

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE FALCÓN FACULTAD DE  
INGENIERÍA INGENIERIA ELECTRÓNICA



PROPUESTA DE UN SISTEMA SUPRESOR DE TENSIONES TRANSITORIAS (TVSS) PARA  
LA EMPRESA DEISCA C.A, ESTADO FALCÓN.

AUTORES: ALBERTO SANTAELLA  
YOEL A. ULACIO REYES

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE FALCÓN FACULTAD DE  
INGENIERÍA INGENIERIA ELECTRÓNICA



**PROPOSAL OF TRANSIENT VOLTAGE SURGE SUPPRESSORS SYSTEM (TVSS)  
FOR DEISCA C.A. COMPANY, PUNTO FIJO, VENEZUELA.**

**Option: Industrial Automation**

Authors: Alberto Santaella

Yoel A. Ulacio Reyes.

Academic Advisor: Eng. Luigi Martínez

November, 2015

**ABSTRACT**

The Power Quality is the result of continuous improvement, which it can be defined as the absence of any disturbances signal. However, this process of regulation of the electrical sector has not been developed in Venezuela with the same boom as it has been developed in other countries, therefore, the primary source of electricity presents certain difficulties both of internal and external origin, that are evident in the disturbances in terms of its amplitude and frequency values, among others, which are not compatible with the one required by electronic equipment and systems, which it demand power supplies with increasingly smaller tolerances, better ripple levels and lower distortion levels. For this reason, a Transient Voltage Suppression System (TVSS) is proposed for DEISCA Company electrical installations under the implementation of the multilevel inverter technology, it given the amount of benefits it provides in every electrical system, in relation to, low harmonic content, low voltage supported by power devices and input currents with low harmonic content, the possibility of operating at low and high switching frequencies, whose switching strategy used to generate the pulses of the multilevel inverter, is the PS-SPWM modulation that allows the conversion and synthesis of a voltage step wave. With the culmination of this research it was planned to develop a series of conclusions and recommendations adapted to the strengthening of the proposed system, where the criteria of high performance, high reliability, robustness and simplicity of execution were taken into consideration.

**Keywords: PS-SPWM Modulation, Multilevel Inverters, Transient Voltage Suppression Systems (TVSS).**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios Todopoderoso**

Que con nuestro esfuerzo y la fe puesta él ha sido posible lograr nuestra meta. Por darnos fuerza y voluntad para seguir adelante, darnos a entender porque el tiempo de Dios es perfecto y que cada cosa sucede por alguna razón.

### **A la Universidad**

Por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales en tan prestigiosa Institución.

### **Al Ing. Luigi Martínez**

Por la dedicación, colaboración y apoyo prestado durante la realización de nuestra investigación.

**Los Autores.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	p.p
LISTA DE CUADROS O TABLAS .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO INTRODUCTORIO .....	6
Descripción del Problema .....	6
Objetivo General .....	9
Objetivos Específicos .....	10
Fundamentos Teóricos .....	10
Transitorios de Tensión... ..	10
Perturbaciones no Periódicas .....	11
Perturbaciones Periódicas .....	12
Sistemas Supresores de Transitorios de Tensión .....	13
Convertidores de Potencia .....	14
Inversor .....	15
Interruptores Automaticos de Potencia... ..	17
Procesador Digital de Señales (DSP) .....	18
Bases Legales .....	18
Justificación de la Modalidad de la Investigación .....	20
CAPÍTULO DE EJECUCIÓN .....	22
Modalidad de la Investigación .....	22
Tipo y Diseño de la Investigación .....	22
Población y Muestra .....	24
Fases Metodológicas .....	25
Técnicas e Instrumentos .....	26
Validación y Confiabilidad de los Instrumentos .....	27
Técnicas de Procesamiento y Análisis e Interpretación de los Datos .....	28
CAPÍTULO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
Resultados e Interpretación por Fases Metodológicas .....	29

Registro de Carga en la Acometida Principal de la Empresa DEISCA C.A....	31
Elección del Elemento Principal para Supresión del Transitorio de Tensión...	38
Elección del Dispositivo Semiconductor de Potencia .....	45
Técnicas de Modulación de Voltaje .....	50
Generación de Pulsos de Disparo .....	50
Tarjetas de Disparo.....	51
Modulador PS-PWM.....	53
Generador de Onda Triangular .....	53
Control de Tiempos Muertos .....	54
Elección del Sensor de Voltaje .....	55
Categorías de Ubicación de los TVSS .....	56
Instalación de los Supresores de Tensiones Transitorias .....	59
Cálculo del Calibre del Conductor Eléctrico a emplear .....	60
Tipo de Conductor Eléctrico.....	60
Dispositivos de Monitoreo de los TVSS .....	60
Central de medida Power Meter – PM800.....	61
Costos de los Componentes para el dimensionado del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS) propuesto .....	64
Diagrama de Bloques y función de cada módulo utilizado en la Interfaz Gráfica del Software .....	66
Diagrama del Sistema de Modulación PS-SPWM (desplazamiento de fase sinusoidal PWM) Implementado en la herramienta Simulink del programa Matlab® .....	67
Diagrama del Circuito de Potencia implementado en la herramienta Simulink del programa Matlab® .....	68
Pasos para la Secuencia de Conmutación .....	73
Diagrama del Módulo de Carga.....	73
Diagrama de Módulos de Medición de Variables Eléctricas .....	74
Resumen de la Simulación en Simulink de Matlab .....	75
CONCLUSIONES .....	77
RECOMENDACIONES .....	79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	85

## LISTA DE CUADROS O TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>p.p</b>
1. Guía de Equipos Electrónicos pertenecientes a la Empresa DEISCA C.A.....	30
2. Tiempo de Consumo de Energía de los Equipos Electrónicos pertenecientes a Empresa DEISCA C.A.....	30
3. Parámetros de Tensiones de Fases .....	31
4. Frecuencia del Sistema.....	32
5. Valores de Corriente en cada Fase y desbalance entre ellas .....	32
6. Parámetros de Distorsión Armónica Total de Tensión.....	33
7. Parámetros de Distorsión Armónica Total de Corriente.....	33
8. Categorías de ubicación del TVSS seleccionado .....	58
9. Relación de costos por componentes para el dimensionado del Sistema Supresor de Tensiones Transitoria (TVSS).....	65
10. Secuencia de Conmutación del Inversor de 3 Etapas y 27 Niveles .....	72

<b>CUADROS</b>	<b>p.p</b>
1. Procesamiento de resultados por Ítems 1 (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad) .....	35
2. Procesamiento de resultados por Ítems 2 (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad) .....	36
3. Procesamiento de resultados por Ítems 3 (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad) .....	37
4. Procesamiento de resultados por Ítems 4 (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad) .....	37
5. Procesamiento de resultados por Ítems 5 (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad) .....	38
6. Propiedades del Inversor Multinivel.....	39
7. Comparaciones de las topologías de Inversores Multinivel .....	40
8. Selección del Inversor Multinivel con Puentes “H” en Cascada .....	43

9. Cuadro Comparativo para la Selección del Dispositivo Semiconductor de Potencia.....	49
10. Criterio de Selección del módulo IGBT's para el Inversor Multinivel con Puentes "H" en Cascada.....	48
11. Matriz de Selección de los Circuitos de Disparos (Drivers) para el accionamiento de los IGBT's.....	52
12. Matriz de selección de dispositivo captador de señales.....	56



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>p.p</b>
1. Perturbaciones más Frecuentes en la Red Eléctrica .....	13
2. Acometida Principal de la Empresa DEISCA C.A .....	29
3. Límites de Distorsión de Voltaje, según IEEE-519 .....	33
4. Límites de Distorsión de Corrientes según IEEE 519 .....	35
5. Diagrama de Bloques del Generador PS-PWM .....	53
6. Señales de salida esperadas del Modulador Multinivel PS-PWM .....	55
7. Diagrama General de Control y Modulación de Señales.....	55
8. Ubicación de los TVSS.....	57
9. Impedancia de alambrado actuando como supresor serie.....	58
10. Central de medida de Serie PM800 y Red de Datos PM800 .....	61
11. Resumen de las variables Medidas por Centrales PM800.....	63
12. Dimensionado de la Acometida Principal de la empresa DEISCA C.A, con la implementación del TVSS y Sistema de Monitoreo PM800 .....	64
13. Inversor multinivel de tres etapas en cascada con fuentes DC independientes en Simulink de Matlab®.....	66
14. Sistema de Modulación PS-SPWM .....	67
15. Diseño del circuito de potencia del Inversor Multinivel de Tres etapas en Cascada con Fuentes Independientes (SDCS – Several Separate DC Sources) en Simulink de MATLAB.....	69
16. Alimentación DC para el Diseño de Inversor Multinivel de Tres Etapas en Cascada con Fuentes Independientes (SDCS – Several Separate DC Sources) en Simulink de MATLAB.....	71
17. Diagrama de módulo de carga .....	74
18. Diagrama de módulos de medición de variables eléctricas .....	75
19. Señal de salida del Inversor Multinivel de 3 etapas y 27 Niveles/Fases .....	75

## LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	p.p
1. Características Técnicas y Especificaciones Nominales del Tablero Principal de la empresa DEISCA C.A.....	85
2. Medidas de Conductores Eléctricos AWG.....	85
3. Calibre AWG del Conductor Eléctrico del TVSS propuesto .....	86
4. Tipos de Conductores Eléctricos .....	87
5. Programa Ejecutable en la Interfaz de MATLAB, para la Modulación PS-PWM para la Generación de Pulsos hacia los Puentes H y el Contenido de Armónico para esta Topología Multinivel .....	87
6. Seguimiento del procesador digital de señales DSP, en Simulink de MATLAB, así como también las señales portadoras que utiliza el modulador multinivel basado en la técnica PS-PWM .....	92

UNIVERSIDAD DE FALCÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA ELECTRONICA



**PROPUESTA DE UN SISTEMA SUPRESOR DE TENSIONES TRANSITORIAS  
(TVSS) PARA LA EMPRESA DEISCA C.A, ESTADO FALCÓN.**

**Opción: Automatización Industrial.**

Autores: Alberto Santaella

Yoel Ulacio

Asesor de Contenido: Ing. Luigi Martínez

Noviembre de 2015

**RESUMEN**

Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua, la cual puede definirse como una ausencia de perturbaciones, sin embargo este proceso de reglamentación del sector eléctrico no ha nacido y desarrollado en Venezuela con el mismo auge como ha sido desarrollado en otros países, por ende, la fuente primaria de energía eléctrica presenta ciertas dificultades tanto de origen interno como externo, que se evidencian en las perturbaciones en cuanto a sus valores de amplitud, frecuencia, entre otros, que no son compatible con el requerido por equipos y sistemas electrónicos, los cuales demandan de fuentes de alimentación que dispongan de tensiones con tolerancias cada vez menores, mejores niveles de rizado y menores niveles de distorsión, por tal sentido, se propone un Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS), para las instalaciones eléctrica de la empresa DEISCA C.A, estado Falcón, bajo la implementación de la tecnología de inversores multinivel, dado a la cantidad de beneficios que aporta el mismo en todo sistema eléctrico, en relación a, bajo contenido armónico, baja tensión que soportan los dispositivos de potencia y corrientes de entrada con bajo contenido de armónico, la posibilidad de operar a bajas y altas frecuencias de conmutación, cuya estrategia de conmutación empleada para generar los pulsos del inversor multinivel, es la modulación PS-SPWM que permite obtener la conversión y el sintetizado de una onda escalonada de voltaje. Con la culminación de la investigación se tuvo planificado desarrollar una serie de conclusiones y recomendaciones adaptadas al fortalecimiento del sistema propuesto, donde los criterios de alto rendimiento, alta fiabilidad, robustez y simplicidad de ejecución fueron tomados en consideración.

