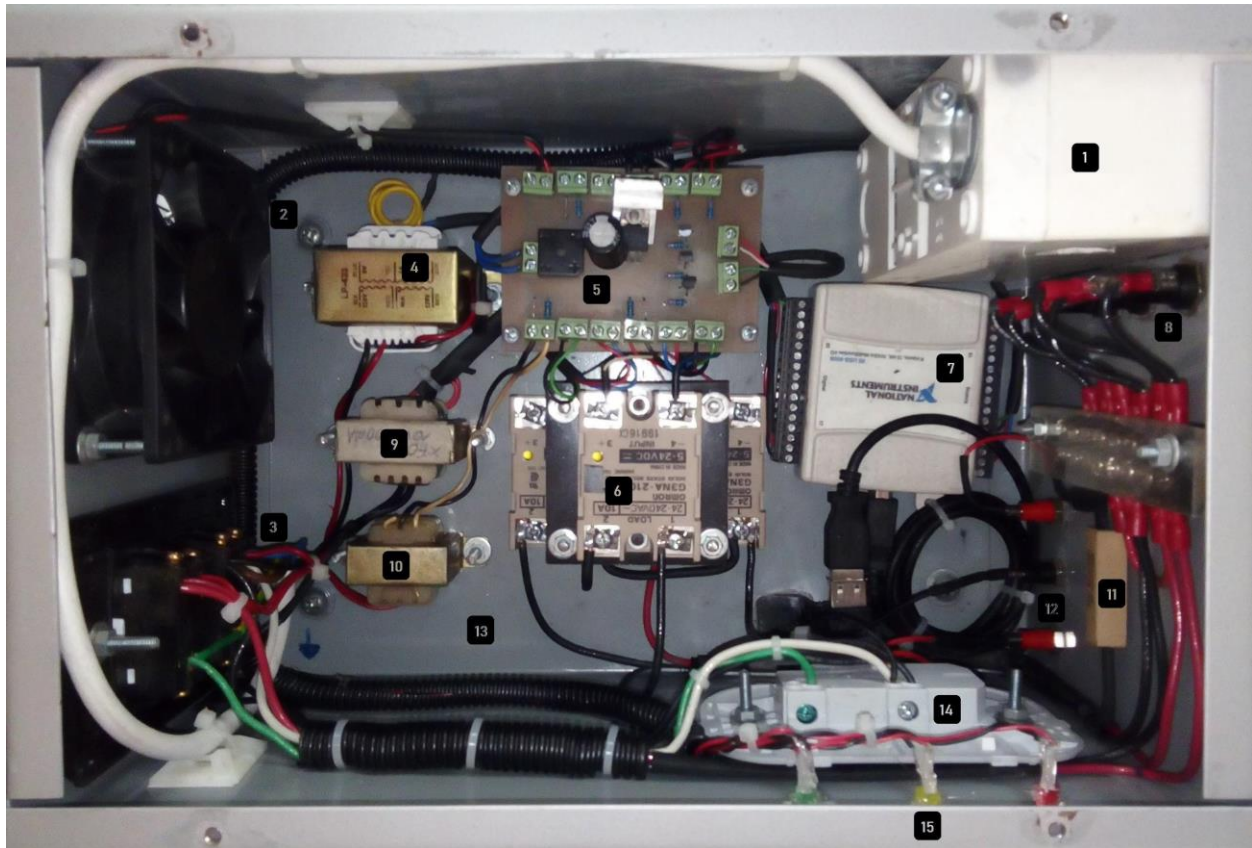


Figura 3. 8 Fotografía del interior del equipo generador de sags monofásico.

3.4 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS

3.4.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN

Un buen sistema de protección y su correcta coordinación es de suma importancia en la construcción de un sistema generador de sags con autotransformador (Variac), ya que el equipo de electrónica sensible a probar necesita la garantía de que la prueba no será destructiva.

3.4.1.1 PROTECCIÓN PRINCIPAL: INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

Como se puede ver en la figura 3.6 se ha utilizado un interruptor termomagnético de la gama de interruptores Btdin, que es la respuesta de Bticino para satisfacer plenamente las exigencias de protección contra sobrecarga y cortocircuito de una instalación eléctrica tipo residencial, comercial o industrial.

Con el propósito de cubrir todas las necesidades particulares de la aplicación, esta gama está disponible con curva de intervención C, D cuyas características constructivas permiten ofrecer

respuesta de disparo térmico y magnético que garantiza la protección efectiva de la instalación en un breve lapso de tiempo de solo:

- 0.004seg para 10 veces la corriente nominal (curva tipo C)
- 0.0025seg para 20 veces la corriente nominal (curva tipo D)

INTERRUPTOR BT DIN	FN81CEW16	
Norma de fabricación	CEI EN 608998	
Nº de polos	1	
Nº módulos	1	
Curva característica de intervención	C	
Corriente nominal In (A) a 30°C	16	
Tensión máxima de empleo V _{máx} (V a.c.)	240 ± 10%	
Tensión nominal de aislamiento Vi (V a.c.)	500	
Frecuencia nominal (Hz)	50 – 60	
Temperatura de empleo (°C)	-25 a +70	
Temperatura de aislamiento (°C)	-40 a +70	
Grado de protección en bornes	IP20	
Clase de limitación (CEI EN 60898)	3	
Alimentación superior e inferior	SI	
Número máximo de maniobras eléctricas	10000	

Número máximo de maniobras mecánicas	20000	
Sección del conductor máxima permisible	35 mm ² (2AWG)	
Corriente de ruptura en (I _{cn} @ 127V a.c.)	10KA	

Tabla 3. 1 Descripción del interruptor termomagnético.

3.4.1.2 PROTECCIÓN PARA LOS SSR: FUSIBLE TIPO AMERICANO DE 10^a

Como se puede observar en la figura 3.6. los fusibles utilizados para proteger los SSR de sobrecorriente puede ser como máximo de 10A, ya que es el valor máximo que soportan dichos terminales.

3.4.2 TRANSFORMADORES

3.4.2.1 TRANSFORMADOR VARIABLE

El transformador variable es capaz de entregar tensiones desde 0V hasta 130V lo que es la parte fundamental del generador de sags, como se puede ver en la figura 3.7, el transformador posee un dial con el que es posible regular la tensión de sus terminales de salida, además de un voltímetro que nos muestra la tensión que se está utilizando, para una mejor precisión en la tensión establecida se utiliza una medición de tensión con osciloscopio para que el valor exacto de tensión se muestre en las pantalla del programa de control.



Figura 3. 9Transformador variable

Especificaciones:

Modelo	TDGC-2 KM
Material	Hierro, bobina de cobre
Color	Rojo
Entrada de voltaje	AC 110 V/60Hz
Voltaje de salida	AC 0 – 130 V/60Hz
Max salida	20 amperios
Tipo de conector	US Plug
Condiciones	Temperatura: < 40 °C
	Humedad: ≤ 5%
Horas de trabajo	8 horas

Resistencia de aislamiento	> 10 mΩ
Potencia Longitud del cable	125 cm/5" aprox.
Dimensiones	19 x 16 x 18.5 cm/7.5 x 6.3 x 7.3"
Peso	22 lbs

Tabla 3. 2 Especificaciones de transformador variable

3.4.2.2 TRANSFORMADOR DE ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

El transformador que alimenta el circuito de control del generador de sags tiene valores de tensión de 120V/18V de primario y secundario respectivamente, es capaz de entregar hasta 1A, que es suficiente para alimentar los bjt y el sistema de enfriamiento como se puede ver en la figura 3.8 en el ítem 4.

3.4.2.3 TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN

Los transformadores de medición reducen señales de tensión para tener valores que puedan ser leídos por la tarjeta de adquisición de datos, las señales más importantes a medir es la salida del transformador variable y la salida del generador de sags como se puede ver en la figura 3.8 en los ítems 9 y 10.

3.4.3 FUENTE RECTIFICADORA

3.4.3.1 PUENTE DE DIODOS

Puente rectificador de onda completa BR-3, capaz de manejar hasta 3 amperios, encargado de convertir de AC a DC, una etapa importante del circuito de control como se puede observar en la figura 3.8 en el ítem 5, ya que alimenta los BJT que manejan los SSR.

3.4.3.2 CAPACITOR

El capacitor utilizado es de 2200uF es utilizado para evitar el rizado de la señal después de la rectificación, el nivel de tensión que soporta debe de ser mayor que la tensión que se está aplicando para evitar sobrecargas en el capacitor como se puede observar en la figura 3.8 en el ítem 5.

3.4.3.3 REGULADOR DE TENSIÓN

Para continuar con la fuente de alimentación, después de ser rectificadas la señal y eliminado el rizo, se debe regular la tensión, en este caso el LM7812, que regula a 12VDC, con una alimentación de entre 14.5 a 27V para su correcto funcionamiento como se puede observar en la figura 3.8 en el ítem 5.

3.4.4 SISTEMA DE POTENCIA

3.4.4.1 TRANSISTOR 2N2222

Un transistor de silicio de baja potencia de propósito general con polaridad NPN, mayormente utilizado como interruptor además de ser utilizado como amplificador, debido a la ventaja de necesitar muy poca corriente para accionar sus terminales emisor y colector como se puede observar en la figura 3.8 en el ítem 5.

3.4.4.2 RELÉS DE ESTADOS SÓLIDO (SSR)

Es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas como se puede observar en la figura 3.8 en el ítem 6.

3.4.5 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

3.4.5.1 NI USB 6008

Dispositivo USB de E/S Multifunción, 8 AI (12 Bits, 10 kS/s), 2 AO (150 Hz), 12 DIO—El USB-6008 es un dispositivo DAQ multifunción de bajo costo. Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6008 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6008 con conectividad de terminal de tornillo. El controlador NI-DAQmx y la utilidad de configuración incluidos simplifican la configuración y las medidas la ubicación de este elemento se puede observar en la figura 3.8 ítem 7.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL GENERADOR DE SAGS

4.1 ENTORNO DE LABVIEW

En esta sección se presenta la herramienta LabVIEW, entorno en el cual se ha desarrollado un programa llamado “Voltage Sag Simulator”, con el cual se controla el equipo generador de sags monofásico detallado en el capítulo anterior y que se ha implementado en este trabajo de grado. La información que se presenta a continuación es la que resaltaré las herramientas para la creación del programa, con la intención de que el lector pueda comprender el programa.

4.1.1¿QUÉ ES LABVIEW?

LabVIEW, acrónimo creado por las palabras en inglés Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, es un lenguaje y entorno de programación gráfica de ingeniería, su diseño es ideal para aplicaciones que requieren de mediciones, control y el acceso rápido a información de datos virtuales o que se obtienen de algún tipo de dispositivo compatible con el programa; un ejemplo de estos dispositivos son las tarjetas de adquisición de datos diseñadas por National Instrument.

LabVIEW tiene un entorno de programación gráfico, por lo que los programas no se escriben, sino que se dibujan por medio de bloques, y el flujo de datos se traza por medio de conexiones similares a cables. Esta labor de programar de manera gráfica es facilitada gracias a que existen librerías que constan de una gran cantidad de bloques o subVI's prediseñados con funciones específicas. Los programas desarrollados en LabVIEW se llaman VI's , proveniente de las palabras en inglés Virtual Instruments, haciendo referencia a la simulación de instrumentos, o el control de instrumentos compatibles. Estos programas tienen dos partes muy bien diferenciadas debido a que cada una de estas partes están en una ventana por separado, pero que dependen una de otra totalmente. Estas ventanas son el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques.

El Panel Frontal es la interfaz de interacción con el usuario cuando el programa se está ejecutando. En esta interfaz se encuentran los elementos de control y los indicadores. De estos, los elementos de control cumplen la tarea de introducir datos al programa, datos que podrían ser de tipo booleano, cadena, numérico u otros, según la función que desempeñe. Son parte esencial para el funcionamiento del programa pues son datos de entrada que le dan el valor a variables en la ejecución del programa. Los controladores pueden ser desde botones o interruptores, diales, deslizadores; hasta terminales de escritura, de esta forma el usuario del programa puede modificar parámetros de ejecución de un programa en LabVIEW. Por otro lado, los indicadores cumplen la función de mostrar datos de salida que tienen total dependencia con los procesos que realiza el programa. Los indicadores pueden ser desde barras, gráficas, y terminales de caracteres, etc. Estos

dos elementos son prácticamente una virtualización del panel de un equipo real, el cual se puede manipular para ajustar parámetros de interés, tanto como observar indicadores, pilotos y pantallas que muestran mensajes.

El Diagrama de Bloque es el programa en esencia, las entrañas del programa. Propiamente dicho, es donde se define el algoritmo por el que deben ejecutarse todas las acciones, aquí se colocan subVI's los cuales están diseñados para realizar una determinada función y se interconectan entre sí para formar el algoritmo por medio de líneas que representan el flujo de datos. Al abrir un VI o programa de LabVIEW, ambas ventanas están disponibles, y el usuario se pueden desplazar entre ellas libremente. La figura 4.1 muestra un el panel frontal y la ventana de diagrama de bloques para un VI en blanco. De forma resumida y concisa, el panel frontal incluye controles e indicadores, mientras que el diagrama de bloques incluye cables, íconos, funciones, subVI's probables u otros objetos de LabVIEW.

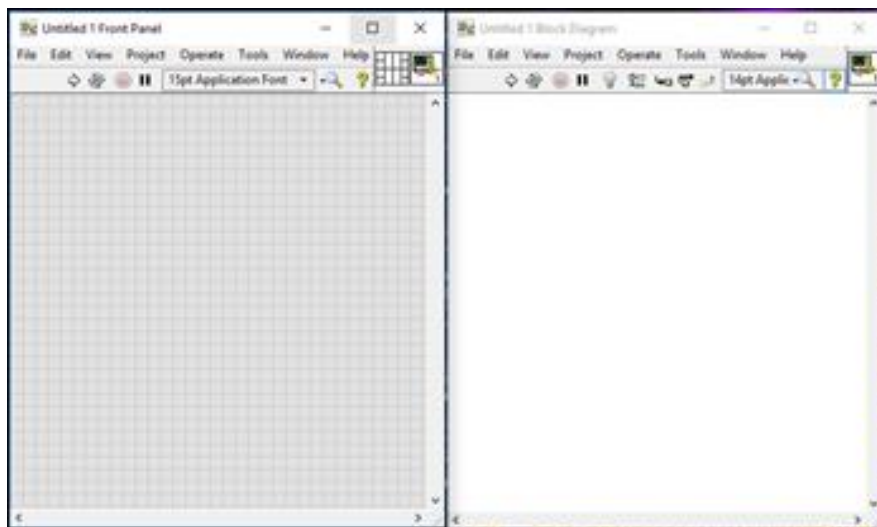


Figura 4. 1 : a) Panel Frontal b) Diagramas de bloques.

4.1.2 ¿QUÉ SON LOS SUBVI'S EN LABVIEW?

Como se ha dicho anteriormente, un VI es un programa hecho en el entorno de LabVIEW. Después de desarrollar un VI, este puede ser utilizado en otro VI con el propósito de reutilizar funciones ya desarrolladas. Un VI llamado desde el diagrama de bloques de otro VI es llamado subVI.

Puesto que un subVI es un VI que pasa a tener una forma de un bloque, como el que se muestra en la figura 4.2, es necesario definir la información relevante que solicitará y que proporcionará ese subVI, los cuales resultan ser los mismos datos de entrada y salida que se ingresan en su uso normal como VI. Es decir, si el panel frontal de un programa cualquiera solicita al usuario que ingrese ciertos datos de entrada, al usar este mismo programa como subVI, el subVI tendrá terminales de entradas que soliciten estos mismos datos, de igual manera sucede con las terminales de salida. Estos datos de entrada son las variables de carácter obligatorio que deben ser

especificadas para que el subVI desarrolle la función para la que fue diseñada. Los datos de salida que están configurados en el subVI son los resultados que muestra la función.

Los indicadores y controles de subVI reciben datos y regresan datos al diagrama de bloques del VI que hace el llamado. Cuando se hace doble clic en un subVI en un diagrama de bloques, aparece la ventana del panel frontal que le corresponde como VI.



Figura 4. 2 Icono de SubVI

4.2 TIPOS DE DATOS EN LABVIEW.

Dentro del diagrama de bloques, el flujo de datos se realiza al trazar cables de subVI a subVI. Pero estos datos no se pueden mezclar entre tipos distintos. A continuación, se presentan los tipos de datos que se pueden manipular en el entorno de LabVIEW y que son de vital importancia en el programa desarrollado para el generador monofásico de sags.

4.2.1 TIPO DE DATO CADENA DE CARACTERES

Una cadena es una secuencia de caracteres ASCII visibles o no visibles. Las cadenas de caracteres ofrecen un formato independiente a la plataforma para información y datos. Algunas de las aplicaciones más comunes de cadena de caracteres incluyen las siguientes:

- Crear mensajes de texto simples.
- Controlar instrumentos al enviarle comandos de texto y regresar valores de datos en la forma de ASCII o cadena de caracteres binarias, las cuales después puede convertir en valores numéricos.
- Almacenar datos numéricos a disco.
- Instruir o advertir al usuario con ventanas de diálogo.

En el panel frontal, las cadenas de caracteres aparecen como tabla, cuadros de texto y etiquetas. LabVIEW incluye VIs integrados y funciones que puede usar para manipular secuencias, incluyendo formateo de cadena de caracteres, análisis de cadena de caracteres y otras ediciones. LabVIEW representa datos de cadena de caracteres en color rosa como en la Figura 4.3.



Figura 4. 3 Datos de cadena.

4.2.2 TIPO DE DATO NUMÉRICO

LabVIEW representa datos numéricos como números de punto flotante, números de punto fijo, números enteros, números enteros sin signo y números complejos. Los datos de precisión doble o simple, así como datos numéricos complejos son representados con el color naranja en LabVIEW. Todos los datos numéricos enteros son representados con el color azul. La diferencia entre los tipos de datos numéricos es el número de bits que usan para almacenar datos y los valores de datos que representan.

Ciertos tipos de datos también ofrecen opciones de configuración extendida. Por ejemplo, puede asociar unidades físicas de medida con datos de punto flotante, incluyendo números complejos y se puede configurar la codificación y rango para datos de punto fijo.



Figura 4. 4 Tipo de dato numérico Doble complejo en diagrama de Bloques de LabVIEW.



Figura 4. 5 Tipo de dato numérico entero en diagrama de Bloques de LabVIEW

4.2.3 TIPO DE DATO BOOLEANO



Figura 4. 6 Tipo de dato Booleano en diagrama de Bloques de LabVIEW.

LabVIEW almacena datos Booleanos como valores de 8 bits. Un Booleano puede ser usado en LabVIEW para representar un 0 o 1 o un TRUE o FALSE. Si el valor de 8 bits es cero, el valor Booleano es FALSE. Cualquier valor no igual a cero representa TRUE. Las aplicaciones comunes para datos Booleanos incluyen representar datos digitales y servir como un control de panel frontal que actúa como un conmutador que tiene una acción mecánica generalmente usada para controlar una estructura de ejecución, como por ejemplo una estructura de Caso. Un control Booleano generalmente es usado como la declaración condicional para terminar un Ciclo While. En LabVIEW el color verde representa datos Booleanos, tal y como se ve en la figura 4.6.

4.2.4 TIPO DE DATO DINÁMICO

Los datos dinámicos dependen de VI's específicos llamados Express. La mayoría de los Express VIs aceptan o regresan tipos de datos dinámicos. Estos aparecen junto a los subVI comunes dentro de la paleta de control en la ventana del diagrama de bloques de LabVIEW con la diferencia de que aparecen como iconos rodeados por un campo azul. Este tipo de datos comúnmente están relacionado a la generación de señales virtuales, o a la extracción u obtención de datos de una tarjeta de adquisición de datos para LabVIEW. Comúnmente en el uso datos dinámicos se necesitan etapas de tratamiento de datos, y para esto, se deben adaptar otros subVI que conviertan el tipo de dato dinámico a otros tipos. Al usar los subVI Convert to Dynamic Data y Convert from Dynamic Data VIs, se puede convertir datos Booleanos o numéricos de punto flotante de los siguientes tipos de datos:

- Arreglo 1D de forma de onda
- Arreglo 1D de escalares
- Arreglo 1D de escalares – valor más reciente
- Arreglo 1D de escalares – un solo canal
- Arreglo 2D de escalares – columnas son canales
- Arreglo 2D de escalares – filas son canales
- Un solo escalar
- Una sola forma de onda



Figura 4. 7 Tipo de dato dinámico en diagrama de Bloques de LabVIEW.

4.3 ARREGLOS EN LABVIEW

Algunas veces es benéfico agrupar datos relacionados entre sí. Se puede usar arreglos y clusters para agrupar datos relacionados en LabVIEW. Los arreglos combinan el mismo tipo de datos en una estructura de datos y los clusters combinan datos de múltiples tipos de datos en una estructura de datos. Los arreglos de datos son parte del desarrollo del programa de control del generador de sags, y por tanto es de mucha importancia su comprensión.

Un arreglo consiste de elementos y dimensiones. Los elementos son los datos que componen el arreglo. Una dimensión es la longitud, altura o profundidad de un arreglo y puede tener una o más dimensiones. Se puede construir arreglos de tipos de datos numéricos, Booleano, paths, cadena de caracteres, forma de onda y cluster. En un VI se puede considerar usar arreglos cuando se trabaja con una colección de datos similares y cálculos repetitivos. Los arreglos son ideales para almacenar

datos que colecta desde formas de onda o datos generados en ciclos, donde cada iteración de un ciclo produce un elemento del arreglo. El índice del primer elemento en el arreglo, sin importar su dimensión, es cero.

Los elementos del arreglo son ordenados. Un arreglo utiliza un índice, así se puede tener acceso fácilmente a cualquier elemento en particular. El índice está basado en cero, lo cual significa que está en el rango de 0 a $n - 1$, donde n es el número de los elementos en el arreglo. Por ejemplo, $n = 31$ para los días de un mes específico, así el índice va de 0 a 30. La imagen 4.8 muestra un ejemplo de un arreglo numérico. El primer elemento que se muestra en el arreglo es 5, este es el elemento en el índice 0 y el segundo elemento es 7, está en el índice 1.

Cuando se utiliza el control de índices que aparece a la izquierda el elemento seleccionado en la imagen del índice siempre se refiere al elemento que se muestra en la parte superior izquierda de la imagen del elemento.



Figura 4. 8 Imagen del Índice de Arreglo, Arreglo del Control Numérico

4.4 ESTRUCTURAS DE EJECUCIÓN EN LABVIEW.

Las estructuras de ejecución contienen secciones de código gráfico y controlan la manera en la que se ejecuta el código que se encuentra dentro. Las estructuras de ejecución más comunes son los Ciclos While, Ciclos For, Estructuras de Casos y Estructura de Eventos los cuales se pueden utilizar, de acuerdo a su configuración, para ejecutar la misma sección del código varias veces o para ejecutar una sección diferente del código basada en alguna condición.

4.4.1 CICLO FOR

Un Ciclo For ejecuta un subdiagrama un número de veces establecido. La Figura 4.9 muestra un Ciclo FOR en LabVIEW. Como se especifica, el icono N es una terminal de entrada en el que se define el número de veces que el diseñador exige que se ejecute el subdiagrama. El icono que contiene la “i” es la terminal de salida en el cual se muestra el número de iteración que está ocurriendo en el instante. El código o subdiagrama a ejecutarse debe estar dentro del rectángulo que compone el ciclo FOR. La cantidad de iteraciones para el Ciclo For siempre comienza en cero, por lo tanto, la variable de salida “i” termina con el valor de $N-1$.

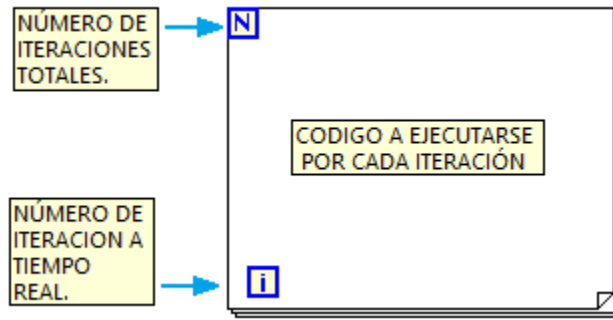


Figura 4. 9 Estructura básica de un ciclo For en LabVIEW.

4.4.2 CICLO WHILE

Un Ciclo While ejecuta el subdiagrama una y otra vez hasta que se cumpla una condición específica. En la figura 4.10 se muestra el ciclo While en el diagrama de bloques. Como se especifica, el icono que contiene la “i” es el número de iteración que ocurre a tiempo real cuando se ejecuta el programa. En este tipo de estructura, inicia su cuenta desde 0 y su conteo termina hasta que ocurra una condición dada. El icono rojo es el interruptor que rompe el ciclo. Por ejemplo, si se desea que el ciclo siga ejecutándose mientras los valores de i sean menores a 5, se debe crear una condición, comparando en cada iteración si el valor de i es 5 o menor a él. La figura 4.11 muestra dos ejemplos los cuales realizan la misma función, terminar el ciclo cuando la cuenta llegue a 5. En el primer caso, en cada iteración se pregunta si el valor de i es menor a 5, el ciclo se sigue ejecutando puesto que la respuesta es verdadera. Cuando el número sea 5, respuesta es falso, y el ciclo es obligado a romperse. De manera análoga el segundo ejemplo ejecuta una comparación si el valor de i es mayor o igual a 5, puesto que la respuesta es falsa, el ciclo se sigue ejecutando hasta que el número es 5, lo que cambia el resultado de la comparación al estado verdadero y esto provoca que el ciclo se rompa.