**Descriptores:** Modulación PS-SPWM, Inversores Multinivel, Sistemas Supresores de Tensiones Transitorias (TVSS).

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía eléctrica se ha convertido en un servicio de vital importancia en un mundo totalmente dependiente del suministro y del consumo de la misma, por esta razón, la gran mayoría de los equipos y sistemas electrónicos de potencia conectados a la red requieren de un flujo continuo e ininterrumpido de electricidad como fuente de energía, donde el concepto de calidad de la energía en este contexto, se ha transformado en un "derecho básico" como elemento indispensable para asegurar el buen funcionamiento de los equipos electrónicos y con ello el mejor aprovechamiento del suministro prestado.

Mohan, Undeland y Robbins (2013) en sus estudios realizados sobre sistemas electrónicos de potencia, señalan: “Dentro de las necesidades de la industria se encuentra el contar con un suministro eléctrico que sea capaz de alimentar cargas cada vez más complejas o críticas”. (p. 176). En este contexto, el artículo expresa la gran variedad de cargas presentes en la industria desde cargas sensibles hasta cargas altamente resistivas, debido a lo mencionado y por lo importante que resulta para la industria actual el manejo adecuado de la energía eléctrica, se es necesario estudiar o buscar la mejor manera de entregar de forma confiable y eficiente esta energía a las diferentes cargas, mejorando su distribución y posteriormente su consumo.

Adicionalmente cuando los equipos electrónicos conectados a la red se encuentran interconectados con otros equipos o sistemas, León (2012) argumenta: “Cualquier distorsión presente en el suministro, tales como, interferencias, distorsiones, perturbaciones como swell (subida de tensión), sags (caídas de tensión), flicker (parpadeos) o alteraciones por causas atmosféricas o ambientales que pueda afectar directa o indirectamente a las demás cargas conectadas”. (p.70). Debido a esto, la eficiencia en el manejo de la energía conforma una gran área de estudios que se representan en varios campos pero en un punto de interés común que afecta considerablemente tanto en ámbitos domésticos como industriales.

He aquí la importancia que recae en la creación de un sistema robusto de ingeniería que sea capaz de mitigar las perturbaciones o alteraciones existentes en la gran

variedad de equipos o sistemas electrónicos de potencia conectados a la red, proporcionando principalmente un control sobre las variables de salida, tales como la corriente, tensión, o frecuencia, entregando de manera apropiada la energía a las diferentes cargas existentes, ya sea en corriente directa CD o en corriente alterna CA.

En todo esto los sistemas supresores de tensiones transitorias (TVSS por sus siglas en inglés), juegan un papel de suma importancia, puesto que actualmente son conceptualizados por las normas internacionales como sistemas destinados a proteger y garantizar la calidad de la energía. En relación a esto, Smith (2013) señala: “Los (TVSS) están constituidos por técnicas de conversión de energía, por medio de dispositivos semiconductores de potencia para proporcionar la tensión deseada en la salida del mismo”. (p.56), en tal sentido, permite hacer una mejor transferencia de energía que puede ser aprovechada por las diferentes cargas, haciendo más eficiente su desempeño y disminuyendo los efectos potenciales de estos eventos aleatorios.

Recientemente la corporación eléctrica nacional (CORPOELEC) ha presentado una serie de deficiencias constantes en el servicio prestado, esto es causa de distintos factores originados por fuentes externas e internas. Estas fallas afectan a todo el territorio geográfico de nuestro país, y la Empresa DEISCA C.A, ubicada actualmente en la urbanización Las Virtudes, municipio Carirubana del Estado Falcón, no se escapa de esta problemática, situación que perjudica considerablemente la productividad de la misma, debido a las constantes deficiencias en el suministro de energía, dejándola relativamente expuestas a perturbaciones que han ocasionado fallas eléctricas de suma importancia e irreparables tanto de índole material como humana.

Madriz (2013) presento el proyecto titulado “Diseño de un Sistema de Monitoreo y Protección de Sobretensiones de Sanitas Venezuela.” Dicho sistema consistía en la supervisión constante de las variables eléctricas en instalación del recinto en estudio. La implementación del sistema de monitoreo permitió a los diferentes operarios de las instalaciones eléctricas, obtener toda la información relacionada con el comportamiento y las fluctuaciones de las variables por incidencia de factores tanto internos como externos a la red.

El cerebro del proyecto fue basado en la implementación de un sistema de monitoreo con el uso del Sistema PowerLogic provisto por Schneider Electric, mediante la implementación de centrales de medida de la serie PM – 800, la compuerta Ethernet EGX100 y el software de monitoreo ION Enterprise a las variables eléctricas procedentes de la red.

Este proyecto proporciona diversos aportes a nivel de procedimientos y metodología, debido a que permite la selección de Dispositivos de Protección contra Sobretensiones, de acuerdo a las especificaciones de Schneider Electric, en concordancia con lo estipulado en las especificaciones técnicas según lo contemplado en la norma IEEE 62.41: Prácticas Recomendadas para Sobretensiones en Circuitos de Potencia AC de Baja Tensión. En esta norma, se especifican las condiciones atmosféricas, técnicas y de niveles de exposición a los cuales se someten distintas partes de una instalación eléctrica bajo la incidencia de una sobretensión. En cuanto al aporte metodológico se puede decir que se procederá de igual manera con la presente investigación, primero se recolectará información de diversos documentos para posteriormente obtener información sobre los componentes y circuitos que permitan proceder al desarrollo de la propuesta.

Rodríguez (2014) presento el proyecto titulado “Diseño y Construcción de un Inversor Trifásico Multinivel de Cuatro Etapas para Control de Armónicos y de Reactivos.” Dicha investigación consistió en la implementación de un inversor (fuente común y uso de transformadores), para aplicaciones en control de frecuencia. Por esta razón, fue de vital importancia la implementación de rectificadores de corrientes sinusoidales, filtros activos de potencia, compensadores estáticos de reactivos o inversores conectados a la red trifásica. El inversor construido es capaz de soportar una corriente de aproximadamente 5 Amperios por fase con un voltaje de salida de 220Vac, con lo cual es capaz de suministrar una potencia de 1.1kVA por fase.

Esta investigación tiene como objetivo general, proponer un sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS), para los equipos electrónicos de baja potencia y sistemas de distribución conectados a cargas críticas, pertenecientes a las instalaciones de dicha organización. La importancia de esta propuesta recae en lo necesario que

resulta contar con un suministro estable y protegido que garantice principalmente un control de las variables procedentes del suministro eléctrico, a través de un enfoque sistemático en materia de conversión, transferencia y control de energía. Los criterios de alto rendimiento, alta fiabilidad, robustez y simplicidad de ejecución fueron tomados en consideración.

El presente trabajo está constituido por tres capítulos, en los cuales se plantea el problema existente, luego se sustenta teóricamente y con esto se da un soporte científico al problema planteado; posterior a esto se describe la metodología que se siguió a lo largo de la investigación, luego se analizan los resultados de datos obtenidos en el transcurso de la investigación y por último se propone una solución al problema descrito. A continuación se desglosa la estructura del trabajo por capítulos:

**Capítulo Introductorio:** en este capítulo se desarrollan los elementos establecidos en el protocolo de investigación con una mayor profundidad, a fin de plantear la situación existente en la empresa DEISCA C.A estado Falcón, en materia de calidad de energía, que surgen al inicio de la investigación de cara a la resolución del problema descrito y se establecen los objetivos tanto general como específicos que guiaron el curso que tomo la investigación. En este capítulo también se realizó la justificación que consiste en explicar el porqué es necesario proponer un sistema supresor de tensiones transitorias para las instalaciones eléctricas de mencionada organización, posteriormente se desarrollaron las bases teóricas que recopila la información de diversos autores principalmente sobre el funcionamiento del sistema y de los componentes y técnicas que lo conforman.

**Capítulo de Ejecución:** Lo que respecta a la metodología a seguir en el desarrollo del presente trabajo, se describe en este capítulo en el cual se muestra de manera detallada la forma en la que fue realizada la investigación para alcanzar los resultados, tomando en consideración la modalidad escogida, señalando la población y la muestra e indicando en cada una de las fases metodológicas las actividades realizadas, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos con su respectiva validación y confiabilidad.

Capítulo de Resultados y Discusión: para este apartado del presente trabajo se muestran los resultados arrojados por la investigación durante la ejecución de la investigación, en referencia a los objetivos planteados, simulaciones del sistema propuesto mediante la interfaz de MATLAB-Simulink, que dan paso al desarrollo de la propuesta en cuestión.



## **CAPÍTULO INTRODUCTORIO**

### **Descripción del Problema**

Los constantes inconvenientes por parte de la red nacional, en cuanto a la generación y distribución de la energía eléctrica, es considerada actualmente como la principal causante de daños en los equipos electrónicos conectados a la red, tales como (computadoras, impresoras, entre otros.), al producir perturbaciones transitorias de energía eléctrica que pueden ocasionar desde simples fallas temporales en dichos equipos hasta ocasionar fallas permanentes e irreparable en los mismos.

Sobre este particular, Urresti (2013) señala: “Los sistemas supresores de tensiones transitorias (TVSS), son elementos indispensables para asegurar el buen funcionamiento y garantizar larga duración de los dispositivos que componen todo sistema electrónico (p.12)”. De igual forma el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) (2012) Expresa: “Es un hecho comprobado que el 60% de los fallos en los equipos electrónicos de baja potencia son debido a las perturbaciones eléctricas por parte de la variación o alteración transitoria de la corriente o tensión eléctrica (p.36)”.

Estos sistemas son implementados particularmente como una estrategia alternativa para el control y supervisión de armónicos de corrientes y voltajes acompañados de otras perturbaciones como swell, sags, flicker, entre otros, en sistemas eléctricos y electrónicos conformados por cargas sensibles y no lineales, lo que produce diversos problemas de índole técnica y económica. Donde las características principales de estos sistemas, varían según la tecnología que se utilice para su elaboración, en relación a su diseño y componentes. Para que estos sean una herramienta eficaz, Mohan, Undeland y Robbins (2013) señalan: “Los (TVSS) deben estar constituido por el empleo de inversores electrónicos de potencia en el área de calidad de la energía, a través de los cuales se realiza la función de corregir los defectos existentes en la línea de distribución.”(p.63).

Sin embargo, los inversores convencionales presentan la limitante para este tipo de aplicaciones de un alto contenido armónico en la tensión de salida, al atender a estas consideraciones, León (2012) expresa: “Los inversores convencionales presentan altas pérdidas por conmutación y altos  $dV/dt$  en dispositivos y cargas”. (p.56). En este caso es necesario estudiar alternativas de inversores más robustos aplicados al área de calidad de la energía.

No obstante, para los inversores CD/CA convencionales se encuentra en las topologías de inversores multinivel. Sobre este particular, Montaña (2013) expresa: “Su principal característica es la de sintetizar la tensión de salida en escalones de tensión de manera que los dispositivos semiconductores solo manejan el valor de tensión de un escalón”. (p.108). Este mismo autor complementa que el bajo contenido armónico que presentan en la salida y las mínimas pérdidas por conmutación que se pueden conseguir hace de las topologías multinivel una excelente opción en la conversión de energía.

En un estudio sobre convertidores de potencia, aplicaciones y diseño, Mohan (2013) argumenta: “Los inversores multinivel tienen aplicaciones en compensación de potencia y sus características más notables son el bajo contenido armónico que se puede obtener, la baja tensión que soportan los dispositivos de potencia y la posibilidad de operar a baja frecuencia de conmutación” (p.190). De allí recae la importancia de la implementación de esta topología como elemento principal de control dentro de los TVSS, debido al gran ahorro en los costos de inactividad en el suministro eléctrico a causas de fallas temporales. Dentro de ese marco los mismos pueden ser utilizados como sistemas de energía Ininterrumpibles (UPS, por sus siglas en inglés) y en general, en aquellas aplicaciones que necesiten de una tensión de salida controlada.

Es de hacer notar que el avance tecnológico ha llegado a cualquier rincón del planeta, desde el aspecto domestico hasta el aspecto macro industrial, al observar así una gran cantidad de dispositivos cada vez más sofisticados pero indudablemente muy sensibles a cualquier tipo de perturbación presente en la red, los cuales deben contar con un suministro optimo en vías de garantizar el libre funcionamiento de los mismos.

Sobre la base de lo mencionado, se busca implementar un sistema robusto de ingeniería que sea capaz de suprimir cualquier tipo de perturbación eléctrica existente en el suministro cuyo objetivo es mantener un control sobre las variables de salida, tales como, corriente, tensión y frecuencia, al hacer de manera apropiada la transferencia de energía a la carga.

No es desconocido que actualmente gran parte del territorio geográfico de nuestro país, se aprecien constantes fallas en el suministro eléctrico por parte de (CORPOELEC), esto es causa de un sinnúmero de factores, originados por fuentes externas e internas. Entre las que se destacan, las maniobras de conexión o desconexión en la red de distribución, fallas, daños de transformadores y descargas atmosféricas, siendo estas últimas, las que producen las sobretensiones transitorias más severas con resultados destructivos e inmediatos en los equipos y aparatos de protección.

A raíz de esta problemática surge la necesidad de buscar nuevos métodos para la protección y supresión de cualquier tipo de perturbación presente el servicio. Por tal motivo se propone un sistema de supresor de tensiones transitorias (TVSS) para los equipos electrónicos de baja potencia, pertenecientes a la Empresa DEISCA C.A, ubicada en la urbanización Las Virtudes, municipio Carirubana del estado Falcón. Institución que ofrece servicios asociados al suministro de materiales, consultorías de ingeniería, mantenimiento de equipos, ventas de instalaciones comerciales e industriales, adiestramiento y suministro de personal.

Dicha organización se encuentra actualmente afectada, debido a los múltiples inconvenientes que se han venido suscitando por parte de la red nacional, relacionados al suministro de energía eléctrica, que se evidencian en daños considerables a sus instalaciones, debido a cambios bruscos de tensiones que generan perturbaciones transitorias de energía que exceden el coeficiente de potencia y de protección umbral de los equipos electrónicos que conforman dicha organización.

La implementación de la propuesta para la supresión de tensiones transitorias (TVSS), aportará una solución indispensable e inmediata para asegurar el buen funcionamiento y larga duración de los dispositivos que componen todo el sistema electrónico de la empresa, lo cual es necesario dimensionar los componentes y técnicas

principales a desarrollar, los cuales se destacan, dispositivos electrónicos de potencia asociados al diseño de inversores multinivel, interruptores de potencia, diodos de potencia, circuitos de disparo (drivers), fuentes de alimentación, convertidores de potencia, técnicas de modulación aplicables a inversores multinivel, rectificadores multinivel controlados y dispositivos de acoplamiento y de control de carga (CCD) que permitirán ejecutar las acciones necesarias para llevar a cabo la protección de los circuitos de carga, basados en el principio de regulación de voltaje.

Desde el punto de vista del control, se propone un método de control que permite controlar el voltaje y corriente inyectada a la red. El control se basa en la utilización de un número mínimo de patrones de disparo previamente calculado y tabulado aplicado a una tensión del bus de continua constante. Actuando sobre el desfase de la tensión de salida del inversor como parámetro de control, se puede controlar la amplitud de la corriente de salida, el factor de potencia y, por lo tanto, la magnitud de la potencia entregada a la red, tanto activa como reactiva.

La investigación aporta conocimientos sobre los (TVSS) y del manejo del mismo mediante técnicas de modulación y control aplicables a inversores multinivel y posteriormente su estudio y validación por medio de resultados de simulaciones realizadas en Simulink de Matlab. La justificación de esta investigación reside en el hecho de que, en muchos casos, la fuente primaria de energía eléctrica presenta dificultades y perturbaciones electromagnéticas que sobrepasan valores de amplitud, frecuencia, entre otros, que no es compatible con el requerido por equipos y sistemas electrónicos, los cuales demandan de fuentes de alimentación que dispongan de tensiones con tolerancias cada vez menores, mejores niveles de rizado y menores niveles de distorsión.

### **Objetivo General:**

Proponer un sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS) para la empresa DEISCA C.A, estado Falcón.

### **Objetivos Específicos:**

- Diagnosticar la situación actual de las instalaciones eléctricas de la empresa en estudio.
- Diseñar un esquema de distribución de los componentes para el diseño del sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS).
- Realizar la simulación del sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS), para el sustento de la propuesta.

### **Fundamentos Teóricos:**

#### ***Transitorios de Tensión***

Según la Comisión de Electrotécnica Internacional, por sus siglas (IEC), se llama transitorio de tensión “a aquella respuesta de un circuito eléctrico que se extingue en el tiempo, depende fundamentalmente de la amplitud, frecuencia, factor de potencia y duración de las fluctuaciones de tensión que lo causan.” (p.94). En referencia a lo mencionado, Delgado (2012) complementa: “Este fenómeno sucede cuando la onda de tensión procedente del suministro presenta ciertas perturbaciones como: ruidos en modo diferencial o común, impulsos eléctricos, perturbaciones atmosféricas, variaciones rápidas o lentas de tensión que generan transitorios de tensión capaces de ocasionar fallas considerables en cualquier sistema electrónica que disponga de cargas críticas”. (p.156). Por otra parte Guzmán (2011), hace referencia a los transitorios de tensión como:

Fenómenos electromagnéticos aleatorios y pasajeros que tienen su origen tanto a través de los conductores de las líneas de una red de distribución, como en la propia instalación del usuario. La consecuencia típica de estas perturbaciones es una caída de tensión transitoria, variaciones en el factor de potencia, y en ocasiones un corte prolongado en algunas zonas de la red. Las causas típicas de estas perturbaciones son los rayos, las maniobras en alta tensión, las variaciones bruscas de cargas y los cortocircuitos. (P.50).

Idealmente esta onda de tensión debe ser una senoide pura con una frecuencia constante; sin embargo, en la realidad esto no sucede, ya que la onda de tensión proveniente del suministro presenta, diversas perturbaciones. En este contexto, Mora (2012), conceptualiza este fenómeno como: “un cambio de frecuencia instantáneo a partir del estado estable de la corriente, el voltaje o ambos. Tiene una polaridad unidireccional y se caracteriza principalmente por sus tiempos de subida y bajada y su valor máximo”. (p.132).

Los diferentes tipos de perturbaciones que afectan a la calidad de la energía eléctrica y la contaminación hacia la red que esto conlleva, han cobrado especial interés, principalmente por pérdidas económicas importantes a causas de estos eventos aleatorios. En tal sentido, las perturbaciones en la red eléctrica son clasificadas, conceptualizadas e ilustradas (Ver Figura 1) por Arriola (2012) en dos clases:

#### ***Perturbaciones no Periódicas:***

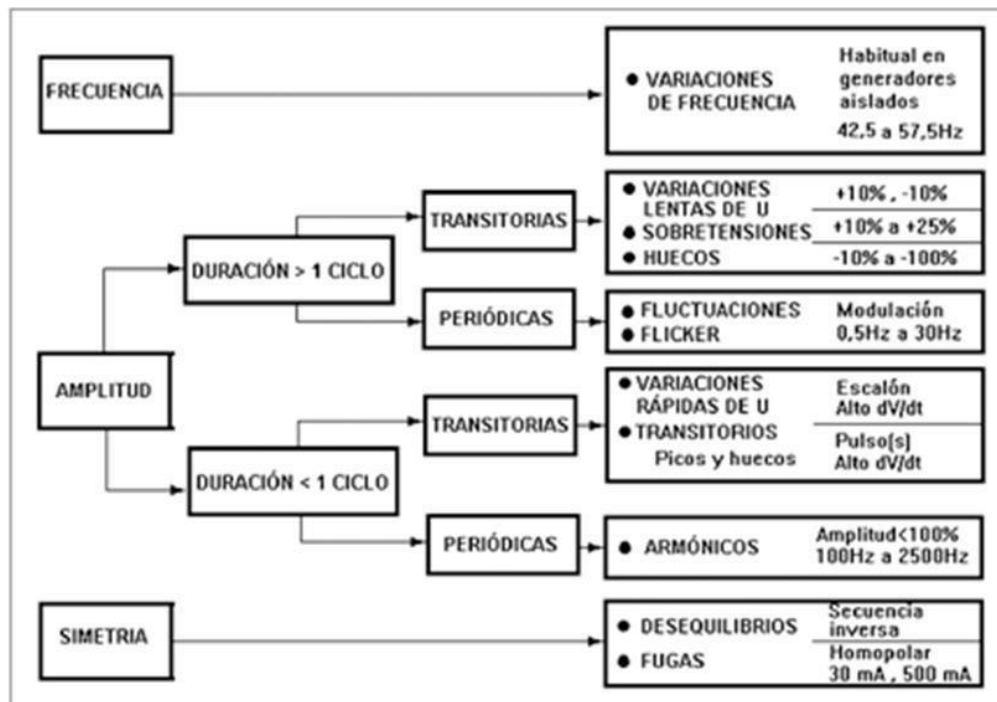
- **Sobretensión temporal a frecuencia industrial (Swell):** Sobretensión de una duración relativamente larga en un lugar dado. Las sobretensiones temporales son habitualmente debidas a maniobras o defectos (por ejemplo, reducción súbita de la carga, defectos monofásicos, no lineales, entre otros.
- **Hueco de la tensión de alimentación (Sag):** Disminución de la tensión de la alimentación a un valor situado entre el 90% y el 10% de la tensión nominal, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de tensión dura entre 10 mS y 1 minuto.
- **Interrupción de Alimentación:** Condición en la que la tensión de las tres fases en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión nominal.
- **Microcorte:** Este término no aparece propiamente definido en la norma comentada, pero suele aplicarse como sinónimo de interrupción corta con duración de algunos milisegundos. Este tipo de perturbación aparece típicamente en los disparos de protecciones con reenganche automático.