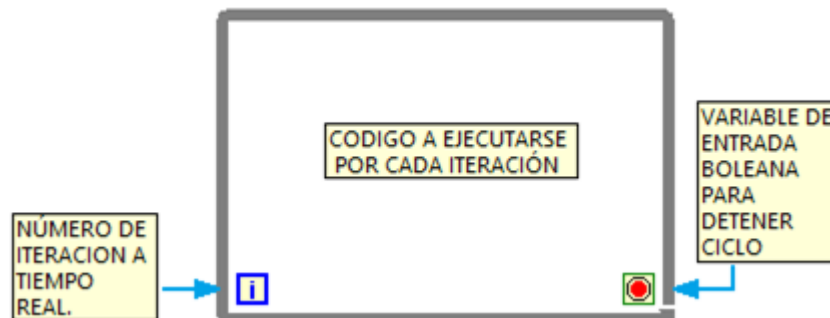


Figura 4. 10 : Estructura básica de ciclo While en Labview.

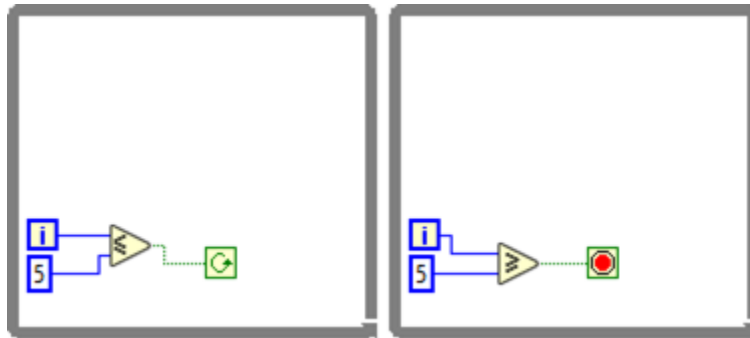


Figura 4. 11 Ejemplos de uso de ciclo While.

Dentro de las estructuras, el flujo de datos provoca la creación de túneles de datos. Estos canales son ductos virtuales de datos que comunican el exterior con el ciclo en cuestión. Datos externos podrían ingresar a un ciclo afectado funciones de la estructura, como lo inverso, datos de la estructura que se generan en una iteración y que son extraídos para alguna función fuera del ciclo. En un ciclo While los túneles alimentan datos desde y hacia estructuras. El túnel aparece como un bloque sólido en el borde del Ciclo While. El bloque es el color del tipo de datos cableado al túnel. Los datos salen después de que el ciclo termina. Cuando un túnel pasa datos a un ciclo, el ciclo se ejecuta solamente después que los datos llegan al túnel.

4.4.3 ESTRUCTURA DE CASOS

Una estructura de Casos tiene dos o más subdiagramas o casos. En el diagrama de bloques, solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determina cual subdiagrama se ejecuta. La etiqueta del selector de caso en la parte superior de la estructura de Caso contiene el nombre del valor del selector que corresponde al caso en el centro y las flechas cumplen la función de desplazarse a los otros casos existentes.

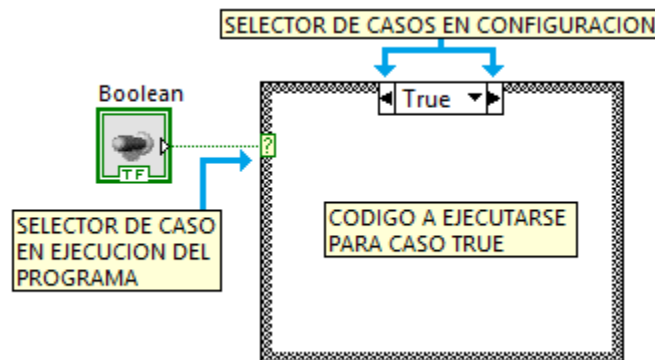


Figura 4. 12: estructura de 2 casos, true y false.

La estructura de casos puede tener dos o más casos, si el método de selección de casos dentro de la ejecución del programa es un booleano, la estructura de casos solo tendrá dos casos: True y False. De igual manera se puede hacer que la estructura tenga más casos, dependiendo el método de control de casos dentro de la ejecución del programa. La figura 4.12 muestra la estructura general de casos, en esta se especifica que un control manual, un interruptor, controla si el caso a ejecutarse es True o False.

Dentro de la configuración o programación se puede colocar la terminal del selector en cualquier parte del borde izquierdo de la estructura de Casos. Si el tipo de datos de la terminal del selector es Booleano, la estructura tiene un caso True o un caso False. Si la terminal del selector es un entero, secuencia o valor de tipo enumerado, la estructura tiene cualquier número de casos. Para el caso en que el seleccionador sea activado por datos tipo cadena, los valores de cadena de caracteres que cablea a la terminal del selector son sensibles a las mayúsculas/minúsculas de forma predeterminada. Para mostrar resultados no sensibles a las mayúsculas/minúsculas, se debe cablear un valor de caracteres a la terminal del selector.

Si no se especifica un caso de forma predeterminada para la estructura de Casos para manejar los valores fuera del rango, se debe enlistar de forma explícita cada valor de entrada. Por ejemplo, si el selector es un entero y usted especifica los casos para 1, 2 y 3, debe especificar un caso de forma predeterminada a ejecutar si el valor de entrada es 4 o cualquier otro valor entero no especificado. Si un caso no corresponde al tipo de dato que se ha cableado a la terminal del selector, el valor aparece en rojo. Esto indica que el VI no se ejecutará hasta que elimine, edite el valor o haga coincidir el tipo de dato con los nombres de casos. También, por el posible efecto de aproximación de error inherente a la aritmética de punto flotante, no puede usar los números de punto flotante como valores de selector de casos. Si se cablea un valor de punto flotante al caso, LabVIEW redondea el valor al entero más cercano. Si escribe un valor de punto flotante en la etiqueta del selector de casos, el valor aparece en rojo para indicar que debe eliminar o editar el valor antes que la estructura pueda ejecutarse.

4.4.3.1 TÚNELES DE ENTRADA Y SALIDA EN ESTRUCTURA DE CASOS

Se pueden crear múltiples túneles de entrada y salida para una estructura de Casos. Las entradas están disponibles para todos los casos, pero los casos no necesitan usar estos datos enviados por estos túneles. Sin embargo, se debe definir un túnel de salida para cada caso. Esto se puede ilustrar con un ejemplo: en la figura 4.13 se muestra un ejemplo del uso de una estructura de casos. Por fines ilustrativos se muestran los 3 casos posibles que se puede seleccionar desde el selector de casos por medio de una variable de control numérica. A la estructura de casos entran 2 constantes de dos tipos diferentes de datos, un arreglo de datos enteros y una constante numérica, además de un indicador numérico como salida de la estructura de casos. En todos los casos mostrados: 1, 2 y 3; las entradas de datos no necesitan ser utilizadas, ni se necesitan procesar y llevar como datos de

salida. Mientras que, para la variable de salida, es decir, el indicador “Numeric 2”, cada caso debe proporcionarle un valor numérico. Si no se proporciona un valor, LabVIEW detecta un error y no permite la ejecución del programa. Para el caso cero, el valor es de cero. Para el caso 1 el valor es de 1, y en el caso 2, reutiliza el valor de la variable de entrada de 25.

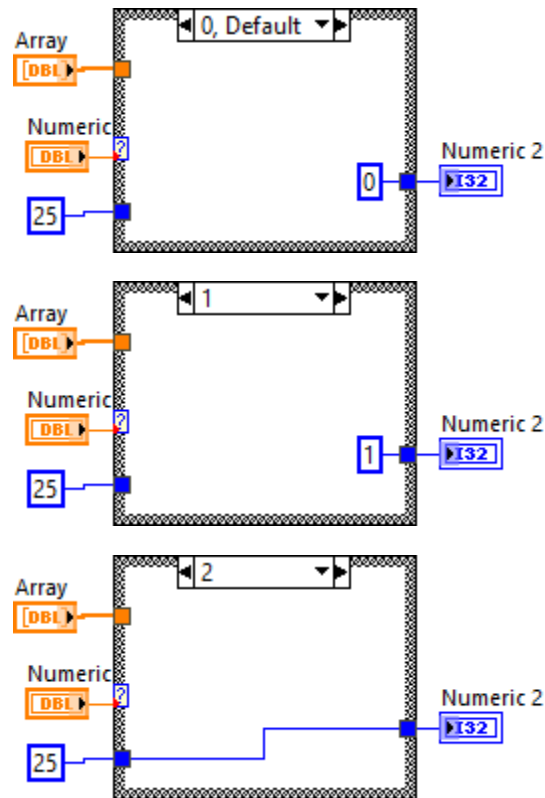


Figura 4. 13 Caso ilustrativo de una estructura de casos, utilizando los túneles.

4.4.4 ESTRUCTURA DE EVENTOS

Este tipo de estructura espera hasta que ocurra un evento el cual podría ser desde presionar un botón, los valores en una variable o algo más complejo que involucren subVI más sofisticados. Luego de que esta estructura detecta el evento, ejecuta el caso apropiado para manejar ese evento. La estructura del evento tiene uno o más subdiagramas o casos de eventos, exactamente uno de los cuales se ejecuta cuando la estructura se ejecuta para manejar un evento. Puede configurar un solo caso de evento para manejar múltiples eventos, pero solo uno de estos eventos dentro del caso de evento puede ocurrir a la vez. Debe colocar la estructura de eventos en un bucle While para manejar múltiples eventos. Un solo caso en la estructura del Evento no puede manejar los eventos de notificación y de filtro. Un caso puede manejar múltiples eventos de notificación, pero puede manejar múltiples eventos de filtro solo si los elementos de datos del evento son idénticos para todos los eventos. Puede configurar cualquier número de estructuras de evento para responder al

mismo evento de notificación o evento de filtro en un objeto específico. En la figura 4.14 se muestra la forma elemental de una estructura de eventos la cual es descrita a continuación.

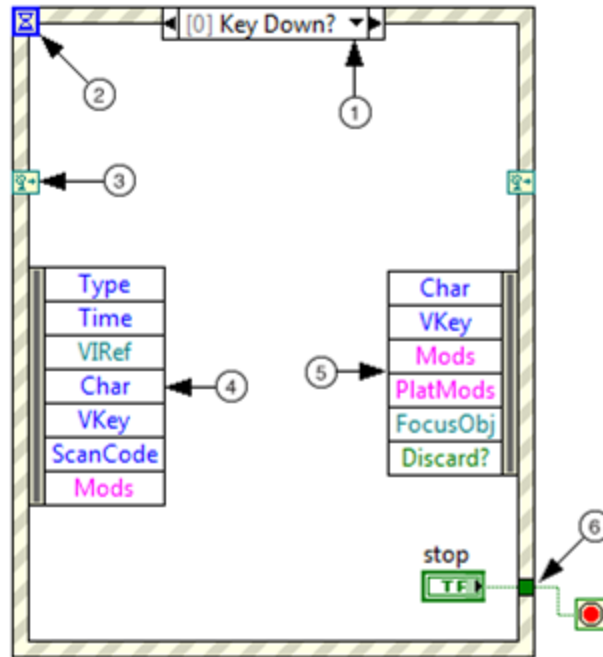


Figura 4. 14: descripción de la estructura de eventos.

1. La etiqueta del selector de eventos especifica qué eventos hacen que se ejecute el caso mostrado actualmente.
2. El terminal de tiempo de espera especifica la cantidad de milisegundos a esperar por un evento antes de que se agote el tiempo de espera. Se debe conectar un valor al terminal Timeout en la parte superior izquierda de la estructura del evento para especificar el número de milisegundos que la estructura del evento espera para un evento. El valor predeterminado es -1, que indica que nunca se agote el tiempo de espera.
3. Los terminales de eventos dinámicos aceptan un refnum de registro de eventos o un grupo de refnums de registro de eventos para el registro de eventos dinámicos. Un número de referencia, o refnum, es un identificador único para un objeto, como por ejemplo un archivo.
4. El nodo de datos de eventos identifica los datos que devuelve LabVIEW cuando ocurre un evento.

5. El nodo de filtro de eventos identifica los datos de eventos que puede modificar antes de que la interfaz de usuario pueda procesar esos datos. Este nodo aparece en casos de estructura de eventos que manejan eventos de filtro.
6. Al igual que una estructura de caso, la estructura de eventos admite túneles. Sin embargo, de forma predeterminada, no tiene que cablear túneles de salida de estructura de Evento en todos los casos. Todos los túneles no conectados utilizan el valor predeterminado para el tipo de datos del túnel. También se puede configurar los túneles para cablear los túneles de entrada y salida automáticamente en casos no conectados.

4.5 ESTRUCTURA DE CICLOS MAESTRO-ESCLAVO EN LABVIEW

El patrón de diseño Maestro/Esclavo es una arquitectura fundamental que se ha desarrollado en LabVIEW. Es usada cuando se tienen dos o más procesos que necesitan ejecutarse simultánea y continuamente, pero a diferentes velocidades. Si estos procesos corren en un único bucle, pueden suceder problemas de temporización severos. Estos problemas de temporización ocurren cuando una parte del bucle tarda más en ejecutarse de lo esperado. Si esto sucede, la sección restante del bucle se atrasa. El patrón Maestro/Esclavo consiste en múltiples bucles paralelos. Cada bucle puede ejecutar tareas a velocidades distintas. De estos bucles paralelos, un bucle actúa como el maestro y los otros como esclavos. El bucle maestro controla todos los bucles esclavos y se comunica con ellos utilizando arquitecturas de mensajería. El patrón Maestro/Esclavo también es comúnmente utilizado cuando se requiere responder a controles de interfaz de usuario y adquirir datos simultáneamente.

El patrón de diseño Maestro/Esclavo muestra sus ventajas cuando creamos aplicaciones multitareas. Al usar este diseño, se le da un enfoque modular al desarrollo de la aplicación debido a su funcionalidad de múltiples bucles. Por medio de este se controla de mejor manera la gestión del tiempo en su aplicación. Con este diseño, cada bucle paralelo es tratado como una tarea por separado, es decir se puede ejecutar independientemente de las otras partes.

Para la estructuración del diseño maestro-esclavo, es necesario utilizar algunas de las estructuras vistas en secciones anteriores. La estructura de eventos se utiliza para formar el ciclo maestro, mientras que la estructura de casos se utiliza para el ciclo esclavo. Por medio de la herramienta Zinchronization de LabVIEW se realiza la comunicación entre ciclos maestros y esclavo. Esta herramienta envía y recibe notificaciones de datos tipo cadena.

La figura 4.15 muestra un ejemplo del diseño maestro-esclavo, en el cual el ciclo de arriba es el ciclo maestro. Como se puede ver, una estructura de eventos es incluida en él. Dentro de esta estructura de eventos se definen las notificaciones que envía cada botón por medio de los diferentes subVI de Zinchronization. Esta función se encarga de la interacción entre la interfaz gráfica y el programa. Los ciclos de abajo de la imagen están en la espera de cualquier notificación que se envíen para poder ejecutar las funciones que están definidas en la estructura de casos. Si por ejemplo se establece dentro del ciclo maestro que un botón envíe la notificación “mostrar”, y dentro de alguno de los ciclos esclavos se haya definido un caso llamado “mostrar” este puede ser elegido al ejecutarse el programa. Al ejecutar el programa, los receptores de notificaciones de los ciclos esclavos estarán en espera de las notificaciones que activen las funciones internas. Si se presiona el botón que contiene la notificación “mostrar”. El programa instantáneamente ejecuta el caso “mostrar”, esto se puede realizar cuantas veces se desee hasta que una notificación, previamente programada, finalice todos los procesos.

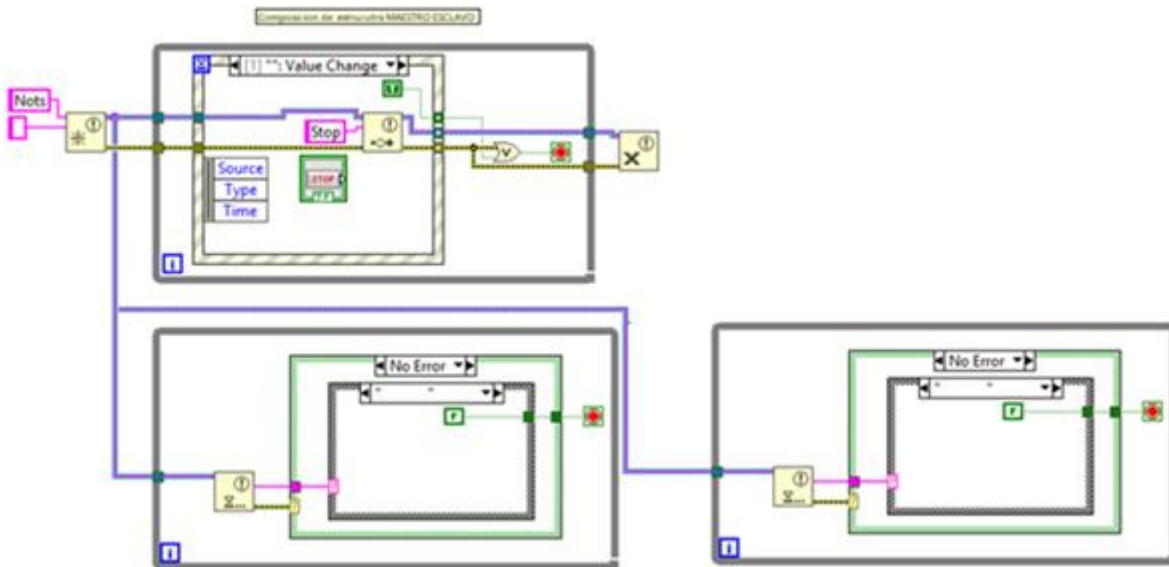


Figura 4. 15 Estructura básica de patrón Maestro – Esclavo

4.6 NI-DAQmx en LabVIEW

El software de NI-DAQmx, sustituto del controlador NI-DAQ, contiene el controlador básico de la tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB 6008 y similares. Este además brinda mayor productividad y rendimiento en el desarrollo de aplicaciones de adquisición de datos y del control del dispositivo. Controla desde la configuración y programación en LabVIEW, hasta el control a nivel del sistema operativo y del dispositivo. Es decir, no solo es un software dependiente de LabVIEW.

En lo que respecta a la interacción entre la DAQ y LabVIEW, NI-DAQmx proporciona una librería a LabVIEW que incluye los subVI's con los cuales se puede controlar los canales analógicos y digitales de la DAQ. De manera que se pueden obtener rápidamente magnitudes reales por medio de los canales virtuales, como también, crear señales en los puertos analógicos o digitales, de acuerdo a las limitantes de la DAQ. Dentro de LabVIEW, hay dos formas de controlar los canales o puertos del dispositivo en uso, uno de estos es con DAQ Assistant, el otro es el diseño en bajo nivel usando los subVI's propios de DAQmx.

4.6.1 USO DEL DAQ ASSISTANT

DAQmx contiene al Express VI llamado Daq assistant dentro de su repertorio de subVI's. Este es un solo bloque con el cual se puede configurar cada uno de los canales o puertos del dispositivo que se está utilizando en entradas o salidas ya sean digitales o analógicas de manera rápida. Daq Assistant puede configurar las entradas y salidas digitales como puertos separados o como un solo puerto.

Cuando se crea un Daq Assistant nuevo, LabVIEW abre una ventana la cual sirve para configurar la DAQ en uso, ya sea como generador de señales o para adquirir datos o señales. A continuación, se define si los puertos que se utilizarán son analógicos o digitales, seguido de esto se configura qué tipo de magnitud se estará midiendo y finalmente se eligen los parámetros de medición. Cada uno son importante para adquirir datos según la necesidad del usuario o la capacidad del programa. La figura 4.16 muestra la ventana de configuración de parámetros de medición que se ejecuta al crear un nuevo DAQ Assistant.

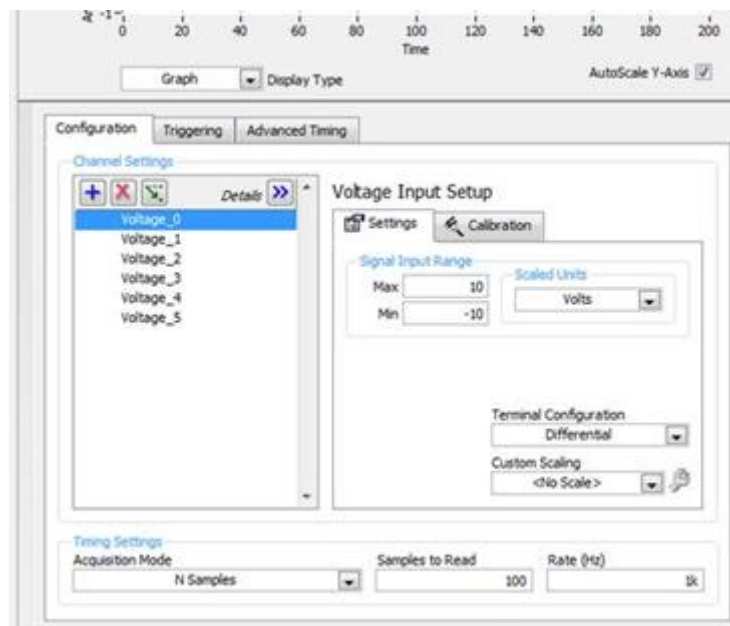


Figura 4. 16 Ventana de configuraciones de DAQ Assistant

Daq Assistant puede configurarse de nuevo al accionar un clic izquierdo sobre el subVI abriendo de nuevo la ventana de la figura 4.16. También es posible cablear controles o constantes a cada uno de las terminales de entrada que se muestran en la figura 4.17.

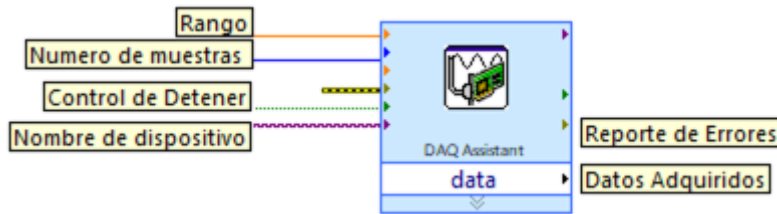


Figura 4. 17:SubVI's de adquisición de datos.

4.6.2 USO DE SUBVI'S DE DAQMX EN BAJO NIVEL.

Las estructuras en bajo nivel construidas para la manipulación de una tarjeta de adquisición de datos implican el uso de los subVI's que están dentro de la librería de NI DAQmx para configurar puertos como entrada o salidas. Esta forma, aunque más compleja, permite al programador establecer interacciones entre el programa y el dispositivo utilizándolos a su antojo y con mayor velocidad que usando el Daq Assistant. La figura 4.18 contiene los subVI's que proporciona esta librería.

Para utilizar, por ejemplo, una DAQ NI USB 6008 como una tarjeta generadora de pulsos digitales, se debe crear un diagrama de bloques de la forma que lo describe la imagen 4.19. El programa envía una señal en estado alto o verdadera al puerto P0.0 de una tarjeta de adquisición de datos. Esta estructura básica, primeramente, crea el puerto o canal a utilizar por medio de un bloque o subVI. Este subVI's se encuentra como Create Channel. Para el ejemplo, es creado el puerto 0, línea 0 o conocido en la DAQ como P0.0. Como segunda acción, LabVIEW inicializa el canal utilizando el subVI Start, este tiene la función de crear una comunicación directa con la DAQ conectada al ordenador. La configuración del canal como generador o como medición de datos se configura en el subVI siguiente, el subVI Write, en el cual se especifica el modo de envío de datos o de recepción, si fuese el caso. El modo de escritura de este ejemplo es 1 Canal - 1 muestra por ejecución de programa. Esta configuración se puede cambiar en la barra de opciones que está al pie del bloque. Debido a que la función de este bloque es enviar datos a la DAQ, se le cablea una constante booleana en estado TRUE, lo que indica que el pulso digital estará en alto en el puerto P0.0 cuando se ejecute el programa de LabVIEW. Por supuesto este es solo un ejemplo, también se puede conectar controles del estado booleano, en lugar de una constante, de manera que se pueda cambiar de estado alto a bajo según se desee. Finalmente, la comunicación entre software y hardware se rompe con el subVI Clear. El notificador de errores sirve para recibir a tiempo real cualquier alteración en la interacción de LabVIEW con la DAQ que se esté utilizando, si el

programa detecta un error en su comunicación o violación en las magnitudes permitidas para el dispositivo, enviará una notificación a la interfaz del usuario sugiriendo que detenga el programa.