- **Variación rápida de tensión:** Cambio del valor eficaz de una tensión entre dos niveles consecutivos mantenidos durante intervalos de tiempo definidos, pero sin una cadencia de repetición especificada.
- **Sobretensión transitoria (Surge):** Sobretensión oscilatoria, o no, de corta duración, generalmente amortiguada y que dura como máximo algunos milisegundos.
- **Picos (Surges) y huecos (Notch) transitorios:** No los define la norma señalada. Se trata de variaciones de tensión de corta duración (menos de 10 ms), por encima o por debajo del valor instantáneo de la tensión, con o sin oscilación, causadas por conexión-desconexión de cargas inductivas o capacitivas, o por descargas atmosféricas. Este tipo de perturbaciones, a veces denominadas "parásitos" o con mayor propiedad "EMI" ("Electromagnetic Interferences") sólo son medibles con osciloscopios o registradores que permitan ver la forma de onda. Su correcta cuantificación debe hacerse midiendo su espectro de amplitudes entre 10 kHz y 30 MHz con analizadores de espectro dedicados.

#### ***Perturbaciones Periódicas:***

- **Fluctuación de Tensión:** Serie de variaciones de la tensión o variación cíclica de la envolvente de la tensión. La envolvente puede variar de forma aleatoria o de forma periódica siguiendo determinados perfiles de envolvente.
- **Parpadeo (Flicker):** Impresión de inestabilidad de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el que la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo. Dicho parpadeo se debe en general a fluctuaciones de la tensión, y es perceptible para frecuencias entre 0,5 Hz y 25 Hz. La medida de flicker se realiza mediante un parámetro llamado perceptibilidad. Para tiempos cortos (10 minutos), el parámetro se llama Pst y para tiempos largos (2 horas), se llama Plt.
- **Tensión Armónica:** Tensión sinusoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental de la tensión de alimentación.

- **Tensión Interarmónica:** Tensión sinusoidal cuya frecuencia se sitúa entre las frecuencias de los armónicos, es decir, cuya frecuencia no es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.
- **Desequilibrio de Tensión:** En un sistema trifásico, condición en la que los valores eficaces de tensión de las tres fases no son iguales o los ángulos entre fases consecutivas no son iguales.



**Figura 1.** Perturbaciones más frecuentes en la Red Eléctrica. Extraído de Arriola (2012).

### *Sistemas Supresores de Transitorios de Tensión*

Los sistemas supresores de tensiones transitorias (TVSS por sus siglas en ingles), según (IEEE) (2012) Son: “Sistemas encargados de proteger a cargas críticas de cualquier tipo de perturbación transitoria de energía, al cortar los impulsos picos generados por sobretensiones transitorias y desviar la corriente del transitorio para evitar daños en la carga” (p.36). Asimismo, este manual establece que cuando un transitorio ocurre en el sistema supresor no deja que la perturbación transitoria suba con niveles excesivos de rizado y altos niveles de distorsión, permitiendo a los



dispositivos semiconductores de potencia proporcionar la tensión deseada en la salida del mismo y disipada por sus componentes en caso de incrementos brusco de tensión o corriente. El supresor limita el voltaje a la misma vez y no deja que el sobre voltaje suba dándole protección al equipo sensible, haciendo más eficiente su desempeño y disminuyendo los efectos potenciales de estos eventos aleatorios. Para León (2012), los TVSS:

Son empleados con el propósito de cortar los impulsos de tensiones transitorias que excedan los valores nominales de fabricación de cualquier equipo eléctrico o electrónico conectado a la red frente a cualquier perturbación propagada en el suministro, para neutralizar, minimizar o anular (en el caso ideal) estos eventos aleatorios, garantizando principalmente un control de las variables procedentes del suministro eléctrico. (p.26)

### ***Convertidores de Potencia***

La conversión de energía es necesaria debido a la gran diversidad de cargas existentes. Esta conversión se realiza a través de convertidores electrónicos de potencia, los cuales se encargan de entregar de manera apropiada la energía eléctrica a la carga, ya sea en corriente directa o en corriente alterna. León (2012) hace referencia a esto diciendo: “Los convertidores de potencia permiten convertir una forma de energía en otra, regular la energía entregada a la carga haciendo más eficiente su consumo y ser ampliamente utilizados en la industria o en equipos críticos”(p.123). En sus estudios sobre convertidores, aplicaciones y diseño, Mohan (2013) describe principalmente los tipos más habituales de conversión son:

- ***Convertidor Corriente Alterna / Corriente Directa (CA/CD):*** Este tipo de convertidor es comúnmente llamado rectificador. Su implementación más simple se efectúa con diodos y un filtro para obtener el nivel de CD. Versiones más elaboradas incluyen interruptores controlados.
- ***Convertidor Corriente Directa / Corriente Directa (CD/CD):*** Este tipo de convertidor es bastante utilizado para elevar o disminuir la tensión de CD de salida respecto a la de entrada y obtener un nivel de CD regulada.

- ***Convertidor Corriente Alterna / Corriente Alterna (CA/CA):*** Este tipo de convertidor se encarga de proporcionar una tensión de salida en CA controlada a partir de una entrada de CA sin regular.
- ***Convertidor Corriente Directa / Corriente Alterna (CD/CA):*** Son llamados inversores y se encargan de producir una tensión alterna controlada en su salida a partir de una tensión de CD.

### ***Inversor***

Al hacer referencia al invero, Escudero (2007) lo conceptualiza de la siguiente manera:

Ondulador o conversor DC – AC, cuya función es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Sobre este particular otro autor, en este caso Perpiñan (2012) afirma que este tipo de acondicionamiento de potencia realiza la conversión de corriente continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica, entre otros aspectos.

Por su parte, Delgado (2012) presenta una clasificación de los inversores de acuerdo al tipo de onda generada en la corriente que sale de los mismos, en la que se refiere a la onda cuadrada o rectangular, cuya potencia no sobrepasa los 500 vatios, los de onda senoidal o sinusoidal modificada, los cuales son utilizados para potencias entre 500 y 2400 vatios; y los de onda senoidal o sinusoidal pura, que se emplean con potencias que oscilan entre 2500 a 4500 vatios, siendo controlados por microcontroladores que permiten obtener ondas senoiidales sin límite de carga, además de que se adaptan a todo tipo de artefacto eléctrico.

Guzman (2011) destaca que los inversores de onda senoidal modificada (PWM) pueden alimentar a la mayoría de electrodomesticos actuales, sin embargo, pueden ocasionar problemas con aparatos con cargas inductivas, como son los motores; mientras que la forma de onda senoidal pura es similar a la onda de la red eléctrica convencional y en consecuencia constituyen la mejor opción para alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales.

Con respecto a las condiciones a tomar en cuenta para adquirir un inversor, Guzman (2011) establece que para poder conectarse y desconectarse cuando exista una mayor o menor cantidad de energía eléctrica en la red; poseer una baja distorsión armónica, lo que se refiere a la calidad de la onda, es decir, los parasitos de dicha onda tienen que ser eliminados totalmente con ayuda de filtros electrónicos, aunque se pierda algo de potencia util, siendo la variación en la frecuencia de salida de 3% de la nominal.

Además, ambas fuentes indican que el inversor debe resistir potencias pico, como la producida al arrancar un motor, sin que se colapse el inversor, ya que los de onda cuadrada no aguantan muy bien estas subidas, proveer una forma de onda conocida y precisa; tener resistencia a cortocircuitos; presentar un buen comportamiento termico, es decir, soportar entre  $-5$  y  $40$  °C, incluir señales luminosas necesarias para indicar un posible cortocircuito, ser capaz de instalarse en paralelo, para una posible ampliación de la instalación; ser seguro, por lo que tendria que tener todo lo necesario para evitar cortocircuito, sobrecarga, inversión en la polaridad, entre otros aspectos.

La principal observación que debe hacerse sobre el inversor es la forma de onda de su salida, la cual puede ser cuadrada, semisinusoidal o completamente sinusoidal. La forma de onda cuadrada consiste en el suministro alterno de los voltajes positivos y negativos, pasando inmediatamente de un nivel de voltaje al otro. Este tipo de onda es mas sencillo y economico de producir, y genera menos perdidas de la energuia almacenada, sin embargo, su forma de onda dicta mucho de la onda sinusoidal suministrada por la red eléctrica y no es adecuada para aplicaciones que depedan de la forma de onda de la linea.

La forma de onda semisinusoidal, también es conocida como cuadrada modificada, está compuesta de varias ondas cuadradas configuradas para generar varios niveles de transición entre el voltaje negativo y positivo. Esta forma de onda sigue siendo mucho más económica de producir que la onda sinusoidal real, pero brinda una forma de onda más parecida a la energía suministrada por la red eléctrica y es adecuada para la mayoría de las aplicaciones. La forma de onda sinusoidal produce una forma de onda exacta a la proporcionada por la red de suministro eléctrico, por lo que es ideal para todas las aplicaciones, pero requiere el uso de componentes semiconductor mucho más costosos y genera una gran cantidad de desperdicio de energía, la cual debe ser disipada por el inversor en forma de calor.

### ***Interruptores Automaticos de Potencia***

La función de encender y apagar las corrientes eléctricas en las redes de distribución y de transmisión de potencia para las operaciones de rutina y la protección a las instalaciones eléctricas y electrónicas, son gran de valia en la actualidad, puesto que es la encargada de conmutar entre un estado al otro, en casos de rupturas en el sistema de transmisión eléctrica. Sobre este particular, Gomez (2012) expresa: “El interruptor automático es un dispositivo de conmutación mecánico capaz de proteger el cableado del circuito, de cerrar, transportar y cortar corrientes en condiciones de circuito normales, así como de cerrar y transportar corrientes por un tiempo especificado, además de cortar corrientes bajo condiciones de circuito anormales especificadas, como las de un cortocircuito.” (p.43). Otro autor que hace referencia a estos interruptores automaticos es León (2012) que los conceptualiza como:

Dispositivos electromecánicos cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos electrónicos bajo condiciones normales o de falla. Adicionalmente se debe considerar que los interruptores deben tener también la capacidad de efectuar recierres, cuando sea una función requerida por el sistema.(p.124)

### ***Procesador Digital de Señales (DSP)***

Según IEEE (2014) define la teoría del procesamiento digital de señales o DSP, “como la manipulación matemática de una señal de información para modificarla o mejorarla en algún sentido.” De manera que este se caracteriza por la representación en el dominio del tiempo discreto, en el dominio frecuencia discreta, u otro dominio discreto de señales por medio de una secuencia de números o símbolos y el procesado de esas señales. Esto se puede conseguir mediante un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad.

Debido a esto es especialmente útil para el procesado y representación de señales analógicas en tiempo real: en un sistema que trabaje de esta forma (tiempo real) se reciben muestras, normalmente provenientes de un conversor analógico/digital (ADC). Se puede trabajar con señales analógicas, pero es un sistema digital, por lo tanto necesitará un conversor analógico/digital a su entrada y digital/analógico en la salida. Como todo sistema basado en procesador programable necesita una memoria donde almacenar los datos con los que trabajará y el programa que ejecuta. Se puede procesar una señal para obtener una disminución del nivel de ruido, para mejorar la presencia de determinados matices, como los graves o los agudos y se realiza combinando los valores de la señal para generar otros nuevos.

### **Bases Legales**

Un aspecto de suma importancia en el desarrollo de este tipo de investigación es la sustentabilidad, puesto que se debe tener sumo cuidado de no violentar ninguna norma o ley de la carta magna de la república y leyes internacionales que abalen este campo de estudio. Es por ello, que se procederá a la consulta de algunas normativas, códigos y leyes que pueden ser útiles para el sustento legal de esta investigación.

De conformidad con lo establecido en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 39.573 del 14 de Diciembre de 2010, en concordancia con lo

dispuesto en los artículos 24 y 129 del Reglamento General de la Ley del Servicio Eléctrico, este Ministerio en uso de las atribuciones conferidas a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, dicta lo siguiente:

### ***Derechos de los Usuarios***

**Artículo 34.** Los usuarios tienen los siguientes derechos (específicamente en sus secciones 1 y 2):

1. Obtener el suministro de energía eléctrica oportuno y de calidad por parte del operador y prestador del servicio.
2. Organizarse para participar en la fiscalización de la calidad del servicio eléctrico, así como en la protección y seguridad de las instalaciones destinadas a la prestación del servicio eléctrico.

**Artículo 31.- *Mantenimiento de las Instalaciones del Usuario:*** El usuario instalará y mantendrá sus instalaciones en las condiciones establecidas en el Código Eléctrico Nacional y demás normas aplicables

**Artículo 32.- *Protección de Instalaciones del Usuario:*** Las instalaciones eléctricas del usuario deberán estar protegidas de acuerdo con lo estipulado en el Código Eléctrico Nacional Venezolano.

En Venezuela todo lo concerniente al diseño, seguridad y mantenimiento de Instalaciones Eléctricas en cualquier edificación residencial, comercial institucional y en lugares clasificados, se rige por la Norma Covenín 200: Código Eléctrico Nacional (CEN), el cual es un documento que establece los criterios técnicos para que la instalación a proyectar sea la más segura, sin embargo, no es un Manual de Diseño, pero su uso dentro del territorio nacional es de carácter obligatorio.

La calidad del servicio eléctrico se rige por normas técnicas, la gran mayoría de estas son realizadas por reconocidos organismos internacionales, y han sido adoptadas para dar origen a los reglamentos nacionales, los cuales son capaces de obligar a la prestación de un servicio de calidad mediante sanciones y multas. Sobre este particular, El Código Eléctrico Nacional, de conformidad con su artículo N° 6, estandariza la Frecuencia de la siguiente manera: “En el sistema eléctrico Venezolano

la frecuencia de la tensión es de sesenta Hertzio (60 Hz) con un rango de variación de acuerdo con la normativa vigente.”

**Artículo 57:** Reglamento de Servicio de la Ley del Servicio Eléctrico, emitido por el Ministerio Para el Poder Popular de Energía y Minas con fecha de 18 de Noviembre de 2003, establece que “El Usuario deberá mantener un factor de potencia de noventa por ciento (90%), en condiciones normales de operación de sus instalaciones. Si éste fuere inferior, el Usuario deberá instalar el equipo con las características sugeridas por la Distribuidora...”

La norma Venezolana adopta la desarrollada y normalizada por la IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica), que es recomendada para mantener niveles aceptables de calidad del servicio, concernientes a la cantidad de armónicos presentes en instalaciones eléctricas, con limitantes de distorsión para corriente y voltajes. El estándar que contiene estos límites es el IEEE-519 (Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas de Energía Eléctrica), en relación al monitoreo de fenómenos electromagnéticos, esta especifica los tres tipos de perturbaciones presentes en la red:

1. Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
2. Perturbaciones de carácter transitorio.
3. Deformaciones en la forma de onda.

Por otra parte, la Norma IEEE 62.41, referente a la práctica recomendada para Sobretensiones en Circuitos de Potencia AC de Baja Tensión. En esta Norma, se especifican las condiciones atmosféricas, técnicas y de niveles de exposición a los cuales se someten distintas partes de una instalación eléctrica bajo la incidencia de una sobretensión.

### ***Justificación de la Modalidad de Investigación***

La presente investigación supondrá un beneficio para los integrantes de la empresa en estudio, ya que significará un aporte de gran valía que optimiza el uso de la energía eléctrica requerida para las instalaciones de dicha organización, generando mayor confort y seguridad a las personas que laboran allí. Desde el punto de vista del conocimiento científico, el proyecto se justifica al establecer la relación entre la

ingeniería electrónica y los procesos reglamentarios del sector eléctrico, así como el hecho de estar inmersa en la línea de investigación de la Universidad de Falcón (UDEFA) como es la de automatización industrial con énfasis en el entorno local; dentro del área temática de sistemas de control automático. Conjuntamente este trabajo permite aportar conocimientos en relación al área temática, el cual puede ser usado como antecedente para proyectos de futuros investigadores.

Por otro lado, la implementación de este sistema de control y monitoreo permitirá a los operadores mejorar la fiabilidad del sistema de alimentación, reducir costos de energía y tiempos de interrupción al ayudarlo a supervisar, solucionar y evitar problemas con la calidad de la alimentación, reduciendo al mínimo las perturbaciones transitorias presentes en los niveles de voltajes consumido por los equipos eléctricos y electrónicos instalados en dicha empresa.

En lo personal, la investigación surgió como consecuencia de la inquietud por parte de los investigadores al observar que la empresa DEISCA C.A, presenta notables inconvenientes en relación a la calidad de la energía y a la falta de conocimiento que hay sobre el tema en la actualidad, esto permitirá extender los resultados de esta investigación a otras empresas del sector industrial de mayor magnitud, así como a nivel residencial, lo cual se traducirá en la preservación de la vida útil de los equipos que conforman el sistema eléctrico de las mismas y por ende en un incremento de la calidad de vida de las personas que habitan en las comunidades.



## **CAPÍTULO DE EJECUCIÓN**

### **Modalidad de la Investigación**

#### ***Tipo de Investigación***

El tipo de investigación es el proceso sistemático mediante el cual se pretende dar solución a la problemática planteada. En este sentido, se indica que la presente investigación está enmarcada como una investigación de tipo propositiva, debido a que está, es considerada como una actuación crítica y creativa, caracterizado por planear opciones o alternativas de solución a los problemas suscitados por una situación.

#### ***Diseño de Investigación***

Según Arias (2012), el diseño de la investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención a esta consideración, la propuesta en cuestión presentará un diseño de tipo mixto, puesto que el desarrollo de la misma se regirá por medio de una investigación de campo y una documental, debido a la necesidad de observar, recopilar y analizar directamente datos de la fuente primaria a investigar, en conjunto con una serie de estudios y consultas de algunos documentos como manuales, estándares y leyes, útiles para el desarrollo de la propuesta en cuestión. La investigación de campo es definida por Arias (2012), como: “aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios)” (p.31). Por su parte, Tovar (2008) hace referencia a la investigación de campo como:

Investigación aplicada para comprender y resolver alguna situación, necesidad o problema en un contexto determinado. El investigador trabaja en el ambiente natural en que conviven las personas y las fuentes consultadas, de las que se obtendrán los datos más relevantes a ser analizados son individuos, grupos y representantes de las organizaciones o comunidades. (p.67)

Arias (2012), habla acerca del diseño de una investigación de tipo documental o bibliográfica, del cual expresa lo siguiente: “Proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores” (p.34). De igual forma, el Manual de Trabajos de Grado, Especializaciones, Maestrías y Tesis Doctorales de UPEL (2015), define la investigación documental como: “el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos”, (p.15). En este sentido, la investigación documental se apoya en trabajos previos, información y datos divulgados en distintos medios

De conformidad con lo expuesto por dichos autores, y las características de la investigación, se hace notoria la semejanza de la misma con los diseños presentados, debido a que como se mencionó en párrafos anteriores, los datos se obtendrán en contacto directo con la variable, y con constante consulta con la documentación referente a la misma. Por ende el diseño de la investigación es de tipo mixto, de campo y documental.

En este mismo orden de ideas, la propuesta en cuestión, presenta un tipo de proyecto tecnológico-factible, debido a las semejanzas con las características que lo definen; Tovar (2008) dice que un proyecto factible es: “la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible a un problema de tipo práctico para satisfacer necesidades de una institución o grupo social”.

Un proyecto tecnológico, es una serie de pasos planificados que se sigue para alcanzar un objetivo, que mejore o facilite la vida humana. Según Thompson (2006): “es un producto o invención nueva o mejorada que facilita la vida humana”. Al partir de esta definición es notoria la relación existente entre este tipo de proyecto y la investigación a desarrollar, puesto que mediante la misma, se pretende mejorar sistemáticamente en materia de protección, transferencia y control de energía que garantice principalmente un control de las variables procedentes del suministro eléctrico a las instalaciones eléctricas y electrónicas del recinto en estudio.

## ***Población y Muestra***

### ***Población***

La población comprende el conjunto de datos comunes que van a ser utilizados por el investigador durante la elaboración de su proyecto de investigación, con el fin de lograr el cumplimiento de los objetivos planteados. En este sentido, Toro (2010) definen la población como: “el total de los individuos o elementos a quienes se refiere la investigación, es decir, todos los elementos que vamos a estudiar, por ello también se le llama universo. (p.79)”. Por otra parte Arias (2012), hace referencia a la población como: “conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación”. En opinión de la autora, la población es cualquier conjunto de elementos que permite conocer o investigar sus características. Para efectos de esta investigación la población estará representada por el personal técnico y de mantenimiento de la reseñada institución conformada por un ingeniero electrónico y un técnico en electricidad.

### ***Muestra***

En cuanto a la muestra, Sabino (2012), especifica que “... es una parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo” (p.83), mientras que para Hernández, Fernández y Baptista (2011) conceptualizan la muestra como: “un subgrupo de la población, digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. (p.212), es decir, que la muestra representa ese grupo que se toma de un todo para resaltar las características que son objeto de investigación.

Sin embargo, tomando en cuenta que la población objeto de estudio de la presente investigación es finita, pero su número es menor de cien elementos y considerado que el tiempo disponible para el estudio es limitado, en este caso no será necesario definir una muestra, puesto que el número de la población es relativamente pequeño y por lo tanto manejable para la aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

### ***Fases Metodológicas***

En toda investigación se hacen presente una serie de características, entre las que resaltan, las fases metodológicas o procedimientos que enmarcan el desarrollo de la misma; estos procedimientos o fases no son más que las etapas que deben ser cumplidas para así poder alcanzar eficientemente los objetivos propuestos. En este caso de la investigación en cuestión, se presentaron tres (3) fases, en las cuales se describirán las actividades desarrolladas a continuación.

#### ***Fase I. Diagnostico de la Situación Actual de las Instalaciones Eléctricas de la Empresa DEISCA C.A, Estado Falcón.***

Para el cumplimiento de esta fase, será necesario realizar visitas constantes a la reseñada institución, lo que permitirá realizar un diagnóstico de las instalaciones eléctricas existentes, los posibles inconvenientes, entre otros. En este mismo orden de ideas, se formularan las proposiciones pertinentes que describirán la realidad evaluada, estableciendo un análisis crítico, a partir los datos recabados en campo.