Figura 4. 18: Librería de NI DAQmx

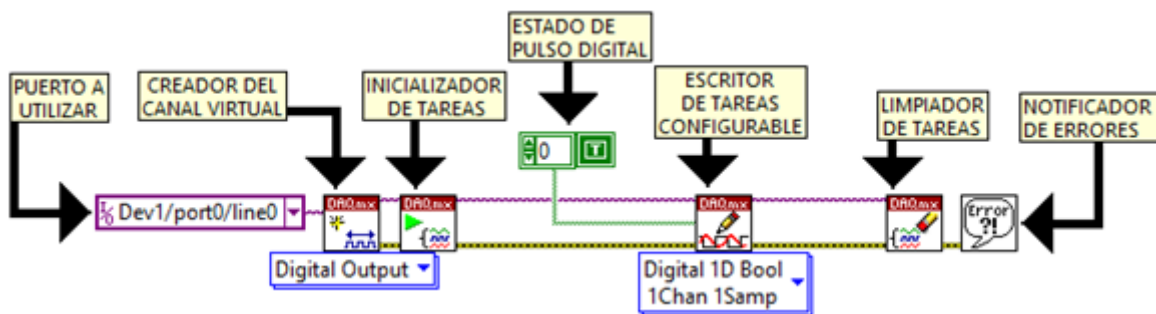


Figura 4. 19: Diagrama de bloques básico para generar pulsos digitales con DAQmx

4.7 VOLTAGE SAGS SIMULATOR 1.0

VSS 1.0, por sus siglas en inglés Voltage Sags Simulator, es la primera versión de un programa desarrollado en la interfaz de LabVIEW para el control de la máquina generadora de sags implementado en este trabajo de graduación.

Este programa configura los puertos de la DAQ USB 6008 como el puente entre LabVIEW y el generador de sags. En la interfaz de LabVIEW el usuario tiene la capacidad de modificar el tiempo de duración de un sag y el tiempo de espera para que ocurra. A su vez, el programa es capaz de realizar mediciones de tensión a tiempo real en dos puntos de interés: en las terminales de salida del VARIAC, y en las terminales de carga o salida de la máquina generadora, tal como se explicó en el capítulo III. El programa guarda las mediciones realizadas durante la ejecución del programa dentro de un archivo para realizar un análisis al finalizar la simulación.



Figura 4. 20. Presentación de software Voltage Sags Simulator 1.0.

El funcionamiento del programa desarrollado se segmenta en 6 etapas fundamentales.

1. Parámetros iniciales
2. Mediciones a tiempo real
3. Etapa de generación de huecos de tensión.
4. Almacenamiento de datos en archivo.
5. Procesamiento de datos.
6. Interfaz gráfica.

4.7.1 PARÁMETRO INICIALES

La primera función al ser ejecutada es la comunicación directa entre LabVIEW y la tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB 6008 de National Instruments. Como se ha mencionado antes, la tarjeta de adquisición de datos se vuelve el portal entre LabVIEW y la máquina generadora de sags, puesto que envía y recibe distintas señales al mismo tiempo. En primera instancia el programa Voltaje Sag Simulator 1.0 crea, a partir de los subVI's a bajo nivel de DAQmx, 4 canales de comunicación con la tarjeta de adquisición de datos, declarando como salidas digitales los puertos P0.0, P0.1, P0.2 y P0.3. Los primeros tres puertos están diseñados para el control exclusivo de los tres relés de estado sólido que están dentro del generador de sags.

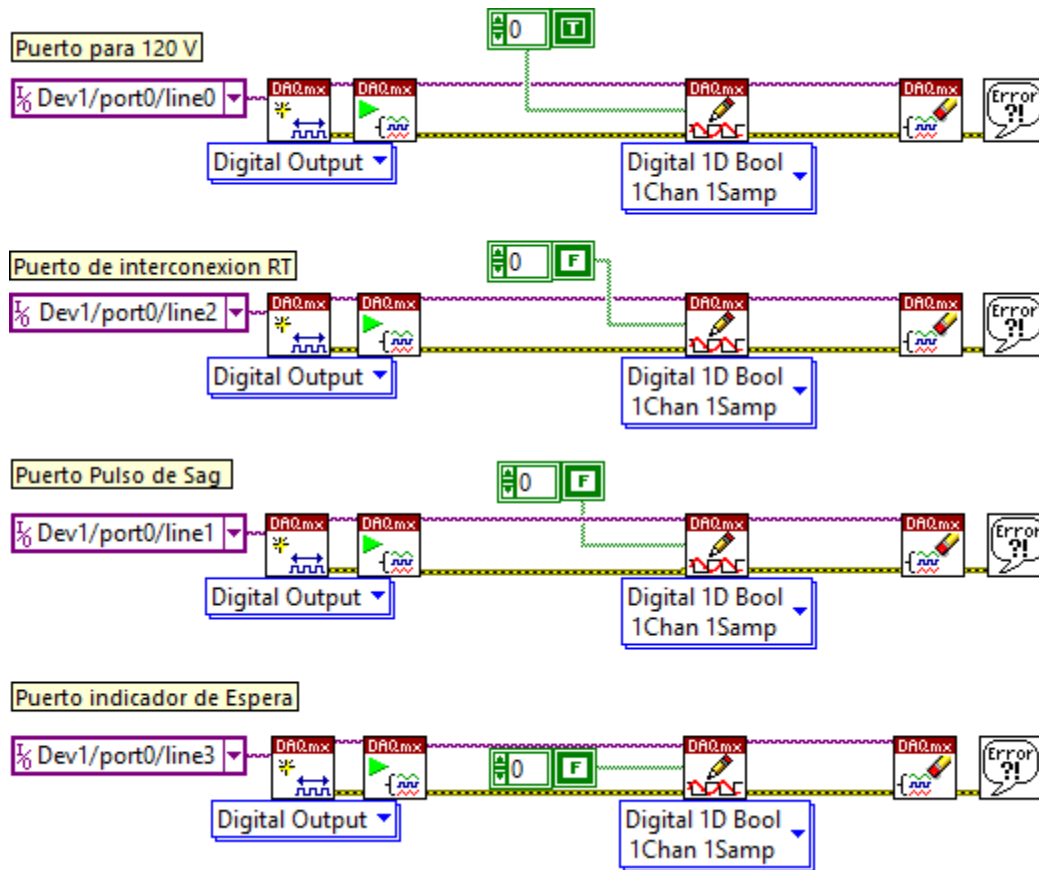


Figura 4. 21. Estructura de configuración de los puertos digitales.

El diagrama de bloques mostrado en la figura 4.21 es un segmento del programa de Voltage Sags Simulator 1.0 que define los parámetros iniciales de los 4 puertos mencionados. De estos estos, solo el puerto P0.0 inicia en estado “True” lo cual implica una tensión de salida de 5 Voltios en el puerto físico de la DAQ. Este puerto está controlando el estado de la SSR1 que da paso a la tensión de 120 Voltios a la terminal de carga. Los otros 3 puertos permanecen en estado “False” lo cual indica que los puertos están en cero Voltios o cercano a ello, provocando que las otras SSR del circuito interno de la máquina generadora de sags permanezcan apagadas. La tabla 4.1 especifica la distribución de los puertos digitales.

Puerto	Configuración	Función	Detalle
P0.0	Salida digital	Control de SSR1	Activación de señal 120 V en terminal de carga
P0.1	Salida digital	Control de SSR2	Activación de señal de derivación de autotransformador (porcentaje de tensión nominal).
P0.2	Salida digital	Control de SSR3	Activación de ramal de resistencia de transición.
P0.3	Salida digital	Control de indicador 2	Activación de piloto de espera de sag.

Tabla 4. 1 Distribución de puertos digitales.

Los parámetros iniciales se especifican de esta manera debido a que originalmente los controladores del dispositivo NI DAQ 6008 están configurados de forma que todos los puertos digitales se inicializan en estado “TRUE”. Es por este motivo, que es necesario que VSS 1.0 cada vez que sea ejecutado, tenga un algoritmo de seguridad que modifique el estado de los puertos digitales utilizados, de tal manera que la máquina funcione adecuadamente. Si la máquina generadora de sags fuera energizada en condiciones donde todos los puertos están en estado alto o TRUE, todas las SSR se activarán, lo que provocaría que el circuito se cierre a potenciales diferentes en los mismos nodos, esto se traduce en la circulación de una alta corriente no deseada circulando en el circuito del generador de sags, provocando que todas las protecciones de la máquina actúen, o en el peor de los casos que ocurra un daño.

4.7.2 MEDICIONES A TIEMPO REAL

Paralelo a la etapa de parámetros iniciales se ejecuta la etapa de mediciones a tiempo real. Utilizando el recurso del subVI Daq Assistant, proporcionado por la librería DAQmx, se configuran dos puertos analógicos dobles para la medición de la diferencia de potencial eléctrico en dos puntos de gran interés. El puerto doble ai0, compuesto por AI0 y AI4 es configurado para realizar la medición de tensión en las terminales de carga, es decir, se monitorea la diferencia de potencial a la cual son expuestos los equipos electrónicos que se desean poner a prueba. El puerto doble ai1, compuesto por AI1 y AI5 es configurado para realizar las mediciones de tensión en las terminales de salida del autotransformador, con la finalidad de obtener el valor exacto al cual se reduce la tensión al momento que ocurra el sag programado. La tabla 4.2 especifica la configuración de los puertos de la DAQ USB 6008 destinados a la medición del potencial eléctrico.

PUERTOS	Configuración	Función	Detalle
AI 0/ AI 0+	Entrada Analógica	Medición de Tensión Instantánea de forma diferencial.	Referencia positiva en terminales de carga.
AI 4/ AI 0-			Referencia negativa en terminales de carga.
AI 1/ AI 0+			Referencia positiva en terminales de autotransformador.
AI 5/ AI 0-			Referencia negativa en terminales de autotransformador.

Tabla 4. 2. Configuración de puertos analógicos para mediciones de potencial eléctrico.

Al ejecutar el programa Voltage Sags Simulator 1.0, se activa instantáneamente las mediciones programadas de Daq Assistant. La configuración de los puertos se muestra en la figura 4.22. Ambos canales, ai0 y ai1, se configuraron para realizar mediciones de tensión de una magnitud máxima de 10 voltios pico, y un valor mínimo de -10 voltios pico lo cual es conveniente puesto que la medición se realiza en conjunto a los transformadores reductores de tensión mencionados en el capítulo 3. Los canales se configuraron para adquirir muestras continuas, además de que se estableció una frecuencia de muestreo de 5 KHz, obteniendo 200 muestras para leer.

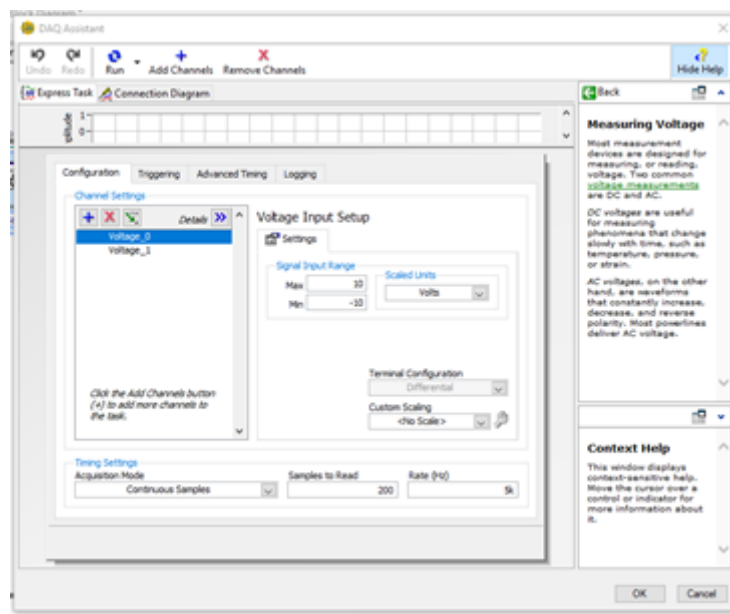


Figura 4. 22. Configuración de puertos analógicos con Daq Assistant.

Como la adquisición de datos con la DAQ 6008 es de manera continua, el VI DAQ assistant se encuentra en un bucle que solo tiene como desactivador un botón en el panel frontal del programa en LabVIEW. Mientras no se presione ese botón, las mediciones seguirán de manera infinita. Los datos obtenidos de la medición se procesan a tiempo real, y cada dato que es transportado por el

canal ai0 es multiplicado por 23.56, constante que corresponde a la relación de transformación del transformador reductor utilizado en las mediciones en la terminal de carga. De igual forma, cada dato que es transportado por el canal ai1 se multiplica por 33.46, que corresponde a la relación de transformación del transformador reductor utilizado para las mediciones del autotransformador o variac. Estos datos que son adquiridos con la DAQ, son mostrados en el panel frontal a tiempo real por medio de un indicador gráfico. En esta etapa, también se extrae el voltaje RMS de ambas mediciones ya que es de mayor utilidad que la forma de la señal de voltaje medida. La figura 4.23 muestra el segmento de programa en LabVIEW que adquiere y modifica los datos de las mediciones de tensión, en este se involucra el subVI Average DC/RMS que procesa la señal para encontrar el voltaje RMS.

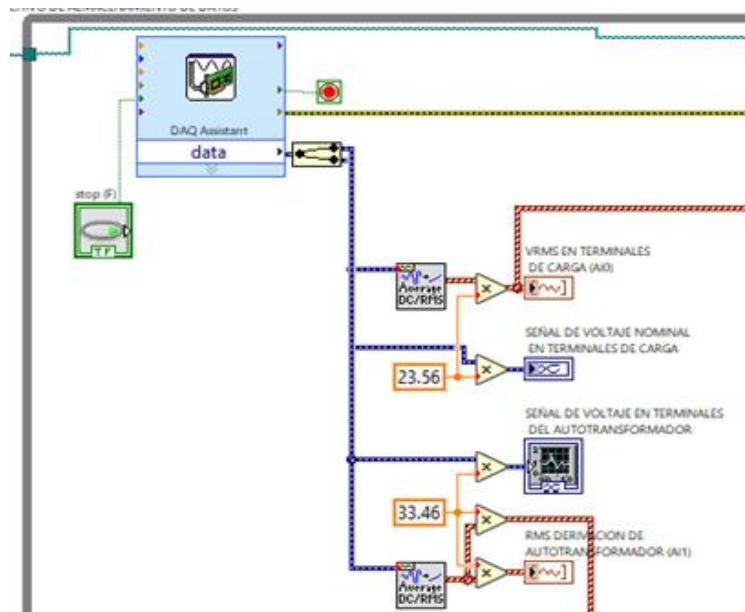


Figura 4. 23. Etapa de adquisición de datos.

4.7.3 ETAPA DE GENERACIÓN DE SAGS

El programa Voltage Sags Simulator 1.0 utiliza el patrón de diseño de programación de ciclos “Maestro y Esclavo” dentro de LabVIEW para coordinar acciones de dos ciclos While que se ejecutan en paralelo. Uno de estos ciclos, el ciclo maestro, está diseñado para recibir las órdenes del usuario haciendo uso de los botones “Activar Generador” y “Detener Generador”, que se encuentran en la parte superior de la interfaz del usuario, en el panel frontal. El ciclo esclavo ejecuta las acciones que están concatenadas a cada botón del cual tiene acceso el usuario, es decir, que el ciclo esclavo efectúa una serie de acciones cuando se presiona el botón “Activar Generador” y otras cuando se acciona “Detener Generador”. Un aspecto importante del porqué se utilizó este tipo de estructuras es por la capacidad de generar de manera infinita los huecos de tensión sin ejecutarse todos los procesos en el mismo instante. Entonces, si el usuario elige el botón “Activar

Generador” cuando se está ejecutando el programa, automáticamente el ciclo maestro envía la notificación “Activar” y el ciclo esclavo la recibe. Mientras no se haya generado ningún error en envío o recepción de datos, se ejecutará lo que está dentro de la estructura de casos “activar”. Dentro de la estructura de Casos del ciclo esclavo se incluyen todas las funciones para generar los pulsos digitales. Si el usuario decide presionar el botón “Detener Generador”, el ciclo maestro envía una notificación “Stop” y el ciclo esclavo recibe la notificación. Si no hay errores en el envío y recepción del mensaje, se ejecutan todas las funciones que se encuentran en la estructura de casos “Stop”, las cuales son la detención de todos los procesos de comunicación Maestro-Esclavo, es decir, si no hay otra función ejecutándose fuera de la estructura maestro-esclavo, entonces el programa se detendrá.

Como se ha mencionado en este documento, un sag consiste en la disminución de magnitud del potencial eléctrico. Dentro del programa, la función que tienen los puertos digitales, es enviar una serie de pulsos que activen y desactiven los Relés de estado sólido para que la tensión eléctrica pase de una condición normal a una de menor magnitud. La coordinación de activación y desactivación de los pulsos son de gran importancia para generar un hueco de tensión. En la tabla 4.1 se ha especificado la función de cada uno de los puertos digitales de la DAQ USB 6008, que son utilizados en este programa.

Dentro del caso “Activar”, en la estructura de casos del ciclo esclavo, se encuentra el código de bloques que coordina los tiempos de actuación de estos puertos para que den origen a la generación de un solo sag. Se pueden ingresar los valores de “Tiempo de Duración de Sag” y “Tiempo para que Ocurra el Evento” en el panel frontal del programa, cuando estos valores se tienen, entonces se puede generar un sag pulsando el Botón “Activar Generador”. Al presionarlo, el caso “Activar”, que está en la estructura de casos, se ejecuta y su primera función es habilitar el estado “TRUE” en el puerto P0.0 y P0.2, puertos que corresponden a la señal de 120 V y a la transición de RT (que se especifica en el capítulo 3), mientras esto sucede, el puerto P0.1 y P0.3 permanecen en estado “FALSE”. Con la finalidad de estructurar de mejor manera el programa, a este estado se le llama estado C1. El Estado C1 no tiene una duración definida, pues se ejecuta dentro de un ciclo “while” repetidas veces hasta que el usuario decide presionar el botón “Generar Sag”. Si el usuario acciona este botón virtual, C1 se termina y se ejecuta un nuevo estado llamado ESPERA. Este, está diseñado para notificar al usuario que el hueco de tensión está a punto de generarse, esta notificación se realiza por medio de un indicador naranja de la máquina generadora. Dentro del programa se modifica el estado del puerto P0.3 a “TRUE” y el indicador naranja enciende mientras que los otros puertos se mantienen en sus estados programados anteriormente: P0.0 en “true”, P0.1 en “False” y P0.2 en “True”. El periodo ESPERA dura lo que el usuario ha establecido como “Tiempo para que ocurra el Evento”. Finalizado este tiempo, se ejecutan dos periodos consecutivos destinados para evitar el funcionamiento de la SSR1 y SSR2 al mismo tiempo, como se ha especificado en el capítulo 3. Primeramente, se activa el periodo C2 en el cual ocurre un cambio en la señal digital de P0.0 y P0.3 a “False”, este dura solamente 8 milisegundos, que es

aproximadamente la mitad del periodo de la señal senoidal de 60 Hz. Se utiliza la mitad del periodo de la señal para proporcionarle tiempo a la SSR1 o SSR de Tensión nominal que se desactive antes que se active la SSR2 de tensión del sag. El tiempo más pequeño de respuesta que tienen las SSR ante el programa es de 8.166 ms para cambiar su estado de circuito abierto a circuito cerrado y viceversa, debido a que las SSR solo realizan el cambio en el primer paso de la señal en el valor de cero voltios. Así C2 es un periodo para apagar la señal nominal, manteniendo la señal de transición por medio de la SSR de RT. El siguiente periodo es C3, el cual se ejecuta con un tiempo de duración de 3 ms, que es aproximadamente una doceava parte del periodo eléctrico de la señal senoidal de 60Hz. Durante este periodo se activa P0.1, pasando este al estado “True”, que es el correspondiente a que se active la señal del Hueco de tensión. Entre los periodos C2 y C3 se suma un tiempo de 11 ms de transición para que no se dé nunca el traslape entre el funcionamiento de la SSR1 y SSR2. Si este tiempo de retardo no ocurriera, ambas señales de dos magnitudes distintas se unirían, provocando altas corrientes que podrían dañar el circuito [4.1]. Ya que el subVI utilizado en LabVIEW para generar un retardo de tiempo no se puede utilizar décimas de segundo, el medio periodo de la señal de 60 Hz se aproxima a 8 ms y el doceavo de un periodo se aproxima a 3ms.

C4 es el periodo en el que se desactiva P0.2, es decir, todos los puertos están en estado “False” excepto P0.1. LabVIEW habilita únicamente la tensión reducida debido al autotransformador, por medio de la SSR2 dentro del generador de Sag. Este periodo tiene una duración que es igual a la magnitud ingresada como “Tiempo de Duración de Sag”, magnitud que el usuario puede modificar en la interfaz o panel frontal. A este periodo se le sustrae los 11 milisegundos que se toma de transición en los periodos C2 y C3 de inicio del sag, y otros 11 milisegundos de transición para llegar a las condiciones normales de tensión, haciendo un total de 22 milisegundos. Esta resta se aplica, debido a que el diseño del programa considera que el sag ocurre desde que la señal de 120 Volts es retirada, eso es desde el inicio del periodo C2, porque desde ese periodo la corriente solo circula por la Resistencia de transición RT, provocando una caída de tensión considerable.

C5 y C6 son los periodos correspondientes a C3 y C2 para poder retornar a las condiciones normales de operación, es decir al voltaje nominal. C5 es de una duración de 3 milisegundos, donde P0.0 y P0.3 están en “False” y P0.1 y P0.2 están en “True”. C6 es de una duración de 8 milisegundos donde P0.0, P0.1 y P0.3 están en “False” y únicamente P0.2 están en “True”.

Finalmente, C7 es el periodo donde se restauran las condiciones normales, P0.0 y P0.2 están en estado “TRUE”, mientras que P0.1 y P0.3 permanecen en estado “False”. Esto describe el ciclo de generación de un sag y según el diseño de Maestro- Esclavo se puede generar cada vez que se presione el botón “Activar Generador” y luego “Generar Sag”. La tabla 4.3 muestra los estados lógicos de los puertos digitales en cada estado o periodo para generar un solo sag. La figura 4.24 muestra los estados lógicos de la tabla 4.3 graficados en el transcurso del tiempo que se utiliza para generar un hueco de tensión.

			ESTADO DE LOS PUERTOS			
ESTADOS	FUNCION	DURACIÓN	P0.0	P0.1	P0.2	P0.3
C1	Operación normal	Tiempo en accionar "GENERAR"	1	0	1	0
ESPERA	Espera de evento	Tiempo programado de espera	1	0	1	1
C2	Transición entre 120V y RT	8 mS	0	0	1	0
C3	Transición entre RT y Vsag	3 ms	0	1	1	0
C4	Hueco de tensión	Tiempo programado de Sag	0	1	0	0
C5	Transición entre Vsag y RT	3 ms	0	1	1	0
C6	Transición entre RT y 120 V	8 ms	0	0	1	0
C7	Operación normal	25 ms	1	0	1	0

Tabla 4. 3. Estados lógicos de puertos digitales.



Figura 4. 24 .Tiempos programados de pulsos.

Dentro del programa Voltage Sag Simulator 1.0, todos los cambios de estados lógicos en los puertos digitales se realizan al cablear en serie los subVI Write. Cada Periodo descrito en la tabla 4.3 es representado en un ciclo While y es dentro de estos ciclos que aparecen los subVI Write y realizan el cambio de estado que corresponde al periodo. Por ejemplo, en el primer ciclo While de

la figura 4.25, el cual corresponde al periodo C1, aparece un SubVI Write por cada puerto, este ciclo se rompe al presionar el botón “Generar Sag” tal como se ha mencionado anteriormente, y da paso al periodo ESPERA, en el cual solo aparece un SubVI Write, que corresponde al cambio de estado lógico en el puerto P0.3, mientras que los demás siguen iguales. Las condiciones para que se rompan los ciclos restantes tienen que ver con el subVI Wait, el cual hace una espera de tiempo igual al valor de una constante numérica que se cablea en su entrada. El ciclo se rompe transcurrido ese tiempo, y da paso al ciclo While siguiente. La figura 4.25 es el subdiagrama que se ejecuta cuando el usuario elige presionar el botón Activar Generador. El diseño maestro/esclavo en este caso evita que este subdiagrama se ejecute en todo momento, mejorando la velocidad del programa.