#### ***Fase II. Diseño de un Esquema de Distribución de los Componentes para el Diseño del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS).***

En esta fase, se seleccionaran los diferentes componentes y técnicas a implementar para el desarrollo de la propuesta en cuestión, se procederá a consultar documentos necesarios para la elección de los componentes más acordes a las necesidades previamente planteadas, en conjunto de apoyo de expertos y profesionales en el tema. En tal sentido, será necesario tener pleno conocimiento de la red en estudio, a fin de saber exactamente, los requerimientos y el dimensionado de las instalaciones eléctricas existentes.

***Fase III. Simulación del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS), para el sustento de la propuesta.***

Se empleó la simulación del sistema propuesto de acuerdo a la obtención de la fase metodológica anterior, con la finalidad de generar datos y consideraciones adicionales sobre el funcionamiento del mismo, con el propósito de sustentar y estudiar su comportamiento mediante una simulación y la creación de un programa ejecutable en la interfaz de Simulink de MATLAB.

***Técnicas e Instrumentos***

Arias (2012), define la técnica de recolección de datos, como el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Ahora bien, la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento. Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, o dispositivo que se utiliza para obtener o almacenar información. Dentro de este orden de ideas, se utilizó como técnicas principales la observación directa, entrevistas estructuradas dirigidas al personal técnico y de mantenimiento de la empresa DEISCA C.A, el cuaderno de notas y la documentación pertinente suministrada por la institución en estudio.

***Fase I. Diagnostico de la Situación Actual de las Instalaciones Eléctricas de la Empresa DEISCA C.A, Estado Falcón.***

Para lograr este objetivo, se utilizó la observación directa como técnica de recolección de datos y también como instrumento de recolección de datos.

***Fase III. Diseño de un Esquema de Distribución de los Componentes para el Diseño del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS).***

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos para cumplir con esta fase, se determinó mediante las entrevistas dirigidas a la muestra en estudio y a la consulta de

la documentación requerida, en función obtenida en la documentación y a las consideraciones de los entrevistados, se seleccionaron los componentes y técnicas a implementar para el dimensionado del sistema propuesto.

### ***Fase III. Simulación del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS), para el sustento de la propuesta.***

Se empleará un software de simulación para generar datos adicionales sobre el funcionamiento del esquema desarrollado en la fase anterior y se realizarán las modificaciones necesarias para culminar el diseño de la propuesta. Al igual que los objetivos anteriores, se utilizará la observación directa como técnica de recolección de datos y como instrumento se utilizará el software de simulación en Simulink de Matlab.

### ***Validez y Confiabilidad de los Instrumentos***

Para la determinación de la validez de los instrumentos, Santos (2008) expresa: “para comprobar la validez de los instrumentos utilizados en una investigación podría utilizarse el criterio de la opinión de expertos y de nuestros pilotos a los elementos de estudio.” En este sentido, se pretende implementar el juicio de expertos, el cual consisten en consultar con algunos expertos en la materia, lo relacionado con las preguntas con las que contará la entrevista a realizar, para poder obtener los mejores resultados. La realización de la entrevista permite establecer un diagnóstico sustentado por experiencia de los usuarios directos: personal técnico-administrativo que hacen vida en la reseñada empresa, con la finalidad de ofrecer las soluciones pertinentes a los problemas y necesidades planteadas.

En cuanto a la confiabilidad de los instrumentos, Delgado (2012): “se refiere al nivel de exactitud y consistencia de los resultados obtenidos al aplicar el instrumento por segunda vez en condiciones tan parecida como sea posible.”(p. 120). Para lograr esto se plantea utilizar la técnica conocida como el test-resset, el cual según Delgado (2012) se da de la siguiente manera:

En este procedimiento un mismo instrumento es aplicado en dos oportunidades o más a un mismo grupo de personas, después de cierto periodo de tiempo. Si la correlación entre los resultados de las diferentes aplicaciones es altamente positiva, el instrumento se considera confiable.

Para los efectos de esta investigación la validez de la misma estuvo determinada por un grupo de expertos, conformado por tres profesionales relacionados directamente al ámbito de estudio de la investigación, el grupo está formado por dos Ingenieros Electrónicos y un Ingeniero Eléctrico, para ello fue necesario de proveer de información acerca del título, objetivos y los criterios más importantes de las variables de la investigación, también fue necesario la creación de una matriz de validación que pudo ser cuantificada. El grupo de expertos analizó los datos obtenidos de los instrumentos y determino la validez necesaria para desarrollar la investigación.

### ***Técnicas de Procesamiento y Análisis e Interpretación de los Datos***

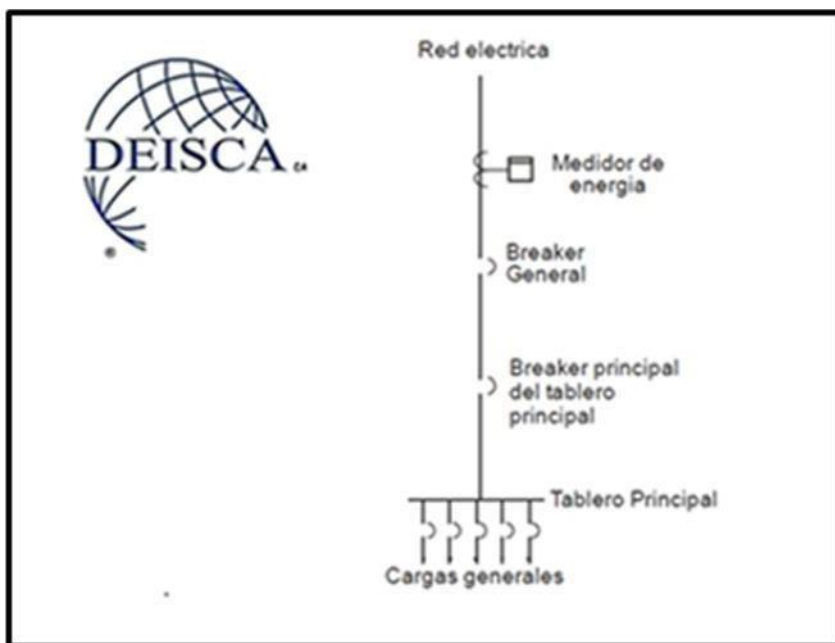
Una vez recabados los datos a través de un instrumento, se analizó la información y los datos obtenidos en el estudio. En el marco de esta investigación el análisis más apropiado debido al tipo de estudio presentado, instrumentos y técnicas de recolección de datos utilizados, es un análisis de tipo cualitativo. Se buscó reunir información acerca del fenómeno estudiado y las peculiaridades que lo conforman, mediante observaciones, para describir y analizar los elementos importantes del objeto de estudio. También a través de entrevistas enfatizar los puntos importantes y analizarlos, en función de obtener los elementos más resaltantes obtenidos de la recolección de datos. Se analizaron los datos obtenidos a través de los instrumentos con el fin de dar respuesta a los objetivos de la investigación así como la importancia que tienen la data recolectada para continuar el desarrollo de la investigación.

## CAPÍTULO DE RESULTADOS Y DISCUCIÓN

### Resultados e Interpretación por Fases Metodológicas

#### ***Fase I. Diagnóstico de la Situación Actual de las Instalaciones Eléctricas de la Empresa DEISCA C.A, Estado Falcón.***

Por medio de información suministrada por el personal técnico y de mantenimiento de la empresa, conformada por un ingeniero electrónico y un técnico en electricidad, se realizó un análisis crítico en base a lo observado en las instalaciones del mencionado recinto, por ende, se corroboró que la acometida que suministra la alimentación al sistema eléctrico de la sede de DEISCA C.A, es dedicada exclusivamente para la sede, por lo que es considerada una acometida de cliente independiente (Ver Figura 2). Al atender a ciertas consideraciones, fue importante realizar un juicio valorativo acerca de cuáles son las cargas más importantes o que son consideradas “vitales” dentro del sistema, el tablero principal a los cuales se encuentran conectadas, sus protecciones, entre otros. (Ver Anexo 1).



***Figura 2.*** Acometida principal de la Empresa DEISCA C.A. Elaborado por: Ulacio y Santaella (2015).



En base a estos aspectos evaluados y mediante la observación directa en campo, se describieron las cargas consideradas como críticas y de vital importancia para la empresa DEISCA C.A, al hacer referencia a lo antes mencionado fue determinante realizar un juicio valorativo acerca de la contabilidad de cada uno de los equipos electrónicos, horas de consumo durante la jornada laboral y posteriormente para dar fiel cumplimiento al desarrollo de esta fase, se realizó un registro de carga en su acometida principal lo cual permitió obtener valores correspondientes a las variables eléctricas medidas en campo. (Ver Tabla 1 y 2).

**Tabla 1.** Guía de Equipos Electrónicos pertenecientes a la empresa DEISCA C.A.

<b>Cargas Individuales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia en Vatios</b>
<b>Televisor</b>	<b>4</b>	<b>110 W</b>
<b>Nevera</b>	<b>2</b>	<b>400 W</b>
<b>Filtro de Agua</b>	<b>2</b>	<b>300 W</b>
<b>Computador</b>	<b>20</b>	<b>300 W</b>
<b>Impresora</b>	<b>20</b>	<b>32 W</b>
<b>Cafetera</b>	<b>2</b>	<b>50 W</b>
<b>Bombillos Fluorescentes</b>	<b>30</b>	<b>26 W</b>

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Tabla 2.** Tiempo de Consumo de Energía de los Equipos Electrónicos pertenecientes a la empresa DEISCA C.A.

<b>Equipos</b>	<b>Tiempo de Consumo (Horas)</b>
<b>Televisor (4)</b>	<b>4</b>
<b>Nevera (2)</b>	<b>8</b>
<b>Filtro de Agua (2)</b>	<b>8</b>
<b>Computador (20)</b>	<b>8</b>
<b>Impresora (20)</b>	<b>4</b>
<b>Cafetera (2)</b>	<b>1</b>
<b>Bombillos Fluorescentes (30)</b>	<b>8</b>

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

## Registro de Carga en la Acometida Principal de la Empresa DEISCA C.A

### *Medición de Tensiones de Fases*

La “Norma de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad” emitida por el Ministerio Para el Poder Popular de Energía y Minas, estipula que las variaciones en los niveles de tensión en valores porcentuales para el punto de suministro (acometida principal), para usuarios cuya alimentación sea en baja tensión y ubicados en zonas de baja densidad poblacional, puede oscilar en +/- 10 % con respecto al valor nominal; por tanto, la tensión del sistema puede alcanzar un valor mínimo de 108 V y un valor máximo de 132V.

Por otra parte, en la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos de las curvas de tensiones de fases. En esta tabla se observa que los niveles de tensión, en promedio, alcanzados en el sistema se encuentran dentro del rango de variación permitido según norma, con valores cuyo porcentaje por debajo del valor nominal (120 V) alcanzan el 0,45% en promedio.