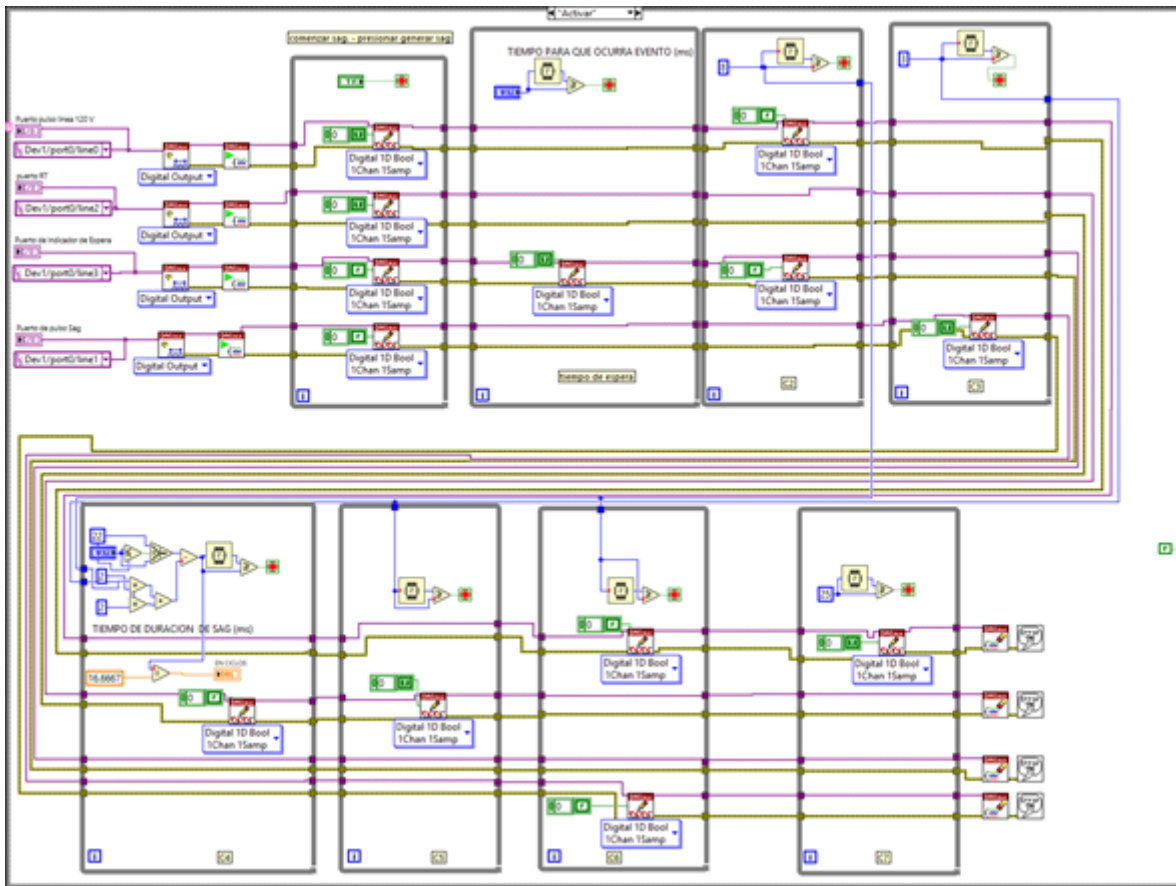


Figura 4. 25. Estructura de casos “Activar”

4.7.4 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN ARCHIVO.

Ligado a la etapa de medición de tensión a tiempo real, se ejecuta un proceso de almacenamiento de datos. LabVIEW, dentro de su impresionante repertorio de funciones, incluye un subVI llamado Write To Measurement File con el cual se puede almacenar datos en un documento de texto e incluso dentro de una hoja de cálculo de Excel. Los datos se almacenan según la configuración que se elija. Dentro del programa desarrollado en este trabajo, se utilizó el almacenamiento en un

archivo de extensión TDMS, con la intención de facilitar el uso de los datos luego de que finalice la ejecución del programa. Mientras el usuario no ingrese el nombre del archivo donde se desea guardar los datos adquiridos por la DAQ, LabVIEW los almacena en un archivo tipo binario llamado Test.tdms. La figura 4.26 muestra en conjunto la etapa de adquisición de datos cableada al subVI de almacenamiento de datos en un archivo. Los datos almacenados en el archivo solo son magnitudes RMS, y están almacenadas como indican las configuraciones de la figura 4.27. El almacenamiento de datos finaliza cuando el usuario decide accionar el botón “Detener Mediciones” provocando que el ciclo While se rompa.

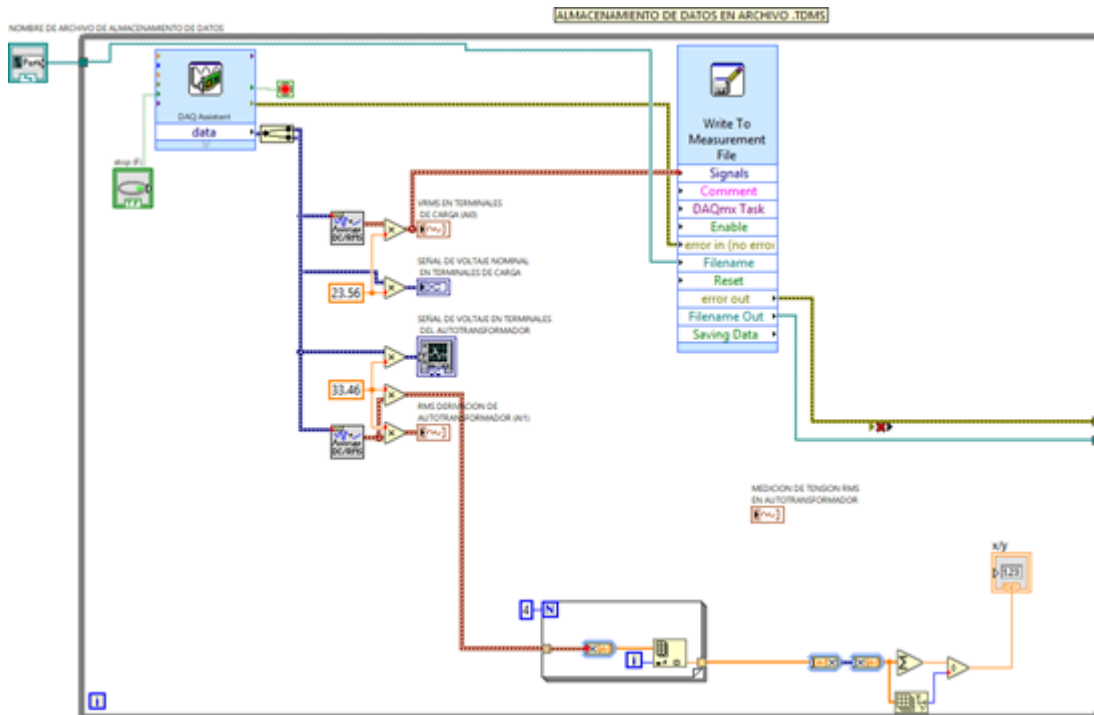


Figura 4. 26. Adquisición y almacenamiento de datos.

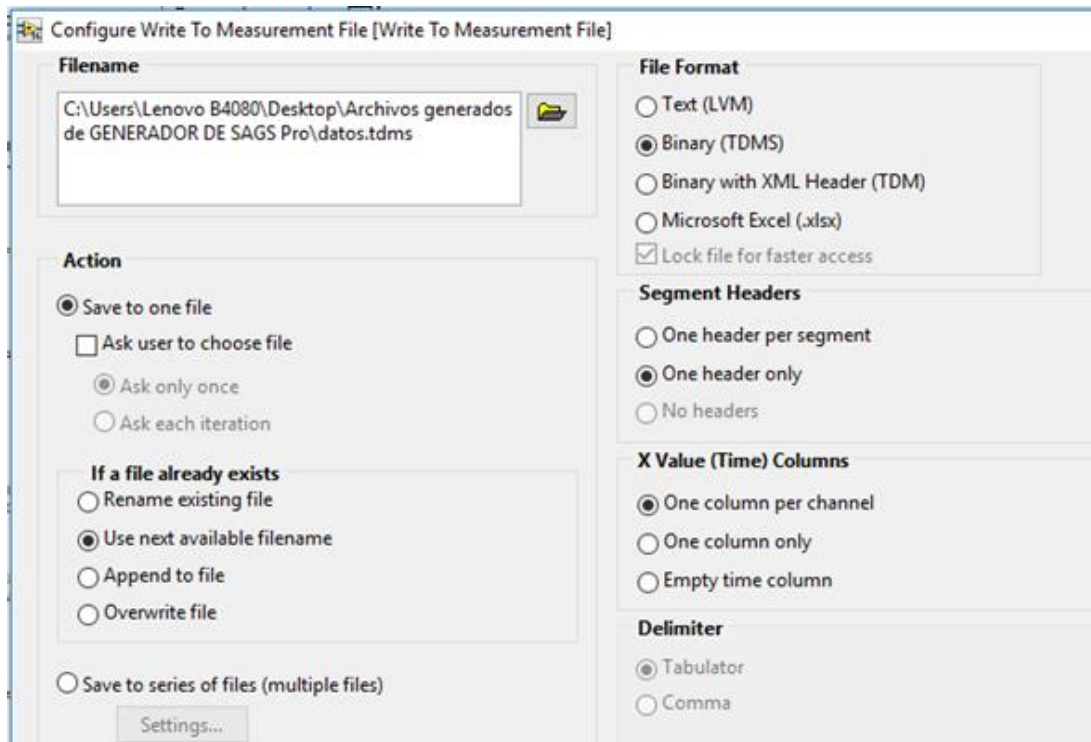


Figura 4. 27. Configuraciones básicas de forma de almacenamiento de datos.

4.7.5 PROCESAMIENTO DE DATOS.

Durante la ejecución del programa, la interfaz de usuario solo muestra los valores a tiempo real de las mediciones de tensión del Variac y de las terminales de carga del generador de sags y sus respectivos valores RMS. Estos valores son de importancia para el usuario para fijar el sag deseado. Pero el programa también muestra algunos datos de importancia al finalizar el programa. Estos datos de importancia incluyen los valores máximos y mínimos de la señal RMS, el valor promedio RMS en las terminales de carga de la máquina generadora, la gráfica en tiempo real del valor RMS, el nombre del archivo del que se extraen los datos, el número de muestras procesadas, el número de sags detectados, y el tiempo acumulado en el que no ocurrió ningún hueco de tensión. También incluye dos gráficas relacionadas a las curvas de las normativas SEMI F47 y a la CBEMA, en la que se muestran graficados los eventos que son detectados como disminuciones de tensión por debajo del 90% de la tensión nominal. Los eventos son graficados según el tiempo de duración y su magnitud, que son los datos más relevantes en un sag.

Cuando el usuario detiene el programa, por medio del botón “Detener Mediciones”, este ejecuta las últimas funciones. Primeramente, realiza la extracción de los datos del archivo creado y calcula el promedio de los primeros 100 datos almacenados. El promedio es utilizado para definir si cada uno de los datos almacenados en el archivo tdms, están por debajo del 90% de la magnitud nominal de tensión. Cada vez que el programa detecta un dato con valor por debajo del 90% del voltaje nominal, entonces una variable almacena el dato, y sigue almacenando mientras los siguientes

datos tengan valores por debajo del 90%. Cuando el programa detecta que el dato nuevamente está por encima del 90% la variable deja de almacenar los datos y realiza el promedio de las magnitudes que fueron almacenadas. La cantidad de muestras que fueron almacenadas las considera como el tiempo de la duración del sag. La variable local que se estaba utilizando nuevamente adquiere el valor de cero para detectar otro futuro sag. En este punto resulta importante la configuración del almacenamiento de datos de la sección 4.7.2, pues es en esa etapa en que se define la frecuencia de muestreo de los puertos analógicos por medio de DAQ Assistant. La configuración de la frecuencia de muestreo define el tiempo que equivale cada muestra guardada en la variable local de LabVIEW. Para este caso, la constante multiplicada al número de muestras detectadas es de 15 ms. Si un sag acumula 8 muestras, el programa realiza el promedio de esas magnitudes, y la define como la magnitud del sag detectado, las 8 muestras se multiplican por 15 ms, dando como resultado sag de 120 ms.

4.7.6 INTERFAZ GRÁFICA

Como se ha mencionado antes, todo VI tiene un panel frontal en el cual el usuario puede interactuar con el programa, ya sea ingresando datos o visualizando indicadores o gráficas.

En el panel frontal del programa Voltage Sags Simulator 1.0, se encuentran cinco pestañas:

- Guía rápida:
- Configuraciones:
- Mediciones a tiempo Real:
- Análisis post simulación
- Ayuda

La pestaña Guía Rápida muestra los pasos para ocupar el equipo y el programa de manera correcta. Para esto, se muestran los 7 pasos siguientes:

- *PASO 1: Conecte el cable USB del Generador de Huecos de tensión al ordenador. Si los controladores están instalados correctamente, se ejecutará el programa NI Device Monitor Indicando que el dispositivo está listo para usarse.*
- *PASO 2: Conecte al toma corriente del Generador de huecos de tensión la carga a la cual se desea hacer pruebas de robustez y ejecute el programa de LabVIEW. Notará que todos los pilotos están apagados.*
- *PASO 3: Encienda el interruptor del autotransformador y luego encienda el interruptor principal del Generador de huecos de tensión. Verifique que el indicador verde del generador de huecos de tensión se ha activado y que el resto de los pilotos permanecen apagados. En este momento diríjase a la pestaña de "Mediciones a tiempo Real" en la interfaz de Voltage Sags Simulator 1.0, observará que se está monitoreando la tensión en el tomacorriente de Carga y en las terminales del autotransformador.*

- *PASO 4: Diríjase a la pestaña "Configuraciones". Modifique los parámetros del hueco de tensión que se desea generar, entre ellos: "Tiempo para que ocurra evento", "Tiempo de duración del Sag". Además, se muestra de nuevo la tensión de la derivación del autotransformador para conocer el valor al cual disminuirá la magnitud en el hueco de tensión programado. Mueva el Dial del autotransformador de manera manual y ubique el voltaje deseado. También puede modificar el nombre del archivo al cual desea guardar los datos.*
- *PASO 5: Para Generar un hueco de tensión, primero se debe dar click a los iconos "activar Generador" y luego "Generar Sag", en el orden específico. Instantáneamente se activa el piloto amarillo y permanece encendido el tiempo de espera programado antes de generarse el hueco de tensión. Cuando se genera el hueco de tensión se desactiva el piloto amarillo y se activa el piloto rojo solo el tiempo programado de duración del Sag. Al finalizar se restablece al valor nominal de tensión. Este paso puede repetirlo cuantas veces desee generar huecos de tensión.*
- *PASO 6: Pulse el botón "Detener Mediciones" para que el programa finalice la función de muestreo de voltaje y genere el archivo donde se guardan los datos. De click en el botón "Detener Pulsos" para bloquear la máquina generadora, este desactiva el programa que genera los pulsos digitales correspondiente a las SSR del dispositivo. Si ambos botones se han presionado, el programa se detiene automáticamente. Mientras no se hayan presionado ambos, el programa sigue ejecutándose.*
- *PASO 7: Observe las mediciones realizadas que sean de su interés en la pestaña "post simulación". Deberá ejecutar el programa de nuevo si desea hacer nuevas mediciones y generar más huecos de tensión.*

Si el programa encuentra algún error en la comunicación de LabVIEW, o de la tarjeta de adquisición de datos utilizadas, es posible que el programa se detenga por sí solo, o que aparezca una pantalla mostrando el error ocurrido. La figura 4.28 muestra la interfaz del usuario, ubicado en la pestaña de Guía Rápida. Como se mencionado en los 7 pasos de la guía rápida, se pueden realizar cambios en la configuración del parámetro de sag, la figura 4.29 muestra esta pestaña. En la figura 4.30 se muestra la pestaña de Análisis post simulación para la simulación y generación de 38 huecos de tensión de diferentes magnitudes y duración con el fin de realizarle una prueba de robustez a un PLC's.



Figura 4. 28. Interfaz de Voltage Sags Simulator 1.0.



Figura 4. 29. Pestaña de Configuración.

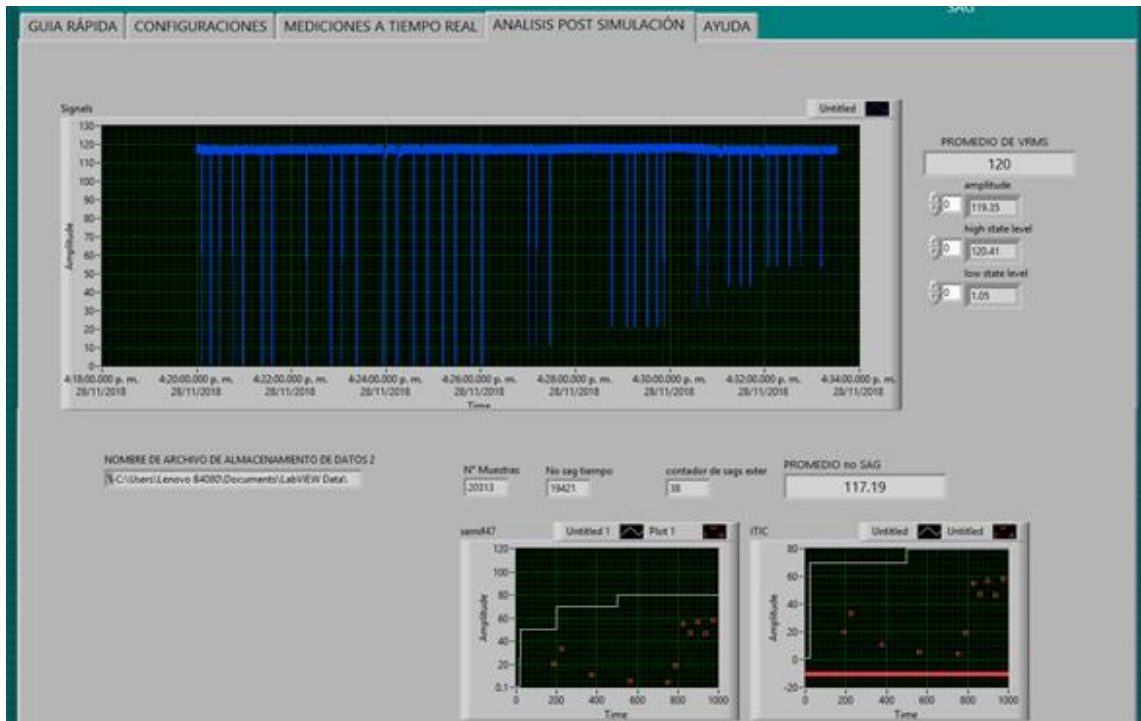


Figura 4. 30. Pestaña post Simulación.

4.7.7 LIMITACIONES DEL PROGRAMA.

En secciones anteriores se ha mencionado que los relés de estado sólido utilizados para construir el generador de sags, tienen como característica el cambio de estado cuando la señal cruza por cero. Esto quiere decir que el nivel de respuesta que el equipo tiene con respecto al programa siempre está relacionado al periodo de la señal. Es de esperar que si al configurar, como un ejemplo, a 100 milisegundos la duración del hueco de tensión, este hueco de tensión se genere durante los 6 ciclos completos tal y como corresponde. Pero lo mismo sucederá si la duración de la perturbación la definimos de 93 milisegundos, debido a que la unidad mínima de tiempo que podemos controlar las SSR desde LabVIEW es medio ciclo, que corresponde a 8.3333 milisegundos. En este caso, 93 milisegundos equivalen a 5.58 ciclos, según su limitante de respuesta, el número más cercano es el ciclo 6 o 100 milisegundos, por tanto, el programa hace funcionar las SSR hasta cumplido los 100 milisegundos, esto se representa en la figura 4.31. Por tanto, el programa se limita a crear huecos de tensión de semiciclos completos.

Se ha explicado que por la consideración de seguridad que existe entre la interacción entre las SSR que controlan el voltaje nominal de la red y el voltaje del autotransformador, se utilizan obligatoriamente un periodo de 11 milisegundos al inicio y otros 11 milisegundos al final del sag generado, sumando un total de 22 milisegundos. Es decir que un sag programado no puede durar menos de 22 milisegundos, por razones de seguridad, el programa está diseñado para aceptar como mínimo un tiempo de duración de 23 milisegundos.



Figura 4. 31 Velocidad de respuesta del programa con las SSR.

Los parámetros que se establecen en Daq Assistant para la adquisición de datos son los que definen la velocidad de lectura de datos. La ecuación E 7.8.1 sirve para encontrar los parámetros que den resultado a una velocidad favorable para el tipo de medición que se desea realizar.

$$\text{Velocidad de lectura} = (\text{Muestra por segundo}) / (\text{Frecuencia de muestreo}) \quad [\text{Ec 4.1}]$$

Para este programa, se utilizó la frecuencia de 2kHz, con un número de muestras por segundo de 30. Lo que implica una velocidad de lectura de 15 muestras por segundo. Este dato es utilizado para estimar el tiempo de duración del hueco de tensión al hacer uso de los números de muestra consideradas por debajo del 90% de la magnitud nominal de tensión que son almacenadas en la variable local. Esto quiere decir que la precisión del medidor no es exacta, pues su unidad de medida de tiempo más pequeña es de 15 milisegundos, que es casi un periodo de la señal. Cuando el programa detecta un hueco de tensión de 400 milisegundos, es posible que la duración verdadera de esta perturbación se encuentre entre 400 ± 15 milisegundos.

CAPÍTULO V: PRUEBAS DE ROBUSTEZ MONOFÁSICAS Y RECOMENDACIONES PARA SU MITIGACIÓN

Para comprender de mejor forma este fenómeno y por qué su importancia en los sistemas monofásicos, se toma como referencia estudios sobre la calidad de la energía realizados en 1990, para caracterizar el entorno de calidad de la energía relacionado con las variaciones de voltaje. Los estudios son los siguientes:

- Estudio de la Asociación Eléctrica Canadiense (CEA)
- Estudio del National Power Laboratory (NPL)
- El Estudio de Calidad de la Energía de Distribución (DPQ) del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI).

El estudio CEA. Este estudio comenzó en 1991 y se desarrolló durante tres años para determinar los niveles generales de calidad de energía en Canadá. El estudio de CEA consistió en datos de calidad de energía de veintidós servicios públicos en todo Canadá con un total de 550 sitios, cada uno de los cuales monitoreó durante 25 días. La selección del sitio incluyó clientes residenciales e industriales con rangos de voltaje de monitoreo de 120Vac a 347Vac. Esta supervisión se realizó en el panel de entrada del servicio. [5]

El estudio NPL. En 1990, la NPL inició una encuesta de cinco años de disturbios eléctricos monofásicos. El objetivo de la encuesta fue proporcionar una base de datos grande y bien definida de las perturbaciones registradas que perfilaban la calidad de la energía en los puntos de uso típicos. Los datos monofásicos de línea a neutro se recogieron en el receptáculo de pared estándar. Los datos fueron recolectados en 130 sitios dentro de los Estados Unidos continentales y Canadá. [5]

El estudio EPRI. A partir de 1990, EPRI encargó una encuesta para evaluar la calidad de la energía de distribución, el objetivo del trabajo fue realizar el estudio más completo hasta la fecha para describir los niveles de calidad de energía en los sistemas de distribución primaria en los Estados Unidos. La herramienta de recopilación estuvo en vigencia desde junio de 1993 hasta septiembre de 1995. El estudio incluyó veinticuatro utilidades de los Estados Unidos y 300 sitios de monitoreo diferentes. Mediante cuidadosos análisis de datos y consideraciones técnicas de medición, los datos de calidad de energía de estas tres encuestas se combinaron en 1997 para crear un conjunto de la gama de eventos que podrían esperarse en la mayoría de las ubicaciones de los usuarios finales. Como se muestra en la Figura 3-3, los datos se combinaron para mostrar el número esperado de eventos por sitio típico por año. [5]

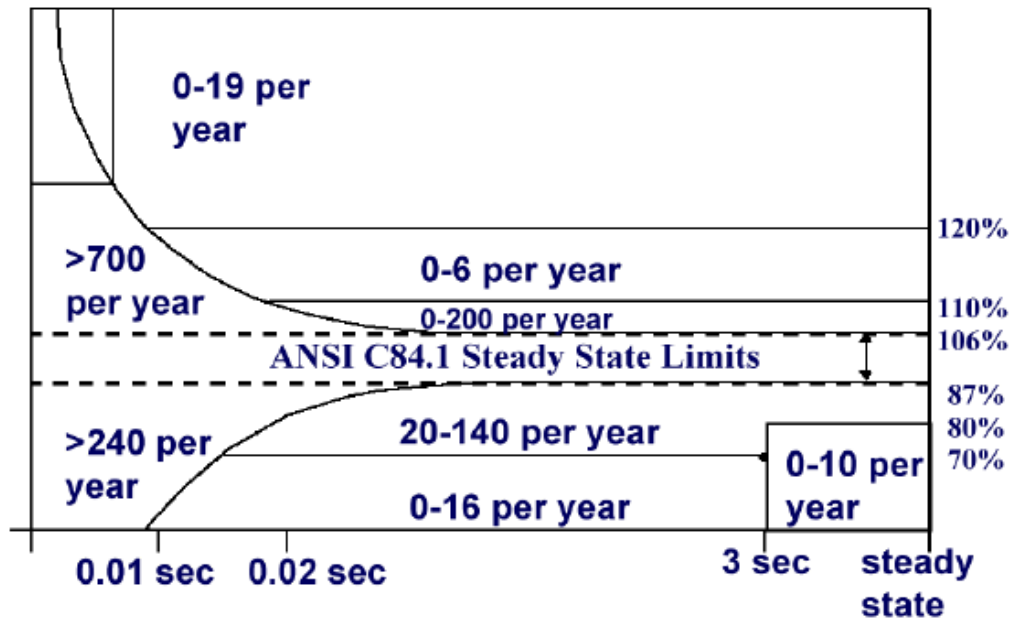


Figura 5. 1. Imagen tomada de figura 3-3 de "Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food Processing Industry". 95% probabilidad proyectada para cualquier sitio que caiga en el rango de eventos mostrados en las áreas determinadas.

Teniendo en cuenta los datos combinados del estudio NPL, CEA y la experiencia EPRI y el historial de reclamaciones de los clientes industriales, la protección de los equipos de uso final del fenómeno de caída de tensión, es la consideración más importante de la calidad de la energía.

Se producen muchas más perturbaciones de corta duración (menos de 0,01 segundos), pero no hay una fuerte correlación con los cierres del sistema o del equipo. De la Figura 5.1, un sitio típico es probable que vea de 20 a 140 caídas por debajo del 70 por ciento del valor nominal y de cero a 16 eventos adicionales que estén por debajo de ese nivel. A partir de estos eventos de calidad de energía, la correlación más directa se puede obtener a los cierres de equipos y la producción perdida. [5]

Para implementar estrategias efectivas de mitigación de la calidad de la energía, es importante comprender mejor la naturaleza típica de las variaciones de voltaje que se verán. Esta información, registrada como parte del estudio EPRI, se recopiló mediante eventos desencadenantes cuando los voltajes de fase cayeron por debajo de 0,95 pu o subieron por encima de 1,05 pu. En base a un mayor filtrado de los resultados de la variación de voltaje RMS que ocurrieron por debajo de 0.9pu y por encima de 1.10pu, se encontraron fallos de voltaje aproximadamente 15 veces más frecuentes que las sobretensiones.

Por lo tanto, los datos que se muestran en la figura 5.2 representan eventos de caída de tensión. Además, la mayoría de los eventos que ocurrieron son monofásicos (68 por ciento), seguidos por dos fases (19 por ciento) y tres fases (13 por ciento).

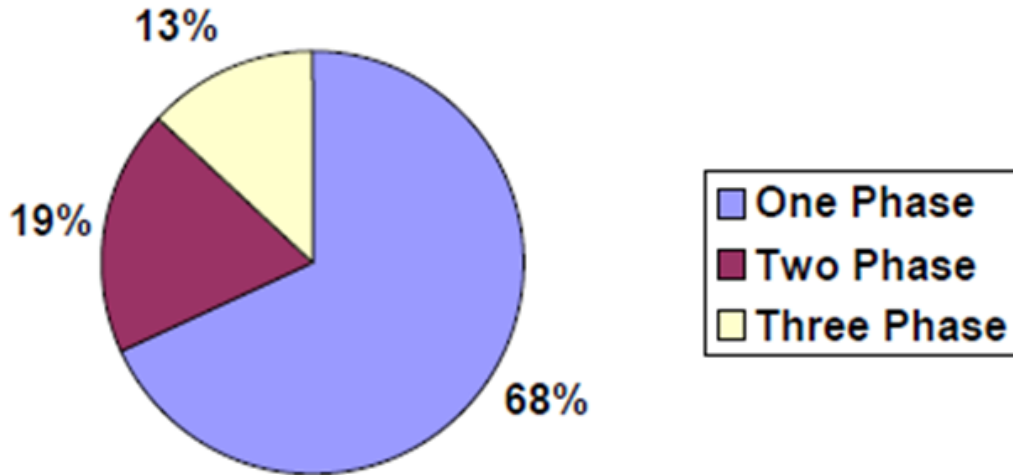


Figura 5. 2. Imagen tomada de figura 3-4 de “Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food Processing Industry”. Porcentaje de efecto de fases durante variaciones RMS de voltaje.

En base a esta información, las estrategias de mitigación que se enfocan en resolver eventos de una o dos fases pueden ser muy efectivos para permitir que los sistemas no perciban sags de tensión.

5.1 PROCESO DE PRUEBA SEGÚN NORMAS IEC 61000-4-34 Y SEMI F47-0706

Para el trabajo presentado se plantea un proceso adaptado al equipo diseñado siguiendo los parámetros de la norma IEC-61000-4-11, el proceso se detalla en la figura 5.3. [14]

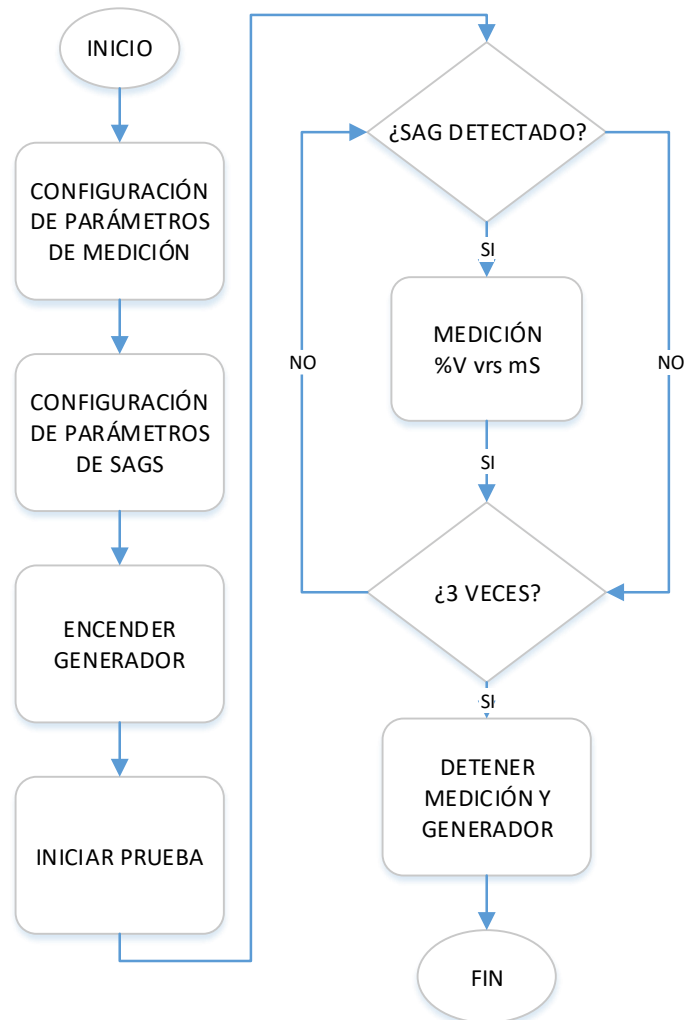


Figura 5. 3. Diagrama de proceso según equipo diseñado y norma IEC 61000-4-11.

- El nivel de inmersión se debe seleccionar a mano con el dial del autotransformador.
- El tiempo deseado del sag se debe de configurar en la interfaz diseñada.
- El generador de sags se enciende por medio de los interruptores, del autotransformador e interruptor principal.
- Al dar click en el botón inicio la tarjeta NI USB recibe la orden de comenzar el proceso y se activan los relés de estado sólido que están configurados para realizar el disparo según el tiempo programado. Mientras la prueba no se está ejecutando, el autotransformador suministra el voltaje nominal para que el equipo que está bajo prueba funcione normalmente.

- El proceso descrito en la figura. 5.3 implica probar el equipo tres veces; este es un requisito de la norma IEC. La prueba se debe hacer un mínimo de tres veces con un espacio mínimo entre inmersiones de 10 segundos.
- El proceso para determinar la curva de robustez se realiza con la misma lógica, partiendo del punto en el tiempo en el que, el equipo no soporte una variación de tensión del 0%, para esto se debe de realizar la prueba con valores fuera de los establecidos en la norma.

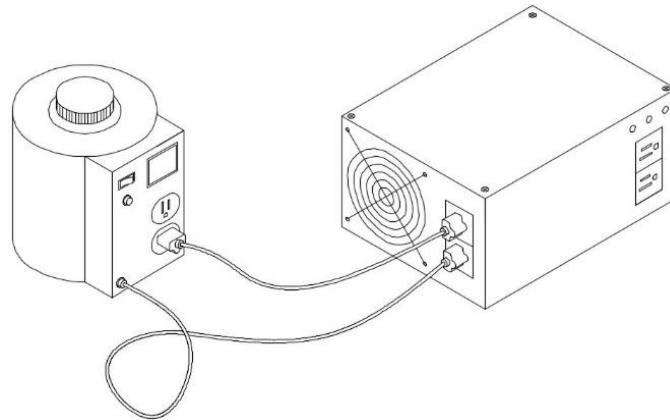


Figura 5. 4. Equipo para prueba de robustez con VARIAC.

5.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Para la presentación de resultados se realiza en una ficha que se puede observar en anexos 1 y a continuación, se describe cada cuadro a complementar.

En la tabla 5.1 se solicitan los datos generales del equipo al que se le realizará la prueba, el dato Clase según IEC 61000-4-11 debe de ser colocado tomando las consideraciones mencionadas en el capítulo 2, para PLC estos serán tomados en la clase 3, ya que siempre están presentes en un entorno industrial.

FICHA DE PRUEBA DE ROBUSTEZ ANTE SAGS		No.
		Fecha:
Datos del equipo a ensayar	Empresa/Institución	
	Equipo	
	Modelo	
	No inventario	
	Clase según IEC 61000-4-11	

Tabla 5. 1. . Espacio determinado para colocar datos generales del equipo al que se le realizará las pruebas de robustez.

En la tabla 5.2 muestra los valores en los que se debe de programar el generador de sags y también los espacios para llenar con un cheque si el equipo no se ve afectado y una x si el equipo es afectado por la perturbación, la prueba debe de realizarse 3 veces con el mismo valor según norma.

NIVELES DE PRUEBA IEC 61000-4-11														
No	Pruebas		1			P	2			P	3			P
	% V	t(ms)												
1	80	5000												
2	70	500												
3	40	200												
4	0	16.6												
5	0	8.3												

Tabla 5. 2. Cuadro de recolección de datos con parámetros según prueba de robustez determinada por IEC 61000-4-11.

La tabla 5.3 es un espacio para determinar el criterio de evaluación según la norma IEC 61000-4-11, estos se detallan en el capítulo 2 de este documento, siendo el criterio “D” el más severo.

CRITERIO DE EVALUACION	
A	
B	
C	
D	

Tabla 5. 3. Selección de criterio de evaluación según norma IEC 61000-4-11, detallados en capítulo 2 de este documento.

En la tabla 5.4 encontramos espacio para poder colocar los valores en los que determinemos la curva de robustez, la cual se determina probando en diferentes valores de tiempo a 0% de voltaje, luego al determinar este valor, comenzamos a variar el voltaje hasta determinar el punto donde no es afectado el equipo.

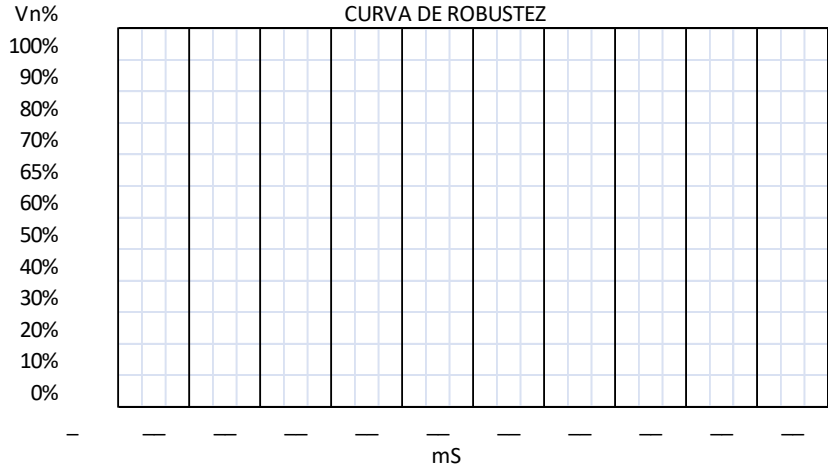



Tabla 5. 4. Cuadro de recolección de datos para creación de curva de robustez.

En la figura 5.5, se muestra la ficha de evaluación de robustez, en la que se detallan todas las etapas antes descritas.


 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

FICHA DE PRUEBA DE ROBUSTEZ ANTE SAGS		No. _____
		Fecha: _____

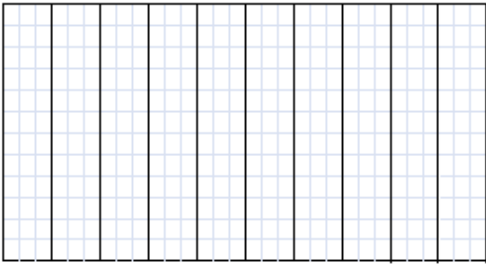
Datos del equipo a ensayar	Empresa/Institución	
	Equipo	
	Modelo	
	No inventario	
	Clase según IEC 61000-4-11	

La presente prueba tiene el objetivo de determinar la curva de robustez del equipo a ensayar, la prueba de sag se limita a disminución de tensión y control de duración de dicha disminución, en ningún momento el equipo está en peligro ya que no se incrementa la tensión, cambia la frecuencia o se crean perturbaciones destructivas en la señal de entrada.

NIVELES DE PRUEBA IEC 61000-4-11								CRITERIO DE EVALUACION		
No	Prueba		1		2		3			
	%V	t(ms)		P		P				P
1	80	5000								
2	70	500								
3	40	200								
4	0	16.6								
5	0	8.3								

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CURVA DE ROBUSTEZ



mS

Prueba con la Norma IEC 61000-4-11

Observaciones: _____

Prueba elaborada por: _____

Figura 5. 5. Presentación de la ficha de robustez integrada.

5.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

A continuación, se presentan resultados obtenidos mediante la realización de la prueba de robustez de diferentes equipos utilizados en la industria del automatismo, los cuales han sido graficados en Excel para una mejor presentación, estos equipos han sido probados de forma individual y no en un sistema para ser evaluados según clase, las fichas técnicas pueden ser observadas en los anexos.

En las siguientes gráficas, se presenta la curva de robustez tomada con el equipo construido bajo la prueba especificada, en esta se detalla la variación de voltaje y mili segundos que soporta:

Los equipos probados son los siguientes:

- PLC SIEMENS: SIMATICS S7-1200

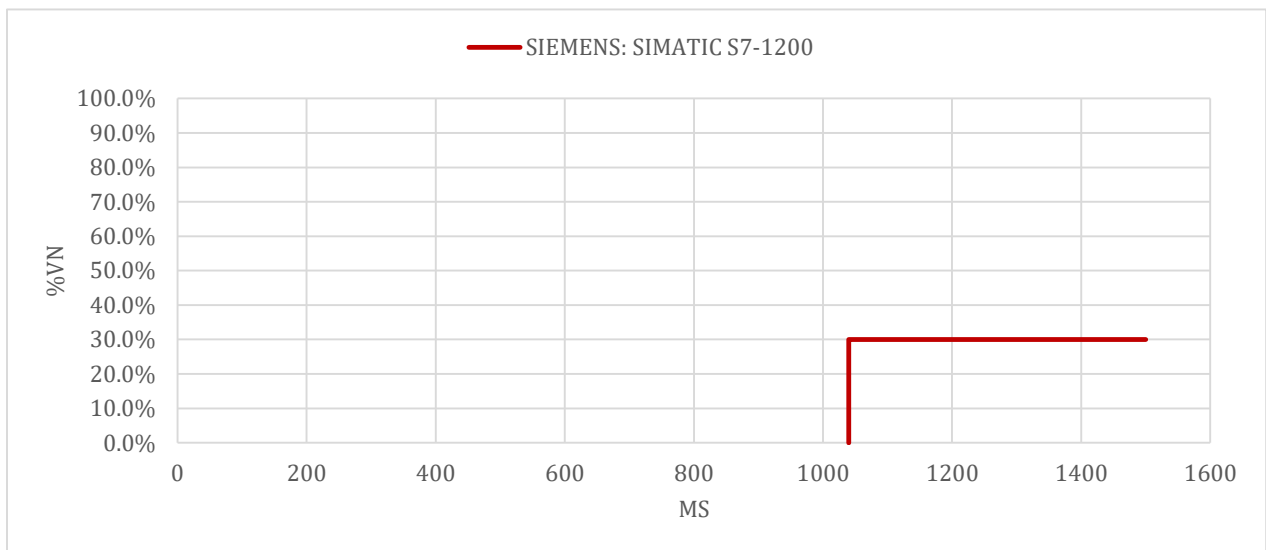


Gráfico 5. 1. Curva de robustez de PLC SIMATICS S7-1200

El equipo soporta variaciones de tención de hasta el 0% en un lapso de tiempo de 1,040 mili segundos, y un mínimo de tensión de trabajo de 30% por lo que se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- SCHENIDER TSX-NANO

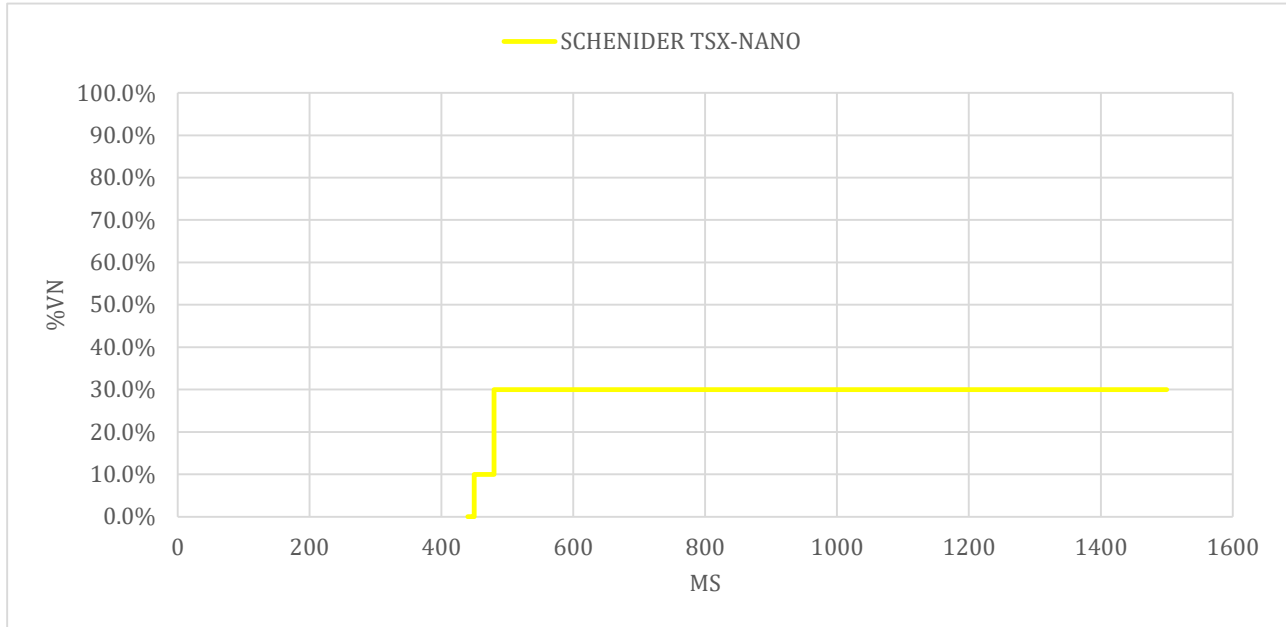


Gráfico 5. 2. Curva de robustez SCHENIDER TSX-NANO.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 440 mili segundos, del 10% por 450 mili segundos y para concluir soporta un mínimo de 30% por lo que se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- OMRON SYSMACCP1H

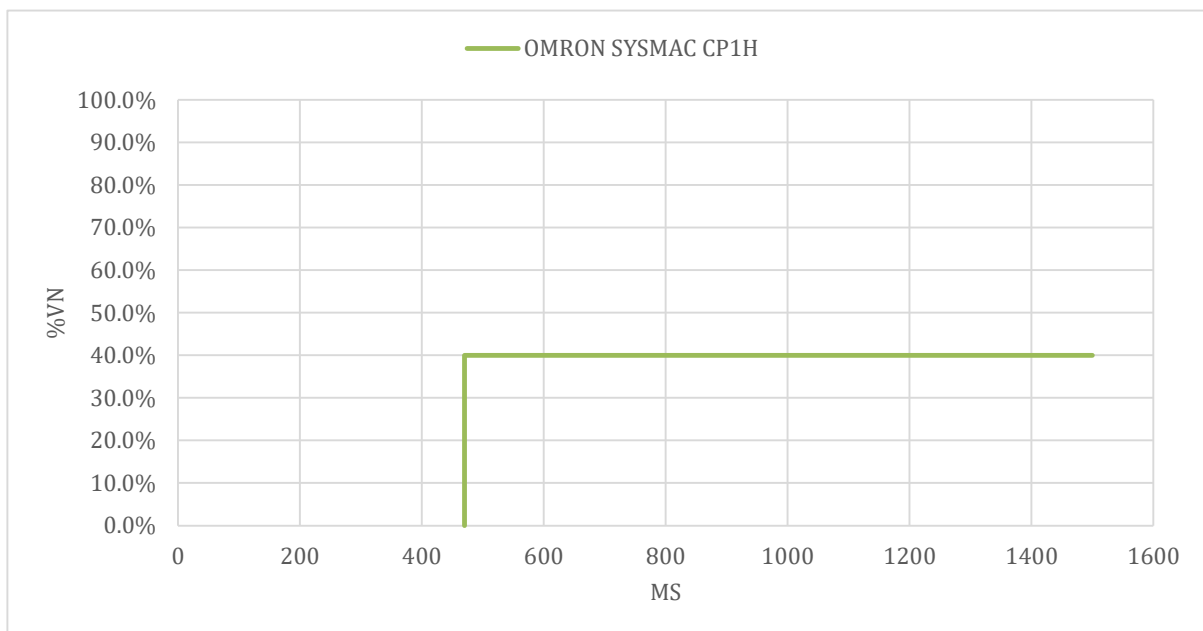


Gráfico 5. 3. Curva de robustez OMRON SYSMACCP1H.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 470 mili segundos, del 40% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- SIEMENS S7-200

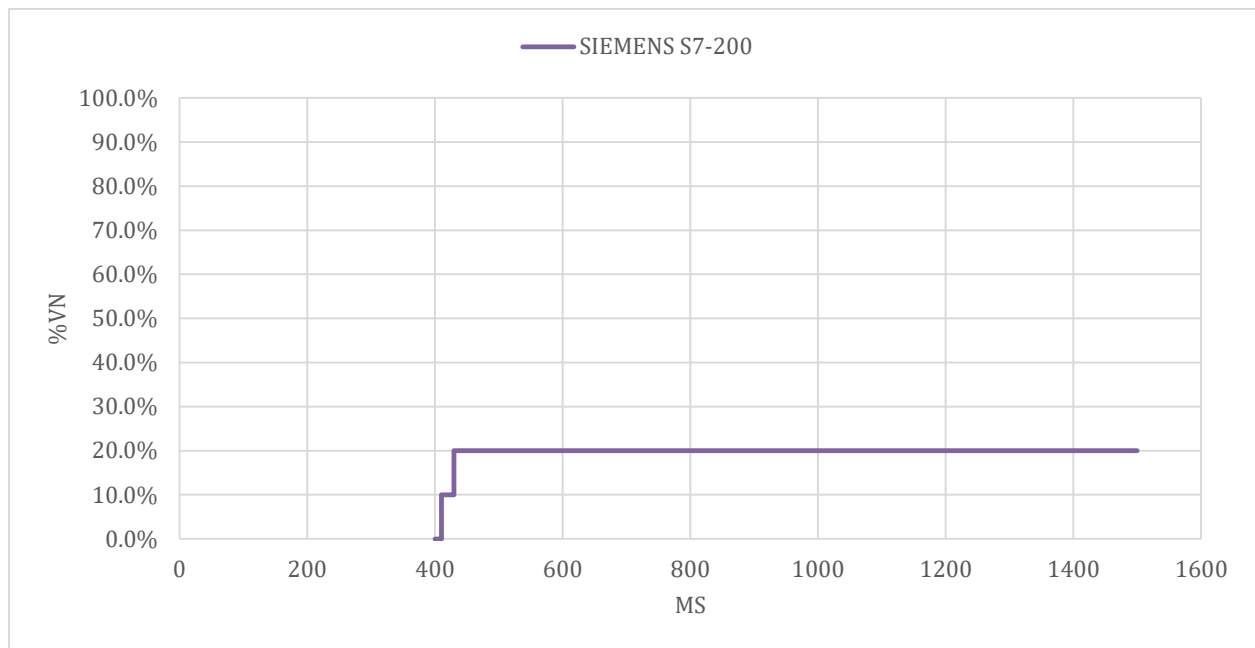


Gráfico 5. 4. Curva de robustez SIEMENS S7-200.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 410 mili segundos, 10% por un lapso de 420 mili segundos y del 40% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- LOGO 23ORCE

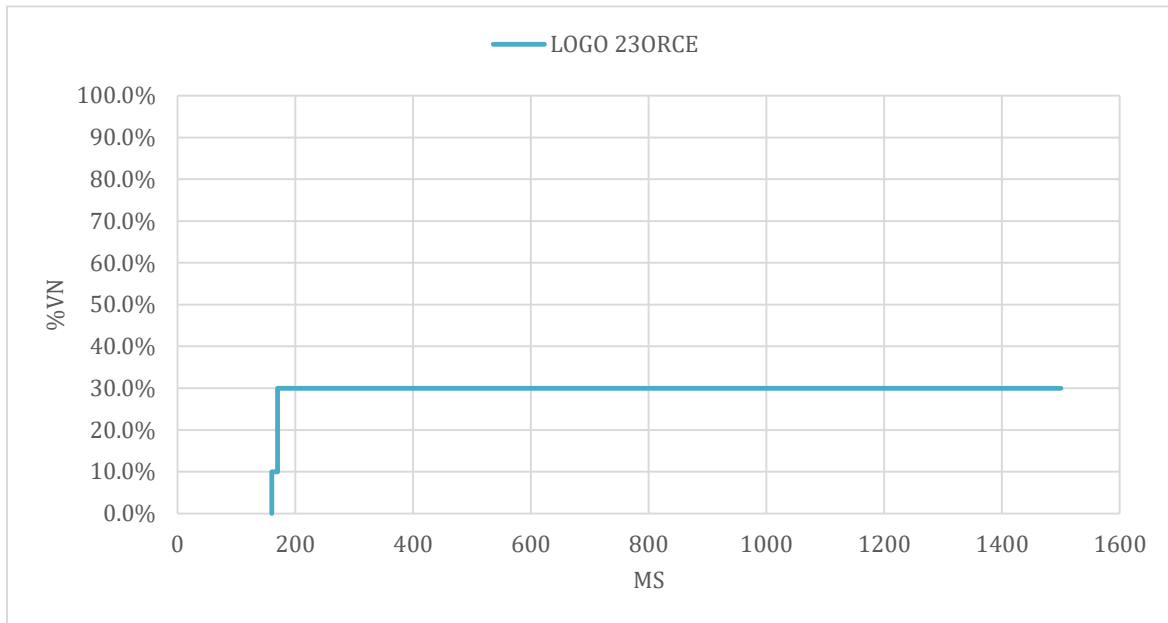


Gráfico 5. 5. Curva de robustez LOGO 23ORCE.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 150 mili segundos, del 10% en un lapso de 160 mili segundos y con variación mínima de trabajo de 30% se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47, a pesar de tener una mala robustez en compasión de los otros equipos.