**Tabla 3:** Parámetros de Tensiones de Fases.

	<i>A (V)</i>	<i>B (V)</i>	<i>C (V)</i>
<i>Valor Mínimo.</i>	<b>117,74</b>	<b>117,86</b>	<b>117,56</b>
<i>Valor Máximo.</i>	<b>126,06</b>	<b>125,97</b>	<b>125,62</b>
<i>Valor Promedio.</i>	<b>119,68</b>	<b>119,82</b>	<b>119,14</b>
<i>Val. Min. Permitido.</i>	<b>108</b>		
<i>Val. Máx. Permitido.</i>	<b>137</b>		

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### *Medición de Frecuencia del Sistema*

En la Tabla 4, se muestran los parámetros respectivos de la misma, cuyos valores son:

**Tabla 4: Frecuencia del Sistema.**

<b>Frecuencia del Sistema (Hz)</b>	
<b>Valor Mínimo</b>	<b>59,901</b>
<b>Valor Máximo.</b>	<b>60,099</b>
<b>Valor Promedio.</b>	<b>60,02</b>
<b>Val. Min. Permitido.</b>	<b>60,1</b>
<b>Val. Máx. Permitido.</b>	<b>59,9</b>

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

Acorde a estos valores, la frecuencia del sistema se encuentra dentro del rango de variación permitido, debido a que el Código Eléctrico Nacional, de conformidad con su artículo N° 6, estandariza la Frecuencia de la siguiente manera: “En el sistema eléctrico Venezolano la frecuencia de la tensión es de sesenta Hertzio (60 Hz) con un rango de variación de acuerdo con la normativa vigente.”

#### ***Medición de Corrientes de Fase***

En la Tabla 5, se observa que la fase que presenta los menores niveles de corriente de fase. Lo anterior está basado en el Artículo 55 del “Reglamento de Servicio de la Ley del Servicio Eléctrico”, emitido por el Ministerio Para el Poder Popular de Energía y Minas en fecha 18 de noviembre de 2003, el cual, estipula que “el Usuario deberá usar la energía en tal forma que su carga esté equilibrada entre las fases, dentro de un rango de diez por ciento (10%) en relación con la fase de menor carga”. Cuando lo anterior no se cumple, se considera que el circuito es “Desequilibrado” y deben buscarse las medidas correctivas que permitan balancear las fases del sistema y solventar la situación de desequilibrio.

**Tabla 5. Valores de Corriente en cada Fase y Desbalance entre ellas**

<b>Fases</b>	<b>Corrientes de Fase (A)</b>
<b>A</b>	<b>43.263</b>

<b><i>B</i></b>	<b>26.902</b>
<b><i>C</i></b>	<b>34.719</b>
<b><i>Desbalance (%)</i></b>	
<b><i>A-B</i></b>	<b>37,82</b>
<b><i>B-C</i></b>	<b>22.52</b>
<b><i>A-C</i></b>	<b>19,75</b>

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### ***Medición de la Distorsión Armónica Total de Tensión y Corriente***

La Tabla 6, muestra los valores parámetros respectivos de cada una de las fases del sistema, en cuanto al porcentaje de distorsión armónica total para las curvas de tensión.

***Tabla 6. Parámetros de Distorsión Armónica Total de Tensión***

	<b><i>THD - V Fase A (%)</i></b>	<b><i>THD - V Fase B (%)</i></b>	<b><i>THD - V Fase C (%)</i></b>
<b><i>Valor Mínimo</i></b>	<b>1.54</b>	<b>1.62</b>	<b>1.5</b>
<b><i>Valor Máximo</i></b>	<b>3.92</b>	<b>4.95</b>	<b>4.98</b>
<b><i>Valor Promedio</i></b>	<b>2.01</b>	<b>2.05</b>	<b>1.92</b>

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

La Norma “IEEE Std. 519 – 1992: Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia” en su capítulo 11, literal 11.5, Tabla 11-1, estipula los valores límites de distorsión de voltaje. La referida tabla se presenta a continuación en la Figura 3, tomada de la norma anteriormente citada.

<b>Tabla 11-1 Límites de Distorsión de Voltaje</b>		
<b>Bus de Voltaje en PCC</b>	<b>Distorsión Individual de la Tensión</b>	<b>Distorsión Total de Voltaje THD (%)</b>
69kV y por debajo	3.0	5.0
69.001Kv mediante 161 kV	1.5	3.0
161.001kV y por encima	1.0	1.5
<b>Nota.-</b> Distorsión armónica individual y total de corriente, las cuales son una medida de la cantidad de armónicos que el sistema debe absorber por causa del usuario. Las plantas de generación son consideradas también en estos límites.		

**Figura 3.** Límites de Distorsión de Voltaje, según IEEE-519.

La figura anterior muestra que, para niveles de tensión inferiores a los 69 kV, el THD no debe superar el 5%. En base a este valor estipulado por norma, en la Tabla 5 se observa que los valores parámetros obtenidos durante todo el período de medición se encuentran por debajo del 5%, en donde:

- La fase A presenta un THD promedio de 2,01%.
- La fase B presenta un THD promedio de 2,05%.
- La fase C presenta un THD promedio de 1,92%.

Estos valores permiten determinar que el sistema eléctrico cumple con los requerimientos estipulados en cuanto a distorsión total por contenido armónico en sus formas de ondas para cada una de las fases.

***Tabla 7. Parámetros de Distorsión Armónica Total de Corriente***

	<b><i>THD – A Fase A (%)</i></b>	<b><i>THD – A Fase B (%)</i></b>	<b><i>THD - A Fase C (%)</i></b>
<b><i>Valor Mínimo</i></b>	<b>2,46</b>	<b>3,21</b>	<b>2,86</b>
<b><i>Valor Máximo</i></b>	<b>10,88</b>	<b>9,84</b>	<b>13,92</b>
<b><i>Valor Promedio</i></b>	<b>3,55</b>	<b>4,31</b>	<b>4,69</b>

***Nota.*** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

La Tabla 10-3, de la Norma “IEEE Std. 519 – 1992: Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia”, se especifican los límites de distorsión de corriente para sistemas de distribución, desde 120V hasta 69 kV. Esta tabla se presenta a continuación en la Figura 4.

Tabla 10-3- Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución Generales (120V - 69.000V)						
Tasa Individual Admisible en relación a $I_L$ (%)						
$I_{SC}/I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD (%)
$< 20$	4.00	2.00	1.50	0.60	0.30	5.00
20 - 150	7.00	3.50	2.50	1.00	0.50	8.00
50 - 100	10.00	4.50	4.00	1.50	0.70	12.00
100 - 1000	12.00	5.50	5.00	2.00	1.00	15.00
$> 1000$	15.00	7.00	6.00	2.50	1.40	20.00
Sistemas de Sub-Transmisión (69 kV -161 kV)						
$< 20$	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
20 - 150	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00
50 - 100	5.00	2.25	2.00	0.75	0.35	6.00
100 - 1000	6.00	2.75	2.50	1.00	0.50	7.50
$> 1000$	7.00	3.50	3.00	1.25	0.70	10.00
Sistemas de Transmisión ( $> 161$ kV)						
$< 50$	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
$\geq 50$	3.00	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75
<b>Notas.-</b>						
(1) Todos los equipos de generación están limitados a estos valores de distorsión de corriente, con independencia del valor de $I_{SC}/I_L$ .						
(2) Los armónicos pares están limitados a un 25% de los límites para los armónicos impares.						
(3) No están permitida la inyección de componentes de corriente continua.						

**Figura 4.** Límites de Distorsión de Corriente según IEEE 519.

## **Fase II. Diseñar un Esquema de Distribución de los Componentes para el Diseño del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS).**

Para el cumplimiento de esta fase, fue necesario la recolección de datos, lo cual se llevó a cabo mediante la implementación de entrevistas directas y estructuradas dirigidas al personal técnico y de mantenimiento de la reseñada institución conformada por un ingeniero electrónico y un técnico en electricidad. Una vez obtenida la información, la misma fue procesada y sintetizada para cada uno de los ítems del instrumento que se muestran a continuación. (Ver Cuadro 1-5)

**Cuadro 1.** Procesamiento de resultados por Ítems (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad).

<i>Nº</i>	<i>Ítems</i>	<i>Respuesta</i>
<b>01</b>	¿La implementación del sistema propuesto aportará	<b>SI,</b> La implementación de un sistema supresor

	una solución a la problemática existente en la empresa DEISCA C.A?	de tensiones transitorias en la sede de DEISCA C.A, permitirá a sus operadores y supervisores mantener un control constante de todas aquellas variables eléctricas relacionadas con el sistema, de manera tal de poder ejecutar todas aquellas acciones y planes que permitan reducir en gran magnitud las posibles situaciones o los diversos factores que puedan devenir en una falla debido cualquier tipo de perturbación eléctrica existente en el suministro en vías de preservar las condiciones ideales, estándares o mínimas de calidad del suministro que permitan la transferencia limpia de energía a las diferentes cargas existentes en la empresa.
--	--	---

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Cuadro 2.** Procesamiento de resultados por Ítems (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad).

<b>Nº</b>	<b>Ítems</b>	<b>Respuesta</b>
02	¿La Empresa DEISCA C.A dispone de dispositivos electrónicos adicionales electrónicos para la protección frente variaciones bruscas de energía eléctricas?	<b>SI,</b> La empresa dispone de dispositivos de protección de cargas eléctricas conformados por una serie de superficiales contra altas y bajas tensiones con especificaciones de diseño de 220 V/15 A – 24000 BTU comúnmente utilizados en aires acondicionados, computadoras, entre otros

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Cuadro 3.** Procesamiento de resultados por Ítems (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad).

<i>Nº</i>	<i>Ítems</i>	<i>Respuesta</i>
03	¿Considera usted importante el uso de Inversores Multinivel como elemento principal en el sistema propuesto?	<b>SI,</b> Los TVSS tienen como elemento cerebro el uso de inversores multinivel, debido que, actualmente estos son considerados de última tecnología, puesto que pueden generar corrientes o incluso voltajes sinusoidales con mucho menor contenido armónico que cualquier otro inversor, los cuales pueden ser controlados independientemente de las condiciones de la tensión de entrada.

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Cuadro 4.** Procesamiento de resultados por Ítems (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad).

<i>Nº</i>	<i>Ítems</i>	<i>Respuesta</i>
04	¿Será posible que el inversor multinivel tenga en su carga de salida un bajo contenido armónico en corriente y voltaje para que esté dentro de la norma IEEE 519?	<b>SI,</b> El voltaje y la corriente en la carga del inversor multinivel presentan la característica de poseer bajo contenido armónico y dependiendo el tipo o la topología que se implemente para el diseño del mismo, se



		podrá obtener un factor de potencia cercano a la unidad acordes a los parámetros establecidos por la normativa IEEE 519 -1992.
--	--	--

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Cuadro 5.** Procesamiento de resultados por Ítems (Ingeniero electrónico y Técnico en Electricidad).

<i>Nº</i>	<i>Ítems</i>	<i>Respuesta</i>
05	¿De acuerdo a las diversas topologías de estudio de los Inversores Multinivel cual considera más conveniente en el desarrollo del sistema propuesto, por medio de puentes H o por diodos de enclavamiento?	Dado que cada puente H, tienen la misma estructura, permite la modulación de cada uno, lo que reduce tiempo y costo para quienes los construyan.