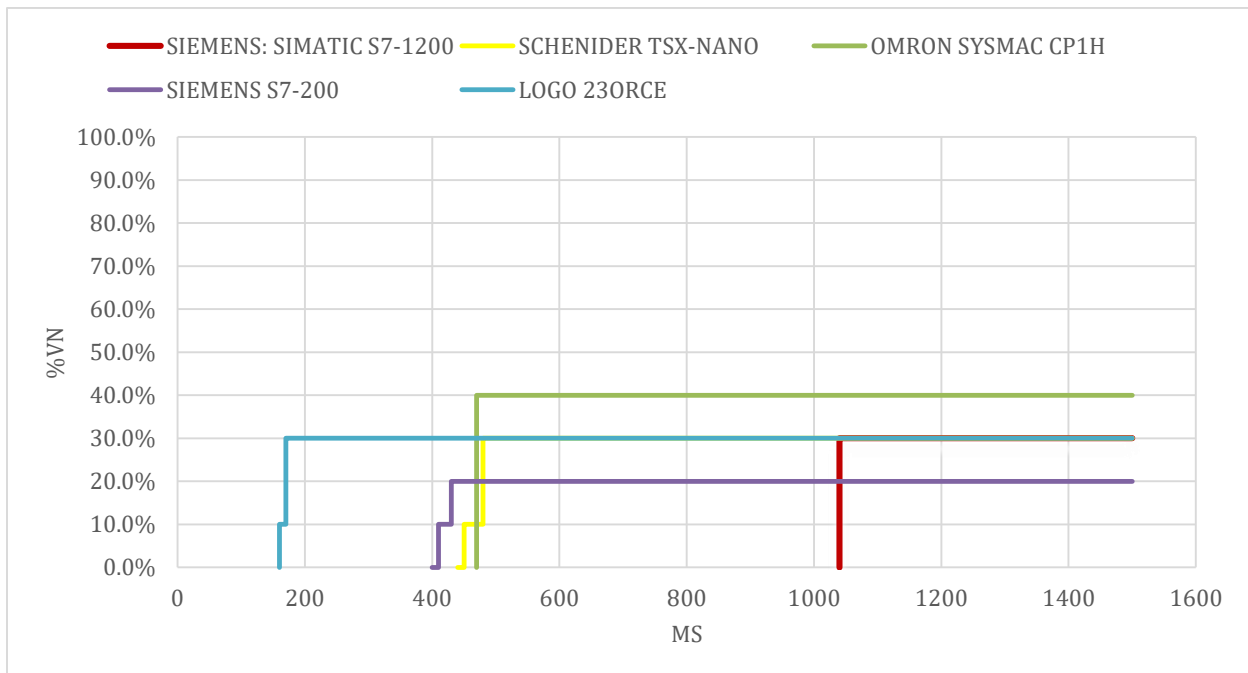


Gráfico 5. 6. Curvas de Robustez de PLC SCHEIDER, SIEMENS Y OMRON.

Al comparar las curvas de robustez de todos los equipos probados se puede determinar qué equipo soporta de mejor manera las variaciones de tensión, en este caso el PLC SIEMENS: SIMATICS S7-1200 es el equipo con mejor robustez ya que puede soportar más de 1,000 mili segundos con voltaje 0.

A continuación, se presentan curvas de robustez de variadores de velocidad Schneider electric y una fuente de tensión PHOENIX CONTACT QUINT POWER.

Los variadores de velocidad se pueden configurar para que se desconecten al percibir variaciones de tensión en diferentes rangos, estos equipos se han configurado para que no se desconecten ante las variaciones, por lo que la curva de robustez muestra los valores en los que el equipo se apaga.

- SHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 630 ATV630U007M3

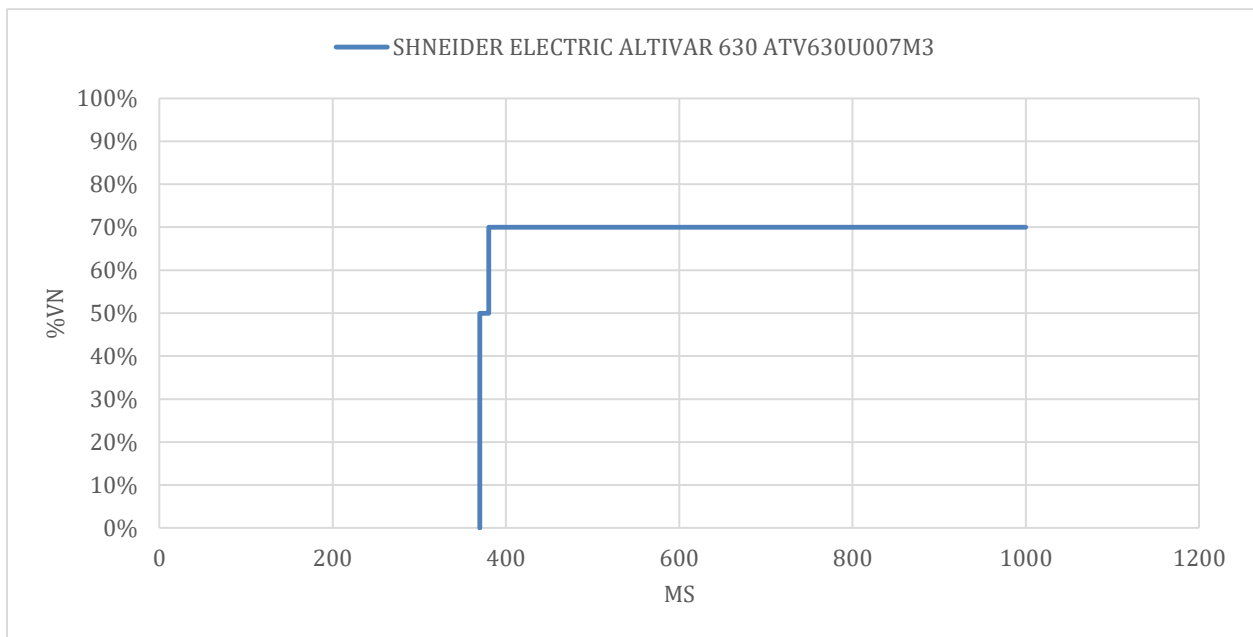


Gráfico 5. 7. Curva de robustez SHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 630 ATV630U007M3.

El equipo soporta variaciones de tensión del 0% en un lapso de tiempo de 370 mili segundos, 50% por un lapso de 380 mili segundos y del 70% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- SCHNEIDER ELECTRIC SR3B101FU

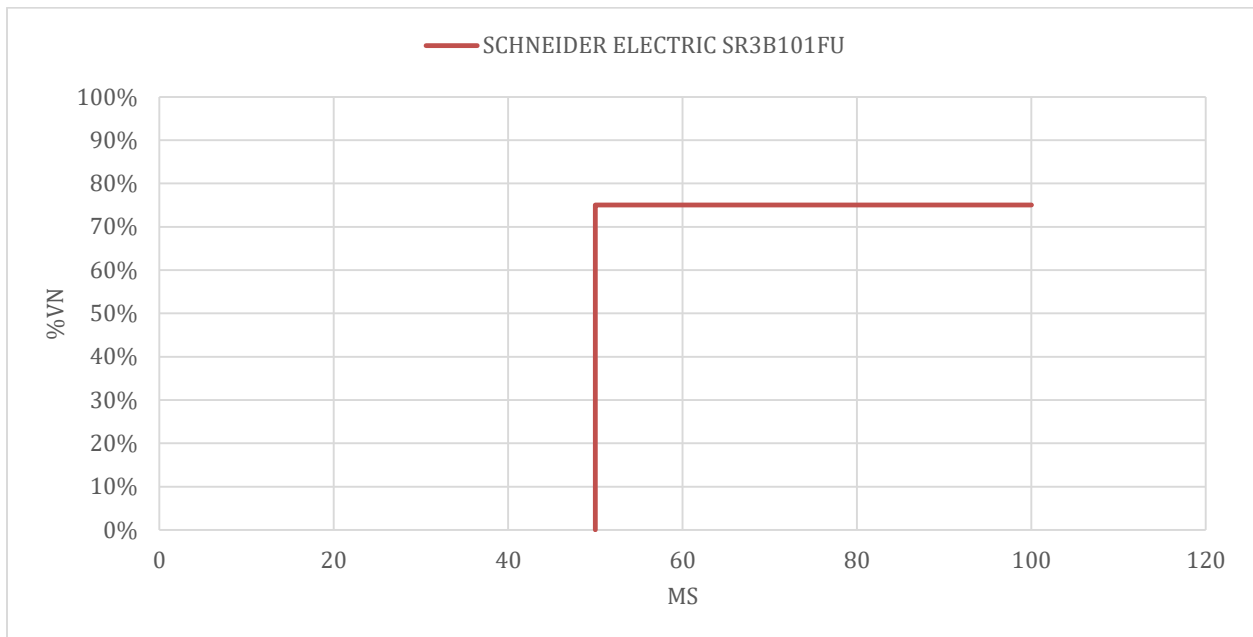


Gráfico 5. 8. Curva de robustez SCHNEIDER ELECTRIC SR3B101FU.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 50 mili segundos, 75% como valor mínimo de trabajo se entiende que el equipo no cumple las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- SCHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 930 ATV930U007M3

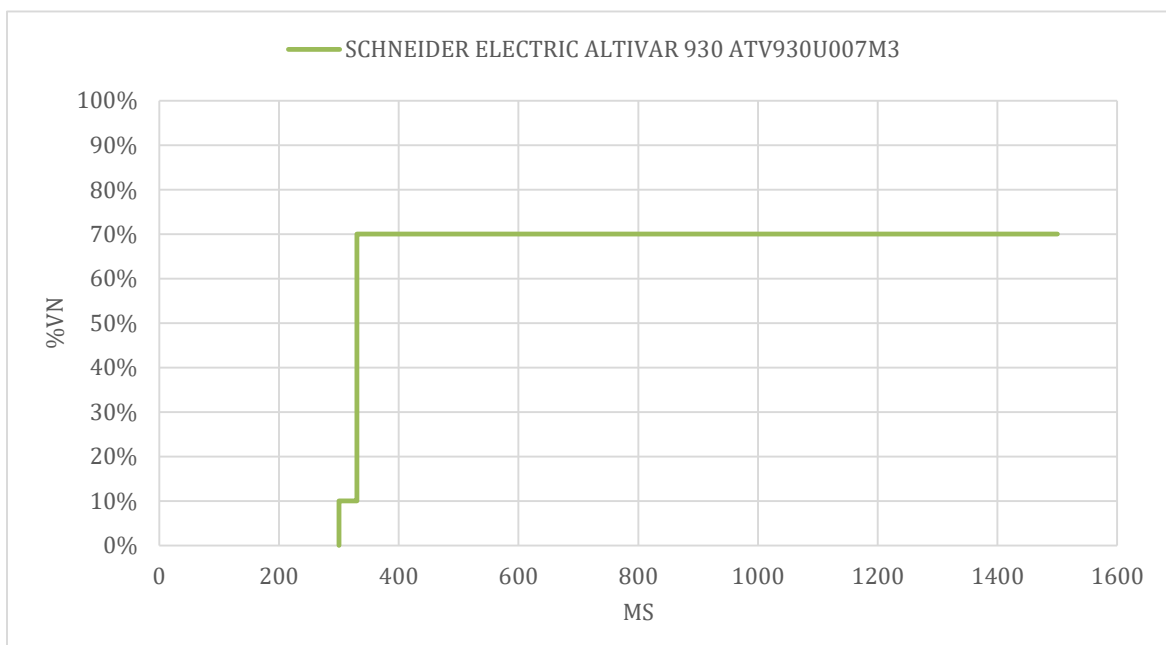


Gráfico 5. 9. Curva de robustez SCHNEIDER ELECTRIC ALTIVAR 930 ATV930U007M3.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 330 mili segundos, del 70% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47.

- PHOENIX CONTACT QUINT PWER

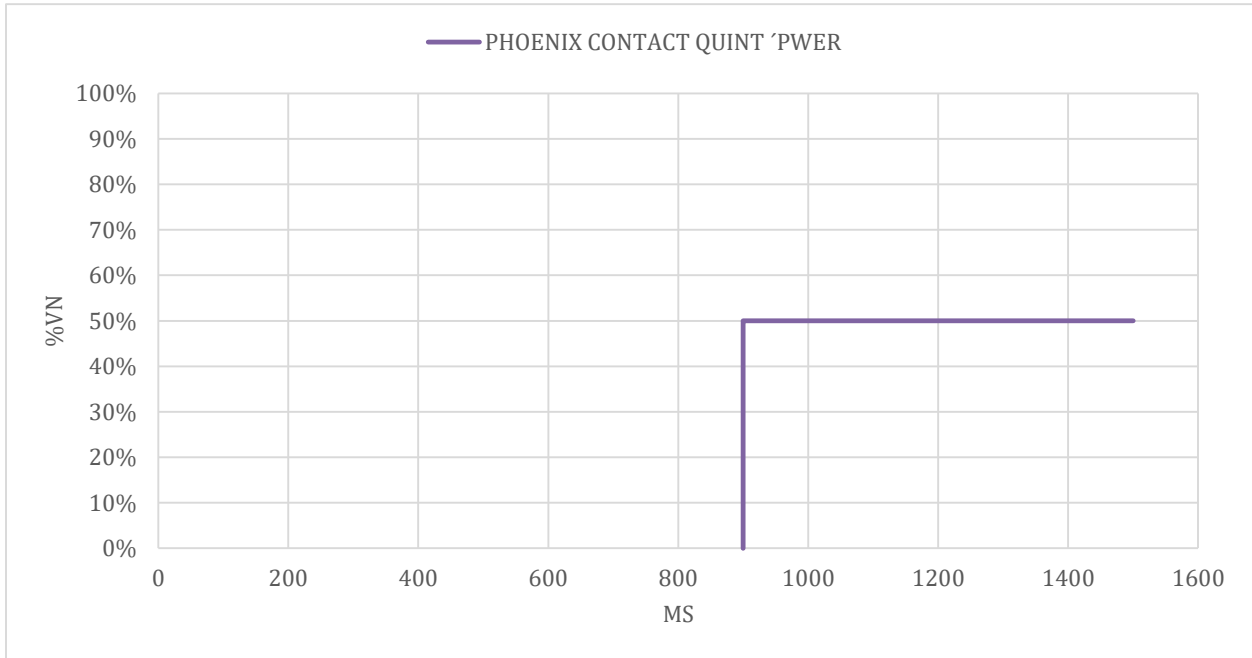


Gráfico 5. 10. Curva de robustez PHOENIX CONTACT QUINT PWER.

El equipo soporta variaciones de tención del 0% en un lapso de tiempo de 900 mili segundos, del 0% como variación mínima de trabajo se entiende que el equipo está bajo las normativas estudiadas IEC 61000-4-11 y SEMI F47, esta fuente de voltaje fue probada hasta obtener una variación de 2.0 V en DC en su salida.

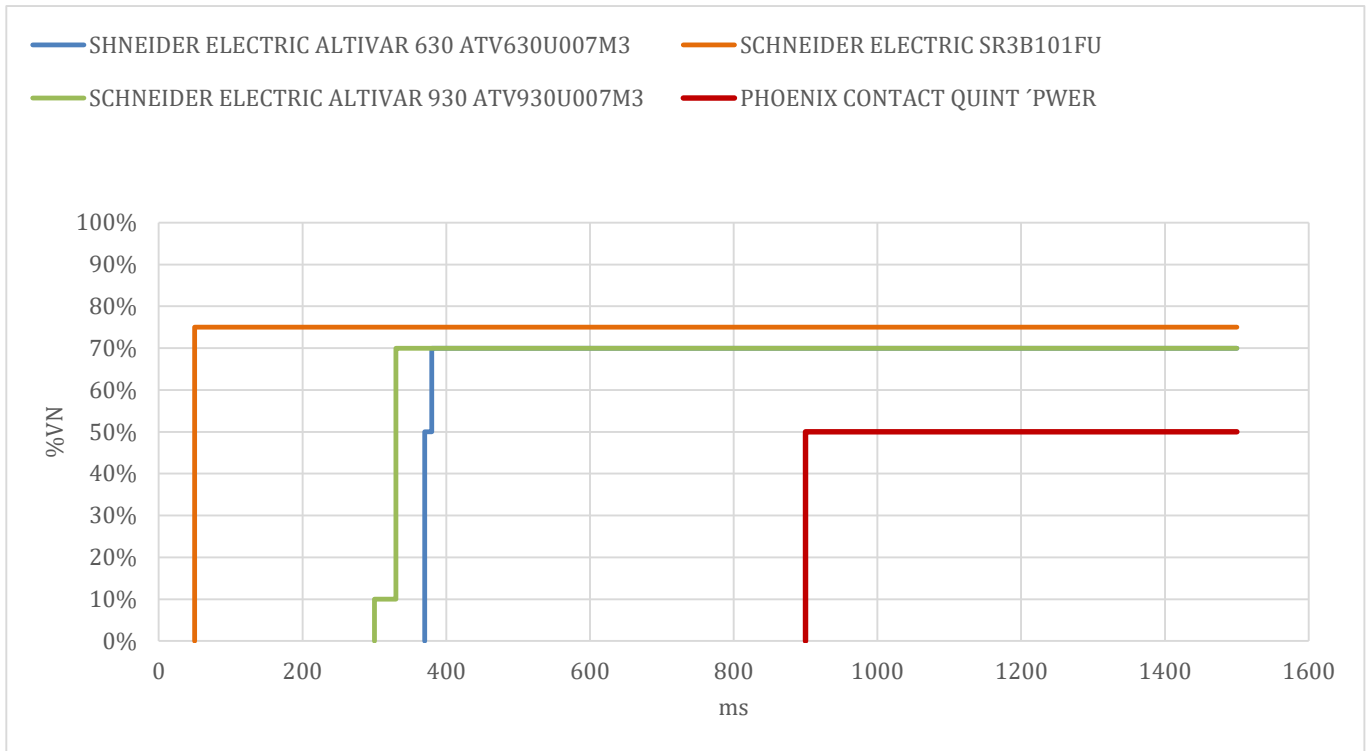


Gráfico 5. 11. Curva de robustez de variadores de velocidad Schneider electric y fuente Phoenix.

En este tipo de equipo al graficar todas las curvas podemos observar que al aplicar el uso de una fuente DC a la alimentación de uno de los equipos, podemos mejorar la robustez de estos evitando así paros de motores por sags de tensión.

5.4. SOLUCIONES DE CONTROL DE NIVEL DE VOLTAJE

A menudo, la capacidad de resistir el paso de sags de un equipo o máquina, está directamente relacionada con la capacidad de uno o más componentes pequeños de "enlace débil" para sobrevivir al evento de caída de tensión, con esto nos referimos a fuentes de alimentación de mala calidad o de poca robustez antes variaciones de tensión.

Las cargas necesitan de algún tipo de sistema que pueda reaccionar rápidamente (alrededor de medio ciclo) y que pueda suministrar potencia normalmente por algunos segundos hasta que la tensión regrese a valores nominales.

Las estrategias efectivas para mejorar la inmunidad a la tensión, recomendadas por estudios de entidades expertas en el área son las siguientes herramientas:

- Use "acondicionadores de energía selectivos" en cargas susceptibles.
- Incruste la solución a través del diseño y las estrategias de selección de componentes.
- Utiliza una combinación de ambas estrategias.

En muchos casos, se pueden aplicar acondicionadores de potencia pequeños a los circuitos de control para hacer que el equipo sea más robusto a las caídas de tensión. A continuación, comentamos los que comúnmente se encuentran en la industria.

5.4.1 EL TRANSFORMADOR FERRORESONANTE O DE VOLTAJE CONSTANTE (CVT)

El CVT (por ejemplo, un transformador ferroresonante) se define mejor en la literatura de la siguiente manera:

"El transformador ferroresonante es un dispositivo que mantiene dos trayectorias magnéticas separadas con acoplamiento limitado entre ellas (ver figura 5.6). La salida contiene un circuito de tanque resonante en paralelo y toma energía del primario para reemplazar la potencia entregada a la carga. El transformador está diseñado para que la ruta de salida esté en saturación mientras que la otra no. Como resultado, un cambio adicional en el voltaje primario no se traducirá en cambios en el voltaje secundario saturado y en los resultados de regulación de voltaje ". [7]

Los transformadores resonantes son básicamente de relación 1:1 los cuales son altamente excitados en sus curvas de saturación, por esta razón suministra una salida de voltaje a la cual no le afecta de forma significativa las variaciones de tensión de entrada

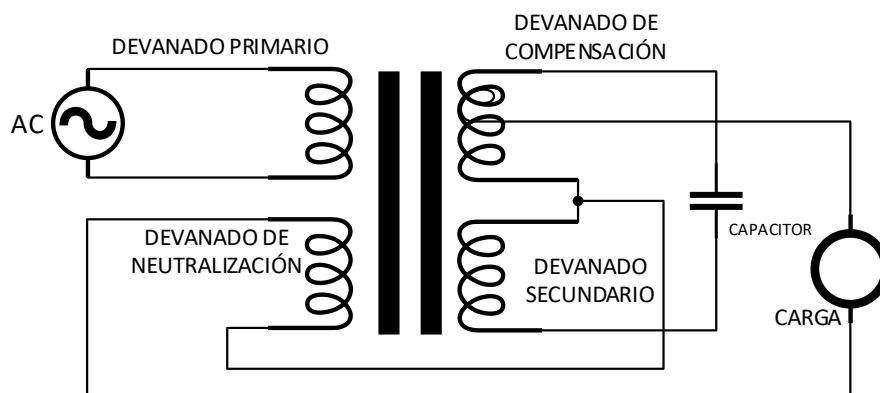


Figura 5. 6. Transformador ferroresonante de voltaje constante.

Como se puede observar en la figura 5.6 el transformador ferroresonante no alimentará el circuito de carga en caso de una interrupción momentánea o una caída de tensión muy grave, sumando a este detalle es difícil tratar las corrientes momentáneas grandes como los arranques de motores, como regla empírica debe sobredimensionarse para manera el valor RMS de la corriente de entrada, si esta no está sobredimensionada la salida corre peligro de colapsar momentáneamente o posiblemente indefinidamente.

Los CVT ofrecen protección contra las caídas de tensión y variaciones como los sags, estos pueden suministrar una salida del 100% cuando la tensión ha bajado a un 45% del valor nominal, como se puede observar en la figura 5.7.

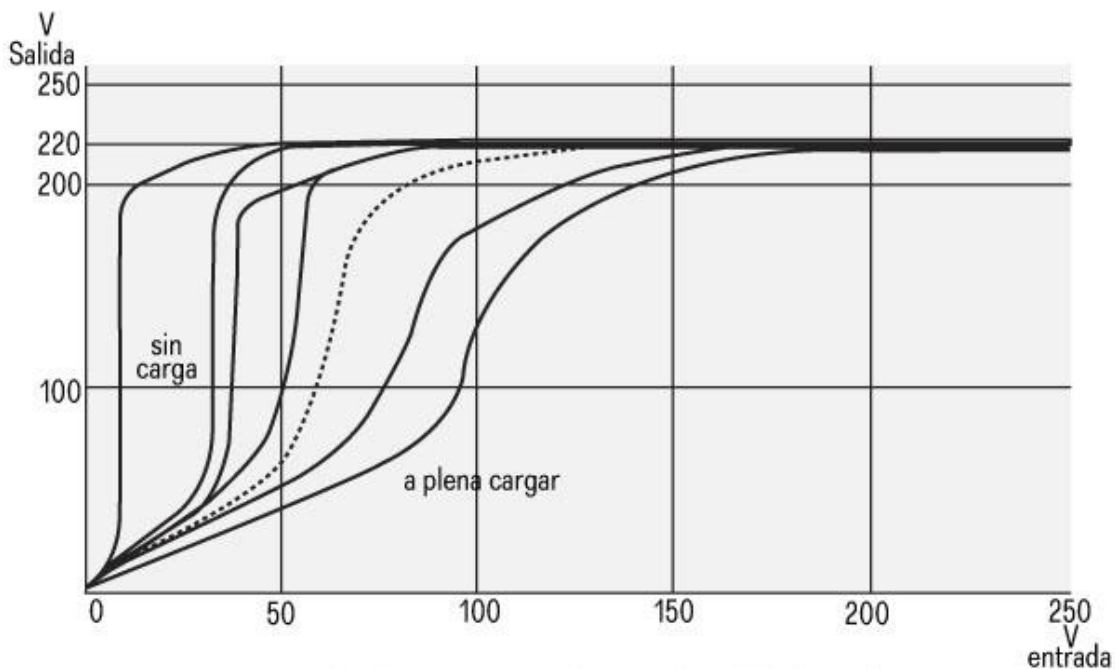


Figura 5. 7. Característica de entrada/salida de un CVT sistema monofásico.

Los transformadores ferroresonantes deberían ser seleccionados 4 veces más grandes que la carga, la figura 5.8, se observa la caída de voltaje permisible expresada en porcentaje del voltaje nominal frente a la carga del transformador ferroresonante, según especificaciones de constructor [7], a una carga del 25%, la caída de voltaje permisible es del 30% nominal lo cual significa que el equipo tendrá una salida de más del 90% de voltaje normal, siempre y cuando el voltaje de entrada permanezca sobre el 30%.

Esta referencia es muy importante ya que en los sistemas monofásicos que un equipo soporte las caídas de 30% es excelente, cabe recalcar que si el equipo aumenta su carga y esta sobrepasa el 100% existe la posibilidad de que la salida sea cero.

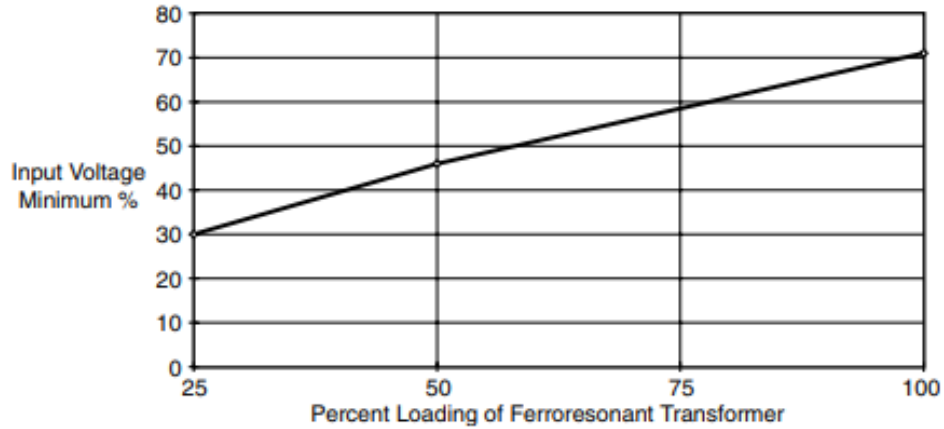


Figura 5. 8. Caída de voltaje en función de la carga del transformador ferroresonante.

Se puede observar en la figura 5.9 una comparación hecha por IEEE sobre el mejoramiento de un equipo controlador de un proceso al instalarse un transformador ferroresonante.

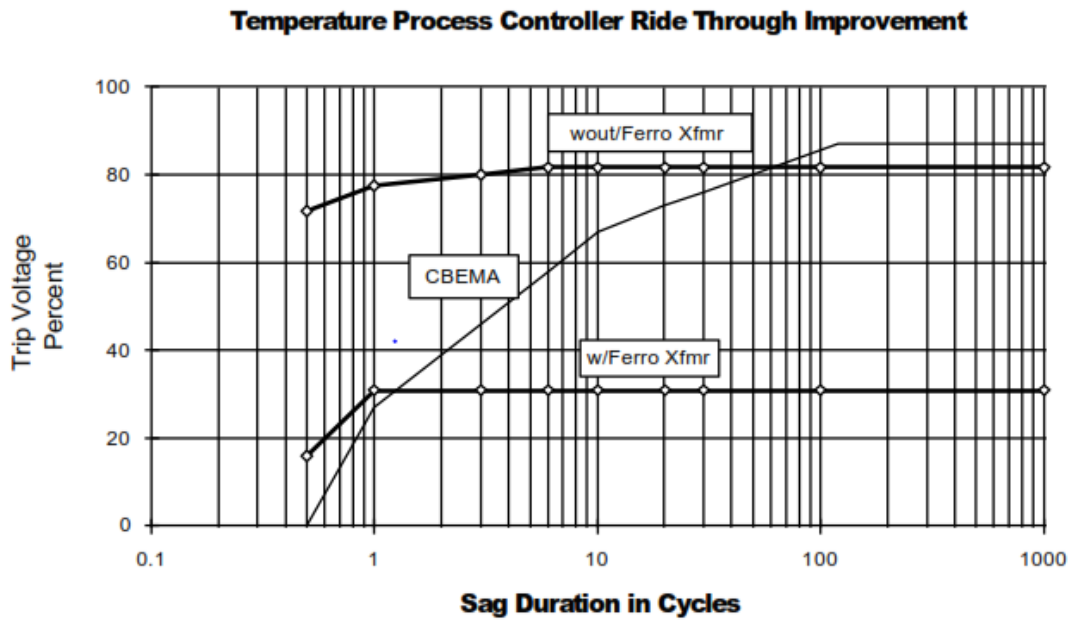


Figura 5. 9. Mejoramiento de voltaje con transformador ferroresonante (TF).

5.4.2 EL DYNAMIC SAG CORRECTOR (DYSC) O COMPENSADOR ACTIVO EN SERIE (DIP).

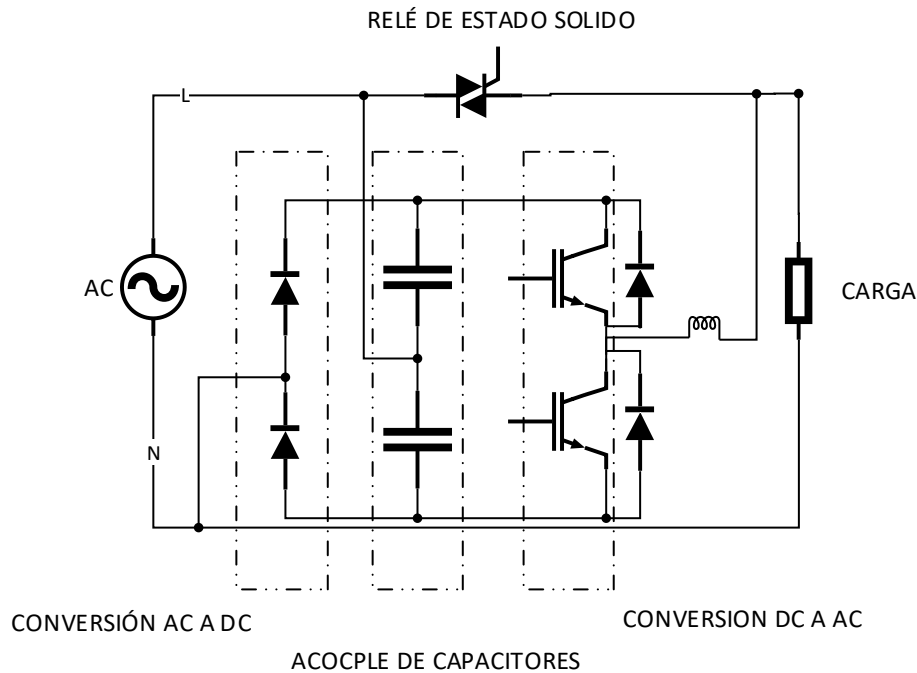


Figura 5.10 Configuración por fase de ProDySC

El DySC es un tipo de dispositivo de corrección de desplazamiento dinámico sin transformador de serie, cuyo esquema de bloque se muestra en la figura 5.10. DySC pueden aumentar la tensión de la línea de AC entrante en más de un 100% y pueden proporcionar protección ante sags de hasta cero voltios. La duración de la protección de paso depende de la energía almacenada. Sin embargo, la función de aumento de voltaje no está limitada por ninguna energía almacenada en el sistema. Más bien, el sistema está optimizado para manejar caídas de tensión de corto plazo de hasta 2 segundos. El DySC, sin embargo, no está diseñado para caídas de tensión prolongadas.

- DySC normalmente funciona en modo de derivación hasta que el microprocesador incorporado detecta una condición de caída de tensión.
- La transferencia al modo de "flecha floja" se realiza en menos de medio ciclo, y DySC continúa entregando una forma de onda de salida sinusoidal regulada a la carga.
- El DySC vuelve al modo de derivación al detectar un voltaje de línea de servicio 'normal'.

En condiciones normales (es decir, de bypass), las DySC son más eficientes en un 99% y no causan distorsión de corriente de línea adicional. No hay baterías que reemplazar o mantener, lo que da como resultado una vida útil prolongada.

La figura 5.11 muestra la curva estándar SemiF47 utilizada por la industria y la curva de robustez de ProDySC, según esta curva se dice que un dispositivo de mitigación de la calidad de la energía ha pasado la norma SemiF47 y puede proteger la carga ante caídas de tensión que exige la norma. Cualquier evento por debajo de esta curva no está protegido.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas por EPRI indican que el ProDySC supera el estándar SemiF47 y es capaz de mitigar los huecos de voltaje de manera efectiva.

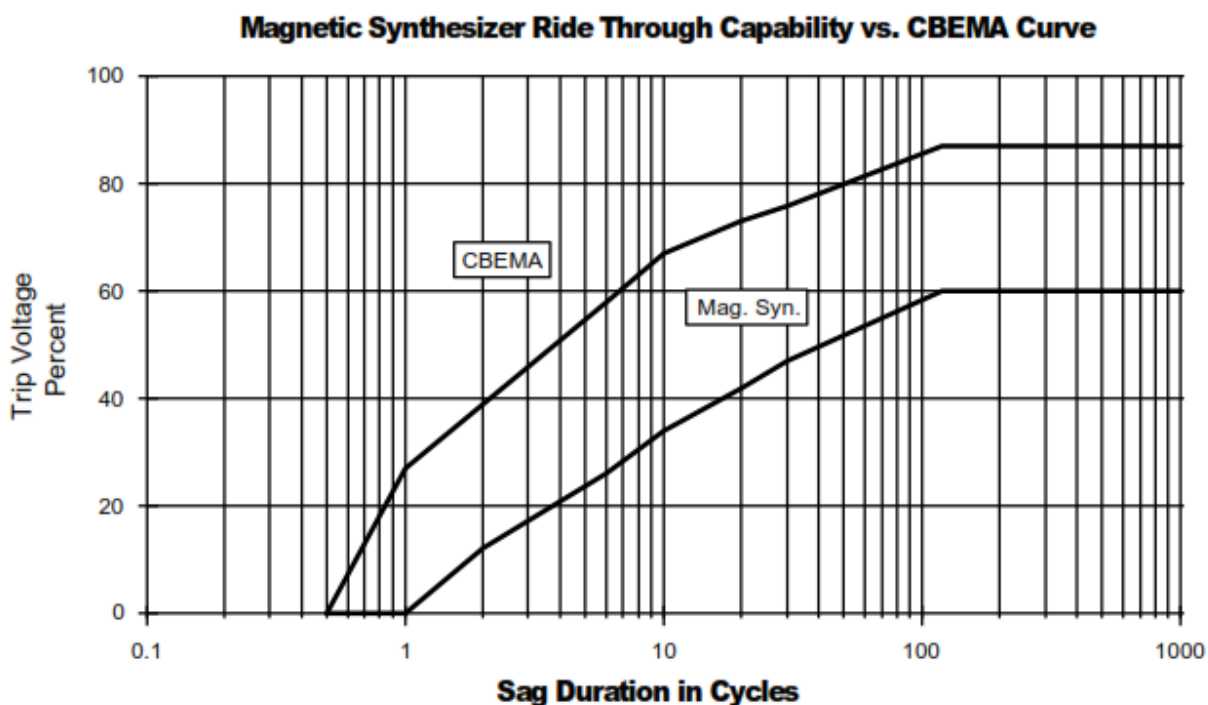


Figura 5. 10. Mejoramiento de voltaje con Sintetizador magnético (DIP).

El tiempo de respuesta es el tiempo que toma DySC para pasar de la tensión de alimentación de entrada a la tensión corregida durante condiciones de caída de tensión. Este es un problema importante para los acondicionadores de energía porque algunas cargas sensibles pueden dispararse antes de que se complete la transferencia (menos de un ciclo). El DySC tiene un tiempo de respuesta que es del orden de una fracción de un ciclo (alrededor de 1/10 ciclos) que incluye tanto la detección como la corrección de los huecos de voltaje, que cumplen con las especificaciones del fabricante. [9]

5.4.2.1 CÁLCULO DE TIEMPO PARA INTERRUPCIONES

El DySC no puede suministrar energía a las cargas durante una interrupción sostenida o bajo voltaje, el tiempo máximo que DySC puede proporcionar a un voltaje cero de hasta 49% RMS se calcula de la siguiente manera:

$$Tiempo(ms) = \left(\frac{DySC_{RATED}}{LOAD_{RATED}} \right) \left(\frac{0.7}{PF_{LOAD}} \right) \left(1 + \frac{\%VR}{50\%} \right) (RATED_OUTAGE_{TIME}) \quad [5.1]$$

dónde,

Tiempo = Tiempo máximo que puede mantener la carga en milisegundos

DySC RATED = DySC corriente nominal RMS actual de la placa de identificación

LOAD RATE = Corriente RMS medida de la carga

PFLOAD = Factor de potencia de carga

% VR = Porcentaje de voltaje restante (si <50% RMS)

RATED_OUTAGETIME = Clasificación de interrupción de DySC: estándar (50 ms) o extendida (200 ms)

Es conocido como una clase de dispositivo UPS sin baterías. Como funciona solo cuando se detecta el pandeo de voltaje (tecnología fuera de línea)

La cantidad de tiempo que se suministrará la carga también se puede calcular en función de la potencia real y el almacenamiento de energía. La cantidad de tiempo que el dispositivo puede suministrar energía a la carga se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$t(s) = \frac{\text{Energía almacenada utilizable (Julios)}}{\text{Carga requerida en vatios}} \quad [5.2]$$

Para una unidad de 480 VA, la energía almacenable utilizable es de 80j cuando se alimenta a voltaje nominal. Si la carga real fue de 60W, la unidad puede suministrar voltaje a la carga para una interrupción o caída de hasta 1.33 segundos.

Es importante tener en cuenta que, si el DPI funciona a 208 VCA, como con algunas aplicaciones, la potencia disponible debe ser descalificada. Esto se debe al hecho de que los condensadores de la unidad están diseñados para funcionar a 240 Vac. Cuando el voltaje de operación real es de 208 Vac, la energía de almacenamiento en el dispositivo es un 18% más baja, lo que resulta en un menor tiempo de conducción. Si la disminución no es aceptable, se debe usar la siguiente unidad de tamaño más grande o la unidad se debe especificar con condensadores adicionales en la orden de compra.

Debido a que no tiene baterías, el mantenimiento requerido es menor. La vida útil nominal de los condensadores es de doce años. El DPI también es compacto y liviano en comparación con el CVT o el UPS. Dado que las configuraciones de voltaje estándar para las unidades son 120 y 240 Vac, el comprador debe especificar si el voltaje nominal es diferente para que la fábrica preajuste el

DPI (por ejemplo, 208 Vac). La salida DPI es una onda cuadrada, que se ha encontrado que es incompatible con solo un puñado de componentes, no se recomienda para cargas sensibles a armónicos.

El nivel de umbral de caída de tensión DPI se puede ajustar para determinar cuándo se transferirá la carga al banco de condensadores. La unidad también se puede configurar para especificar la cantidad de tiempo que el inversor debe funcionar. Si la unidad se instala con la configuración de fábrica, puede permitir el apagado de algunos de los componentes más sensibles, como los relés de propósito general y los PLC, antes de realizar la transición. Cuando está configurado para cambiar a la potencia del condensador en el ajuste más alto (90% de la tensión nominal), la unidad funciona bien para apuntalar las cargas sensibles. Se ha encontrado que la salida de onda cuadrada es incompatible con solo un puñado de componentes, como algunos canales de entrada de CA en tarjetas de E / S de PLC.

5.4.3 EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (UPS)

El UPS puede venir en dos tipos básicos: fuera de línea y en línea. Un UPS fuera de línea o en espera normalmente pasa la energía directamente desde la entrada de la unidad a la salida. Cuando se detecta una caída de tensión o una interrupción, la unidad cambia a una batería y proporciona una salida de inversor a la carga. Si la transferencia es lo suficientemente rápida (<1 ciclo) y está en fase con la tensión entrante, es probable que los componentes de control típicos no se vean afectados por el evento de caída. Como solo se conecta al circuito cuando se produce una caída o una interrupción del voltaje, un sag muy pronunciado puede generar ruido en la salida debido a las altas corrientes de recuperación.

El UPS en línea continuamente pasa potencia condicionada desde la entrada de la unidad a la salida. Por esta razón, la unidad debe dimensionarse para manejar la corriente de entrada para la carga y generalmente será más costosa para la carga requerida. El mejor diseño para este tipo de unidad tiene un transformador ferresonante en el extremo frontal de la unidad para mitigar el aumento de voltaje y el ruido.

En última instancia, la determinación de si usar un UPS u otro dispositivo de acondicionamiento de voltaje depende de si la carga requiere energía durante una breve interrupción. Si este es el caso, el UPS es la mejor opción. El rendimiento de los modelos individuales de UPS varía.

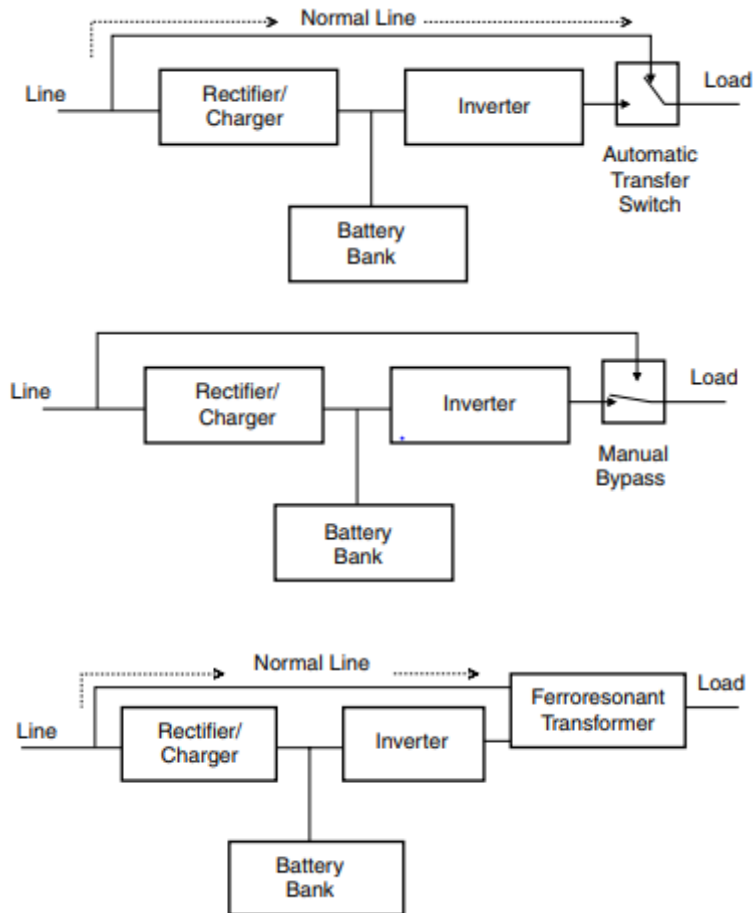


Figura 5. 11. Tipos de UPS Standby, En línea, híbrido.

Para cargas de control es común utilizar sistemas de UPS pequeños de 500 VA a 3.0Kva, cabe mencionar que los UPS son la solución que necesitan más atención.

5.5 RESUMEN DE ESTRATEGIAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ROBUSTA: FUENTE DE ALIMENTACIÓN MONOFÁSICA CON RESPUESTA ANTE SAGS

Uno de los mejores métodos para aumentar la tolerancia de los circuitos de control es usar corriente continua (DC) en lugar de corriente alterna (AC) [6]

Las fuentes de alimentación de DC tienen una tolerancia "incorporada" a las caídas de voltaje debido a sus capacitores de corrección de ondulación, mientras que los transformadores de potencia de control (CPT) y los componentes de CA no tienen un almacenamiento de energía inherente para ayudarlos a superar caídas de tensión, esto lo podemos observar en la gráfica 5.8 del SCHNEIDER ELECTRIC SR3B101FU, el cual no posee fuente DC integrada y presente el peor de los resultados en comparación a los otros equipos probados.

EPRÍ como una de las entidades más grandes de investigación recomienda el siguiente resumen de configuraciones y estrategias para obtener un suministro robusto de energía ante las variaciones monofásicas de la red:

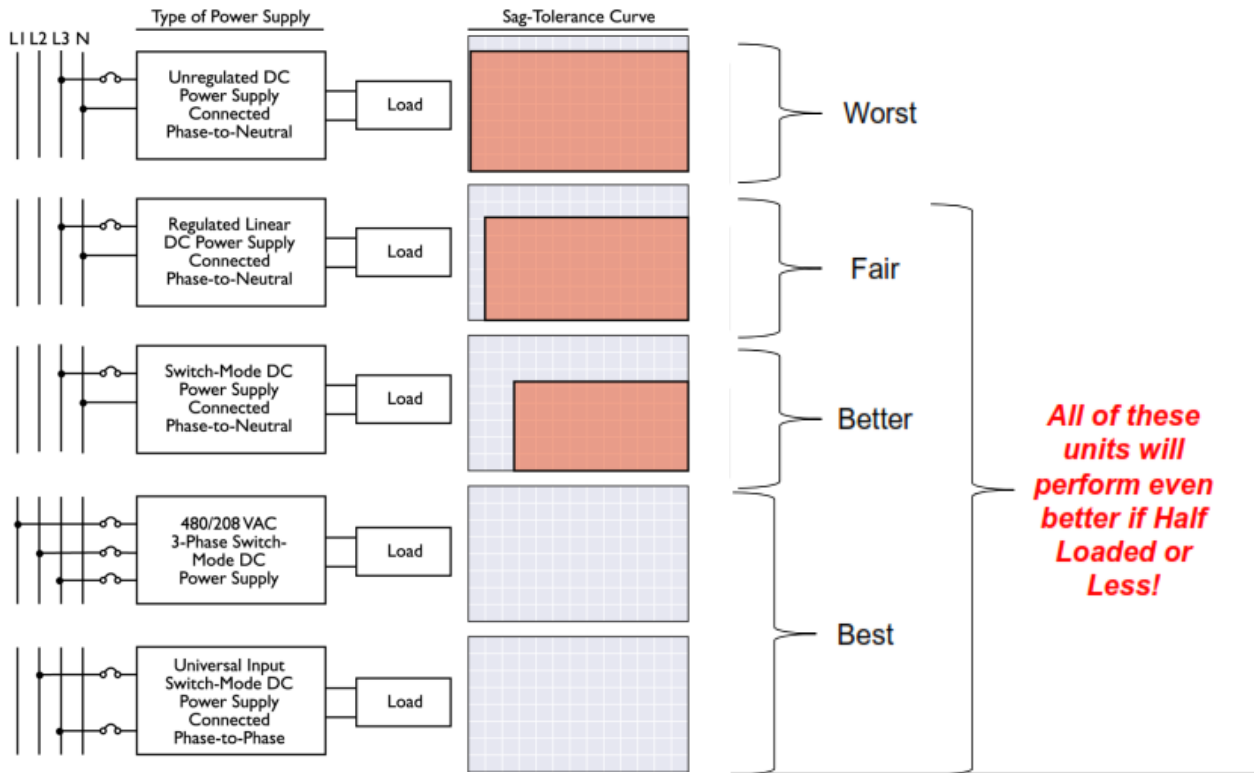


Figura 5. 12. Estrategias para aumentar robustez, fuentes de alimentación monofásica con respuesta ante caídas.

En las siguientes figuras se pueden observar las posibles ubicaciones de los acondicionadores de energía, los cuales pueden ser para el sistema completo o para los circuitos de control.

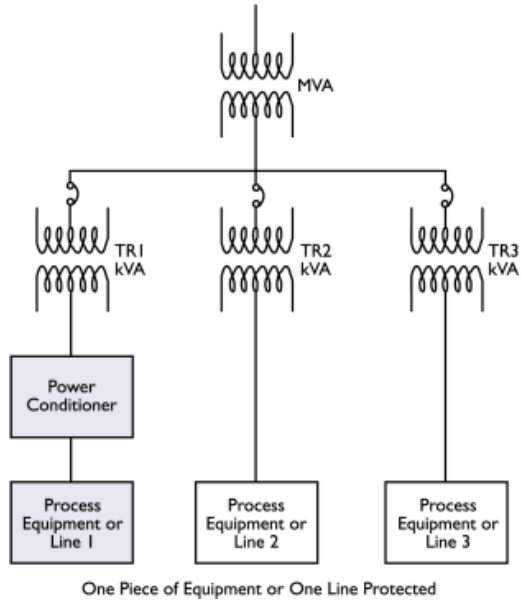


Figura 5. 13. Acondicionamiento de energía a nivel de máquina o subsistema.

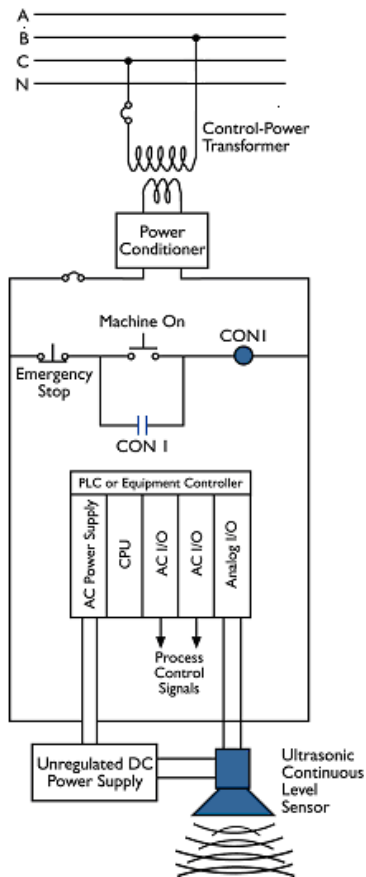


Figura 5. 14. Nivel de control de Acondicionamiento de energía para sistemas de control.

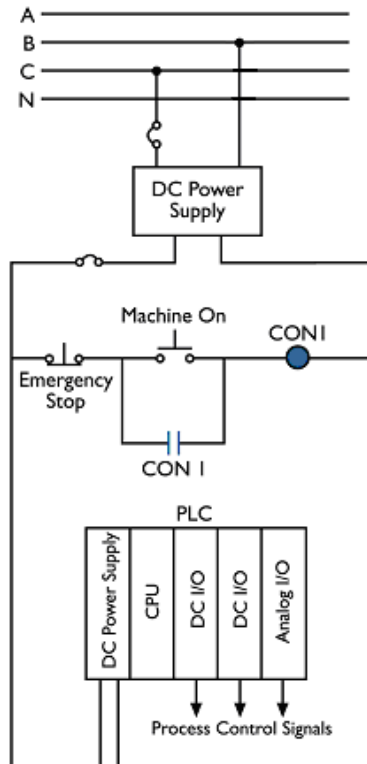


Figura 5. 15. Nivel de control de la solución de CC integrada, para sistemas de control.

Las caídas de voltaje pueden ser mitigadas en una variedad de ubicaciones, entrada de servicio, panel de alimentación, panel, máquina y niveles de control, la decisión de qué medida tomar la mayor parte del tiempo está limitada por los costos, a continuación, se presenta un esquema sobre los costos relativos:

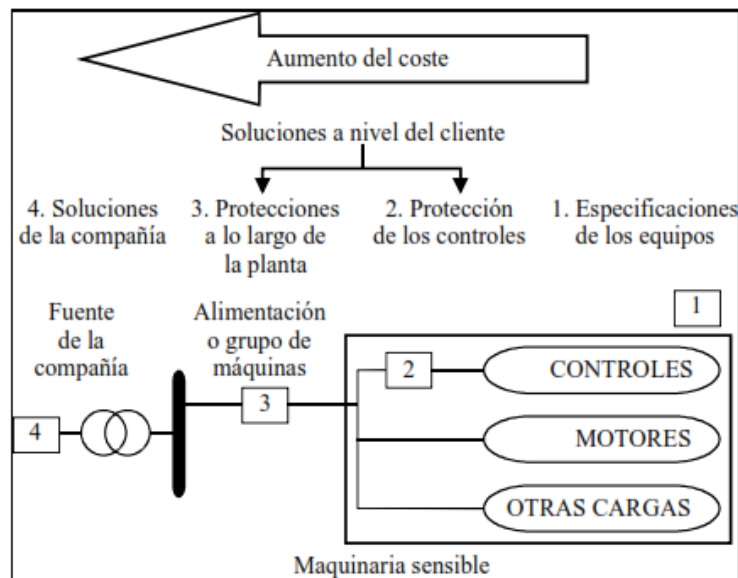


Figura 5. 16. Esquema de diferentes niveles de solución y los costos involucrados.

La figura 5.17 ilustra costos relativos de las diversas soluciones y alternativas a los huecos, de los cuales se mencionan en este documento. Como indica este gráfico, resulta menos caro abordar el problema cuanto más cerca nos encontremos de la carga [9]. Las soluciones en los niveles más altos de potencia disponible son, por lo general, más costosas.

Sumado a estas modificaciones se deben de cerciorar los siguientes detalles:

- Comprender por qué su equipo es vulnerable es de suma importancia. No se puede solucionar un problema sin entender la verdadera causa.
- Puede hacer que los sistemas industriales sean más robustos a veces con modificaciones simples.
- No asuma que se requieren sistemas basados en baterías.
- Asegúrese de incluir los estándares PQ en sus especificaciones de compra (SEMI F47, IEEE 1668, IEC 61000-4-11 etc.)
- Asegúrese de que la tensión nominal del dispositivo coincida con la tensión nominal del sistema. Los desajustes pueden llevar a sensibilidades de caída de voltaje más altas (por ejemplo, 208 VAC alimentados a un componente nominal de 230VAC).

RECOMENDACIONES

- El estudio del problema de las variaciones de tensión denominadas sags, requiere un esfuerzo de equipo para resolver estos problemas, por lo que se le recomienda a la empresa de servicios, industrial / comercial, consultores y entes nacionales unirse, en la búsqueda de soluciones más económicas.
- Para considerar el rendimiento del subsistema, estos deben de ser robusto. De lo contrario, el subsistema puede requerir acondicionamiento de energía, por lo que se recomienda considerar las normativas de potencia IEC 61000-4-11 y SEMI F47 para la adquisición de equipos bajo estas normas.
- Se deben de mantener estudios de calidad de potencia para crear una base de datos útil y poder caracterizar el fenómeno en los sistemas industriales de El Salvador, esto para poder disminuir o realizar una correcta inversión a la hora de seleccionar estos equipos.
- Solicitar especificaciones al fabricante de los equipos en la que incluya la curva de robustez del equipo. Además de solicitar el diseñador o ingeniero en automatismo que considere este fenómeno como una de las más comunes para que integre la mejor solución.
- Probar los sistemas de control, antes de la puesta en marcha para corroborar que se cumplan los estándares especificados en este documento, además de determinar la curva de robustez y tener una mejor noción de los eventos que pueden afectar el sistema.
- Tomar como un punto importante el estudio de los fenómenos de calidad de la energía equipando los laboratorios con elementos capaces de generar las perturbaciones descritas en el estándar IEEE 1159-2009.
- Considerar LabView como una herramienta de gran importancia para la creación de instrumentos virtuales de bajo costo. Se recomienda adaptar el generador de señales para la generación de una variedad más grande de fenómenos que afecten la calidad de la energía.

CONCLUSIONES

- Las caídas de voltaje conocidas como sags, por su frecuencia se convierten en uno de los problemas de calidad de energía más importantes que afectan a los clientes industriales y comerciales, los sistemas de control de procesos industriales son particularmente sensibles a sags en comparación de otros sistemas. Se debe de mantener un monitoreo del sistema para conocer la incidencia del fenómeno en el sistema, mediante estudios de calidad de la energía.
- La mayor fuente de generación de sags son las fallas monofásicas, arranques de motores y energización de transformadores, las fallas monofásicas ya que son el tipo de falla más presentada en los sistemas, en el caso de motores y transformadores en la industria la cantidad siempre es considerable, pero el efecto negativo depende del tamaño de cada uno.
- Utilizar los modelos en PowerSystem de Matlab, es posible simular los sistemas industriales, siendo una herramienta útil para evaluar el efecto de todo tipo de fallas, ya sea monofásicas bifásicas y trifásicas, arranque de motores y energización de transformadores.
- El análisis de los efectos de los sags sobre los PLC se simplifica al obtener la curva de robustez del equipo utilizado en los sistemas industriales, ya que al poseer esta información es posible evaluar el tipo de solución a implementar con un mejor criterio de ingeniería, ya que el peor efecto es la salida del sistema de un PLC, así como aperturas fuera de la lógica de control de relés, que conllevan a señales erróneas que alteren el proceso.
- Las normativas IEC61000-4-11 y SEMI F47, son una herramienta confiable para evaluar robustez en equipos ya que sus criterios de evaluación son resultado de múltiples estudios que han determinado que la mayor parte de variaciones de tensión se dan dentro de los puntos de prueba establecidos en estas normativas.
- Los acondicionamientos de sistemas para soportar sags deben de ser considerados en todo sistema que involucre PLC's, pueden ser muy caros, pero a largo plazo es mucho más económico mejorar la robustez del sistema, esto se puede ver en las gráficas obtenidas como resultado de las pruebas en diferentes PLC's, en las que se determina el tiempo y el porcentaje de caída de tensión que pueden soportar un equipo.

- Las soluciones para mitigar efectos negativos debido a sags deben de ser considerados tomando en cuenta la importancia del equipo o sistema, se muestran diferentes soluciones siendo la más efectiva la instalación de sistemas híbridos de UPS con baterías.
- El acondicionamiento de un generador de señales es de suma importancia para realizar las pruebas a diversos equipos, este estudio se concentra en PLC's, pero se puede realizar las diferentes pruebas a cualquier equipo o sistema que no supere los 16 A, como lo especifica la IEC61000-4-11.
- El proceso de pruebas especificado en el presente documento, se limitó a ser aplicado a un equipo por modelo debido a la dificultad para acceder a una mayor cantidad de elementos, pero es suficiente para demostrar la importancia de la robustez de los sistemas ante variaciones de tensión.

REFERENCIAS

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and Measurement Techniques—Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests Mayo 2017.
- [2] SEMI F47-0706:2006. Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity, 2006.
- [3] Information Technology Industry Council (ITI), ITI (CBEMA) curve application note, October 2000.
- [4] “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), pp. c1-81, 2009
- [5] California Energy Commission, "ASSESSING POWER QUALITY IMPACTS AND SOLUTIONS FOR THE CALIFORNIA FOOD-PROCESSING INDUSTRY", California, 2005.
- [6]” Relevant Case Studies from EPRI’s Power Quality Audits, Mark Stephens, PE Manager Industrial Studies. Electric Power Research Institute, 2009
- [7] CEC PLC Project Technical report EPRI. “Characterizing the impact of power quality on programmable logic controllers with and without power conditioning devices”, 1001072, September 2000
- [8] EPRI solutions. “Technology Assessment and Application Guide for ProDySC, Dynamic Sag Corrector”, 1021431
- [9] EPRI solutions, Palo Alto, CA: 2000. “Specifying a Low Voltage Dynamic Sag Corrector”, 1000800
- [10] California Energy Commission, "ASSESSING POWER QUALITY IMPACTS AND SOLUTIONS FOR THE CALIFORNIA FOOD-PROCESSING INDUSTRY", California, 2005.
- [11] “Characterizing the impact of power Quality on Programmable Logic Controllers with and Without Power Conditioning Devices” Public Interest Energy Research Program (PIER). 2000
- [12] R. Tan and V. Ramachandaramurthy, A Comprehensive Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances Using MATLAB/SIMULINK. pp. 83-107.
- [13] Milano F (2005) An Open Source Power System Analysis Toolbox, IEEE Transaction on Power Systems 20: 1199-1206.

[14] J. Flores-Arias, F. Domingo-Perez, A. Moreno-Munoz, J. Rosa and V. Pallares, "Voltage Dips Test System According to IEC 61000-4-11", International Journal of Computer and Electrical Engineering, pp. 115-119, 2013..

[15] Yang, Y., Blaabjerg, F., & Zou, Z. (2012). Benchmarking of Voltage Sag Generators. In the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 943-948). Montreal: IEEE Press. I E E E Industrial Electronics Society. Annual Conference.

[16] Yan Ma; Karady, G.G., "A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments," in Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES , vol., no., pp.1-5, 21-24 April 2008

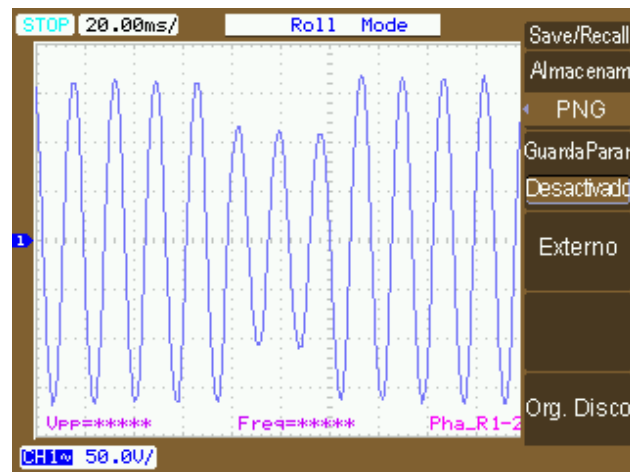
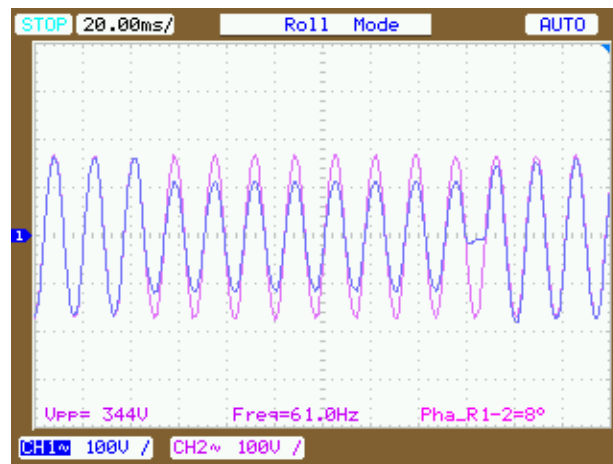
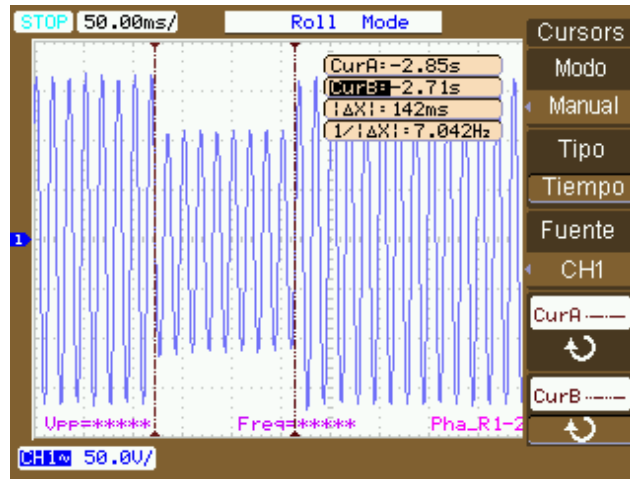
[17] P. Horowitz and W. Hill, The art of electronics, 3rd ed.

[18] Senturk, O.S.; Hava, A.M., "A simple sag generator using SSRs," in Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE , vol., no., pp.4049-4056, 12-16 Sept. 2010

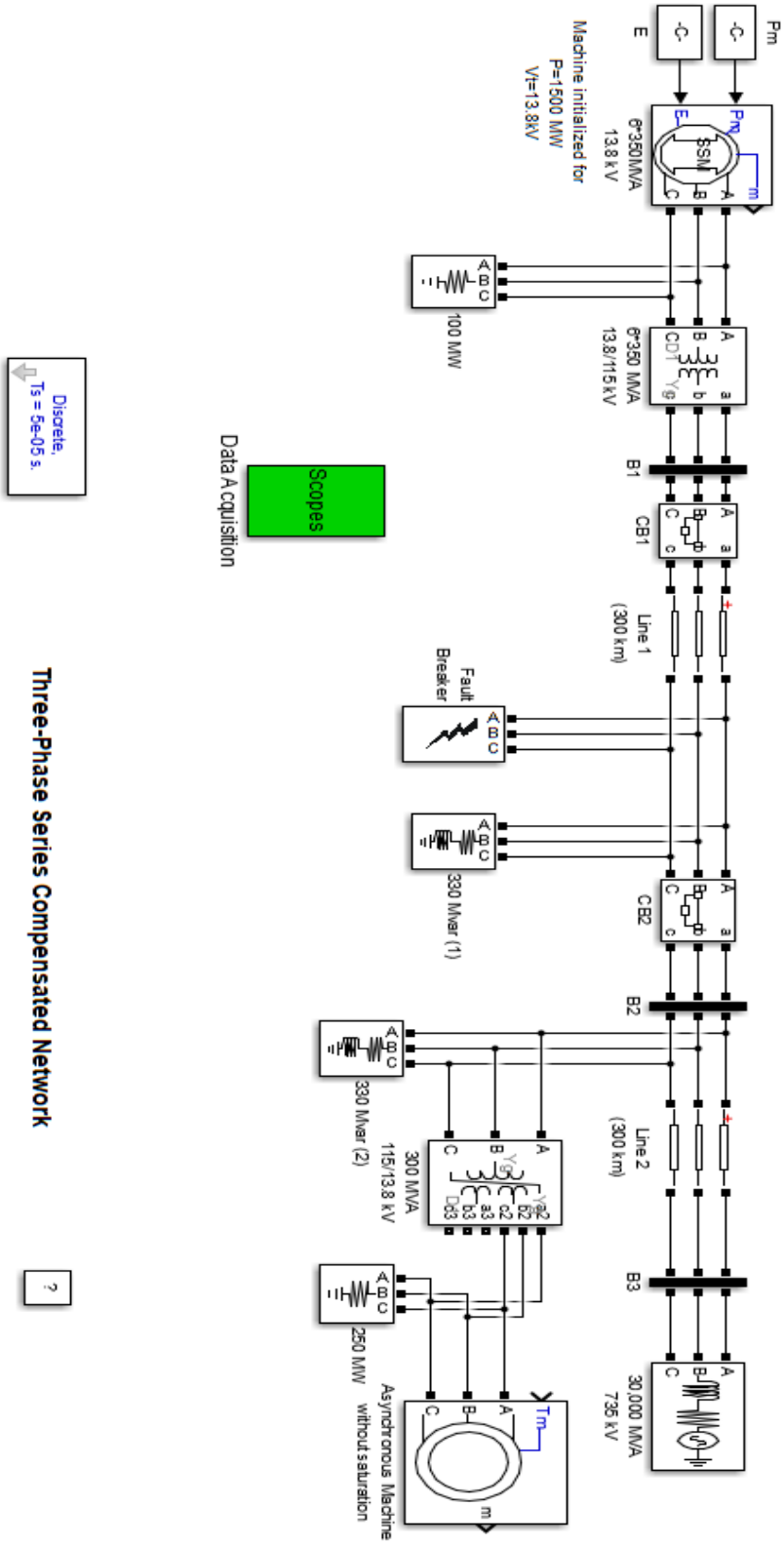
[19] R. Dugan, M. McGranaghan, S. Santoso and H. Beaty, Electrical power systems quality, 2nd ed.

ANEXOS

- Capturas de osciloscopio de generador de señales.



- Esquemas de simulación de MatLab



- Tarjeta NI USB-6008 utilizada para control de pulsos y lectura de voltaje.



NI USB-6008

12-Bit, 10 kS/s Low-Cost Multifunction DAQ

▶ With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications.

The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost data acquisition (DAQ) devices with easy screw connectivity and a small form factor. With plug-and-play USB connectivity, these devices are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- One 32-bit, 5 MHz counter
- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Last Revised: 2010-04-07

- Datasheet de elementos utilizados en equipo generador de sags.

P2N2222A

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices*

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V _{CEO}	40	Vdc
Collector - Base Voltage	V _{CBO}	75	Vdc
Emitter - Base Voltage	V _{EB0}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I _C	600	mAdc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	83.3	°C/W

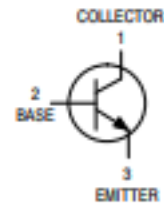
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 17



MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
• = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units/Bulk
P2N2222ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000/Tape & Ammo

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

BTDIN

Interruptores termomagnéticos y diferenciales



FE81CEW..



FN83CEW..



GE723AC..

Artículo	INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS	
	Unipolar - 230/400 Va.c. - 6000A IEC60898-1	
Curva C	In (A)	Nº de módulos
FN81CEW6	6	1
FN81CEW10	10	1
FN81CEW16	16	1
FN81CEW20	20	1
FN81CEW25	25	1
FN81CEW32	32	1
FN81CEW40	40	1
FN81CEW50	50	1
FN81CEW63	63	1



Artículo	INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS	
	Tripolar - 230/400 Va.c. - 6000A IEC60898-1	
Curva C	In (A)	Nº de módulos
FN83CEW6	6	3
FN83CEW10	10	3
FN83CEW16	16	3
FN83CEW20	20	3
FN83CEW25	25	3
FN83CEW32	32	3
FN83CEW40	40	3
FN83CEW50	50	3
FN83CEW63	63	3



Artículo	INTERRUPTORES DIFERENCIALES		
	Unipolar - 230/400 Va.c.		
	In (A)	I _{Δn} (mA)	Nº de módulos
GE723AC25	25	30	2
GE723AC40	40	30	2

Interruptores termomagnéticos

INTERRUPTORES BTDIN	FE81/...	FE83/...
Norma de fabricación	CEI EN 60898	CEI EN 60898
Nº de polos	1	3
Nº módulos	1	3
Curva característica de intervención	C	C
Corriente nominal In (A) a 30°C	6 a 63	6 a 63
Tensión máxima de empleo V _{máx} (V a.c.)	240±10%	240±10%
Tensión nominal de aislamiento V _i (V a.c.)	500	500
Frecuencia nominal (Hz)	50 - 60	50 - 60
Temperatura de empleo (°C)	-25 a +70	-25 a +70
Temperatura de almacenamiento (°C)	-40 a +70	-40 a +70
Grado de protección en bornes	IP20	IP20
Clase de limitación (CEI EN 60898)	3	3
Alimentación superior e inferior	SI	SI
Número máximo de maniobras eléctricas	10000	10000
Número máximo de maniobras mecánicas	20000	20000
Sección del conductor máxima permisible	35 mm ² (2 AWG)	35 mm ² (2 AWG)

Tabla de corriente de ruptura en corriente alterna				
	Tensión	Unipolar	Tripolar	
EN 60898	I _{cn}	127 V	10 kA	10 kA
		230 V	6 kA	10 kA
		400 V	-	6 kA
	I _{cu} *	127 V	10 kA	10 kA
		230 V	10 kA	10 kA
		400 V	-	10 kA
IEC 60947 - 2	I _{cs}	127 V	7,5 kA	7,5 kA
		230 V	7,5 kA	7,5 kA
		400 V	-	7,5 kA

* I_n > 32A I_{cu}: 1p 7,5 kA a 230V - 3p 7,5 kA a 400V I_{cs}: 1p 6 kA a 230V - 3p 6 kA a 400V

Tabla de corriente de ruptura en corriente continua				
	Tensión	Unipolar	Tripolar	
EN 60898	I _{cn}	48V	6 kA	-
		110V	-	6 kA
		230 V	-	-
IEC 60947 - 2	I _{cs} *	48V	6 kA	-
		110V	-	-
		230V	-	-

* I_{cs}: 100% de I_{cu}