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### ***Elección del Elemento Principal para Supresión del Transitorio de Tensión***

La selección del elemento principal para la supresión del transitorio de tensión y dispositivos protección contra sobretensiones (SPD). Se realizó de conformidad con lo estipulado a la Norma IEEE Std. 519 – 1992: Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia, en referencia a la selección de la topología de electrónica potencia a implementar que cumpla con los mínimos valores estandarizados de voltaje, frecuencia, corriente, niveles de rizado y distorsión armónica, entre otras, en toda instalación eléctrica.

La topología de electrónica de potencia implantada para desarrollo del TVSS propuesto, se determinó mediante el uso de inversores multinivel, gracias a las propiedades expuestas en el cuadro a continuación (Ver Cuadro 6), que permitieron

emitir un juicio valorativo, acerca del aporte de esta tecnología de la electrónica de potencia en toda instalación eléctrica. De igual forma, se compararon las tres topologías tradicionales de inversores multinivel existentes al tomar en cuenta características tales como el número de componentes, complejidad de control, eficiencia, tolerancia a fallos y modularidad; las cuales permitieron realizar una tabla de análisis crítico de ventajas y desventajas por cada topología, que permitieron la elección del inversor multinivel que más beneficios aporte al diseño del sistema supresor (Ver Cuadro 7).

**Cuadro 6.** Propiedades del Inversor Multinivel

<b>Propiedades del Inversor Multinivel</b>	
<b>Calidad de Forma de Onda de Salida</b>	El inversor multinivel no solo puede generar voltajes de salida con baja distorsión, si no también reduce las variaciones de la señal ( $dv/dt$ ), y por lo tanto los problemas compatibilidad electromagnética (EMC) pueden ser reducidos también.
<b>Voltaje de modo Común (CM)</b>	Los inversores multinivel producen un bajo voltaje de modo común, los voltajes de modo común pueden ser eliminados completamente al usar estrategias de modulación avanzada.
<b>Corriente de Entrada</b>	Los inversores multinivel pueden crear corrientes de entrada con muy baja distorsión.
<b>Frecuencia de Conmutación</b>	Los inversores multinivel pueden operar a la frecuencia fundamental de conmutación y a las altas frecuencias de conmutación PWM. Se debe destacar

que operar a bajas frecuencias de conmutación usualmente significa menores pérdidas en los switches y mayor eficiencia.

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Cuadro 7.** Comparaciones de las topologías de Inversores Multinivel

<b>Inversor Multinivel Acoplado por Diodos (Diode-Clamped Inverter)</b>	
<b>Ventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A mayor número de niveles, menor es la distorsión armónica.</li> <li>2. Todas las ramas comparten el mismo bus DC.</li> <li>3. El flujo de potencia Reactiva puede ser controlado.</li> <li>4. Alta eficiencia por la menor frecuencia de conmutación.</li> <li>5. El sistema de control es relativamente simple.</li> </ol>
<b>Desventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad excesiva de diodos: se requieren <math>(m-1)*(m-2)</math> por fase.</li> <li>2. El flujo de potencia Activa es complejo por el desbalance de los condensadores.</li> <li>3. Se requieren diferentes rangos de corriente para cada semiconductor</li> </ol>

	debido a sus diferentes ciclos de operación.
<b>Inversor Multinivel Acoplado por Capacitor (Capacitor-Clamped Inverter)</b>	
<b>Ventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A mayor número de niveles, los condensadores acumulan energía extra durante largos transitorios de descarga.</li> <li>2. Permite formas flexibles de disparar los semiconductores, para obtener un mejor balance de voltaje en los condensadores.</li> <li>3. A mayor número de niveles, menor es la distorsión armónica.</li> <li>4. Los Flujo de potencia Activa y Reactiva pueden ser controlados.</li> </ol>
<b>Desventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Requiere una cantidad excesiva de condensadores, pues se requieren <math>\frac{1}{2}*(m-1)*(m-2)</math> por fase, y como son más grandes y caros que los diodos, resulta menos atractivo que el de acoplamiento por diodo.</li> <li>2. Un complejo sistema de control es necesario para mantener balanceados los voltajes de los condensadores.</li> <li>3. Presentan baja eficiencia para transmisión de flujo Real.</li> </ol>

<b>Inversor Multinivel con Puentes “H” en Cascada (Cascade H-Bridges Inverter)</b>	
<b>Ventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dado que cada puente tiene la misma estructura, permite la modularización de cada uno, lo que reduce tiempo y costo para quienes los construyan. Esto es válido para inversores con puentes “H” no escalados en voltaje. De otro modo, cada módulo es distinto.</li> <li>2. Requiere de menos componentes, ya que no se necesitan Diodos ni Condensadores en paralelo con los semiconductores.</li> <li>3. A mayor número de niveles, menor es la distorsión armónica.</li> <li>4. Los Flujos de potencia Activa y Reactiva pueden ser controlados.</li> </ol>
<b>Desventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para conversiones de potencia real de <b>ca</b> a <b>cd</b> y después de <b>cd</b> a <b>ca</b>, los inversores de puente H en cascada necesitan fuentes separadas de <b>cd</b>.</li> <li>2. No es posible conectar las fuentes de <b>cd</b> una a continuación de otra entre dos convertidores, porque puede inducirse un cortocircuito cuando dos convertidores seguidos no conmutan en forma síncrona.</li> </ol>

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

En función de las comparaciones expuestas en el cuadro 7, en relación a las tres topologías tradicionales de inversores multinivel, se determinó que la topología que más beneficios aporta al diseño del sistema propuesto, es la configuración de inversores multinivel en cascada con puentes “H”, a partir de varias fuentes separadas de *cd* (SDCS – Several Separate DC Sources). Para sustentar la elección de esta topología, se desarrolló un cuadro valorativo, que permitió la selección de esta configuración de inversores multinivel de las dos antes mencionadas. (Ver Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Selección del Inversor Multinivel con Puentes “H” en Cascada.

<b>Estructura Modular</b>	Los inversores multinivel con puentes “H” en cascada, en comparación con los inversores multinivel acoplado por diodos y de capacitores flotantes, requieren de la misma cantidad de etapas idénticas de puente H, es decir la misma cantidad de componentes en bloque para obtener la misma cantidad de niveles de voltaje en la salida. Lo que permite una reducción considerable en el costo de manufactura y simplicidad en el diseño, dado que es posibles la distribución y el encapsulado optimizado del circuito, porque cada etapa en puente H posee la misma estructura y no hay diodos fijadores adicionales, ni capacitores de balanceo de voltaje.
	La forma de onda de salida de voltaje del inversor multinivel con puentes H en cascada, está conformada por una serie

<p><b>Bajo THD de Voltaje y <math>dv/dt</math></b></p>	<p>de múltiples niveles pequeños de escalones de voltaje. Comparado con cualquier otro inversor, el inversor en cascada, puede producir un voltaje de salida con un valor mucho más bajo de THD y <math>dv/dt</math>, dependiendo del diseño y de las técnicas implementadas, se puede obtener una mínima distorsión armónica al controlar los ángulos de disparo de los diferentes niveles de tensión adecuado a los estándares de bajo contenido armónico en corriente y voltaje estipulados en la norma IEEE 519.</p>
<p><b>Operación en Alto Voltaje sin Dispositivos de Conmutación en Serie</b></p>	<p>Las celdas de potencias de puente H son conectadas en cascada para producir altas tensiones <b>ac</b>. Los problemas de igual voltaje compartido para dispositivos conectados en serie son eliminados.</p>
<p><b>Fuentes de Alimentación</b></p>	<p>La estructura en cascada no tiene problemas de balaceo de voltaje en las fuentes de alimentación (siempre y cuando estén aisladas e independientes), además de que éstas no necesitan una re-iniciación especial, desventaja importante en la topología de capacitores de enclavamiento. Donde los dispositivos semiconductores manejan solo la tensión presente en fuentes <b>cd</b>.</p>

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

## Elección del Dispositivo Semiconductor de Potencia

Para la elección de los dispositivos semiconductores de potencia para la conmutación en inversores multinivel en cascada con puentes H, se realizó un cuadro comparativo y evaluativo que permitió emitir un juicio valorativo, en relación a la elección del dispositivo semiconductor que más beneficios aporte al diseño del sistema supresor (Ver Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Cuadro Comparativo para la Selección del Dispositivo Semiconductor de Potencia.

Transistor de Unión Bipolar (BJT)	
<b>Funcionamiento como Elemento Interruptor para la Conmutación.</b>	El transistor bipolar (BJT), para funcionar como interruptor de conmutación, requiere de una alta corriente de base para entrar en estado de conducción o saturación y además, es relativamente lento en sus características de apagado o corte, es decir, en la transición de la saturación al corte.
<b>Limitaciones</b>	En primer lugar el transistor BJT posee una considerable dispersión térmica debido a su coeficiente de temperatura negativo. La segunda desventaja importante es la incidencia que puede alcanzar en un circuito mientras se encuentra en estado de conducción. Este efecto (problemático) se rige por la tensión de saturación entre Colector y Emisor ( $V_{ce}$ ), que en muchas aplicaciones suele alcanzar valores de varios voltios, aún en condiciones de saturación



	<p>total. Si a esto lo comparamos con el contacto de un relé, el BJT no es un elemento totalmente idóneo para trabajar como interruptor ya que si la corriente de colector es elevada, la potencia disipada en forma de calor puede llegar a niveles destructivos para el transistor (<math>P = V * I</math>). Cuando las corrientes son pequeñas, los BJT pueden ser una solución económica, pero si de electrónica de potencia hablamos, su utilización es la menos indicada.</p>
<b>Transistor MOSFET</b>	
<b>Funcionamiento como Elemento Interruptor para la Conmutación.</b>	<p>El MOSFET suele tener también incorporado en su encapsulado un diodo, que es particularmente útil en el tratamiento de sistemas conmutados de corriente, impidiendo la retroalimentación destructiva que se origina en este tipo de aplicaciones. A este diodo se lo conoce como Damper. Todas estas ventajas comparativas y algunas otras más, hicieron que el MOSFET se convirtiera en el dispositivo preferido al momento de la elección en los diseños de manejo de conmutación de potencia.</p>
<b>Limitaciones</b>	<p>El punto débil de esta tecnología es la potencia máxima de trabajo. Si bien existen dispositivos que pueden trabajar con altas tensiones (<math>V_{DS} &gt; 400</math> Volts) existía una necesidad de disponer de semiconductores</p>

	adecuados para aplicaciones industriales de alta corriente ( $I_{DS} > 100$ Amperes).
<b>Transistor Bipolar de Puerta Aislada (IGBT)</b>	
<b>Funcionamiento como Elemento Interruptor para la Conmutación.</b>	El IGBT posee salida de conmutación y de conducción con las características de los transistores bipolares, pero es controlado por tensión como un MOSFET. En general, esto significa que tiene las ventajas de la alta capacidad de manejo de corriente propias de un transistor bipolar, con la facilidad del control de conducción por tensión que ofrece un MOSFET.
<b>Limitaciones</b>	Las primeras versiones de los IGBT eran propensos a entrar abruptamente en conducción, pero en la actualidad, las nuevas tecnologías de fabricación están eliminando este defecto. Otro de los posibles problemas con algunos tipos de IGBT es el coeficiente de temperatura negativo que poseen, que podría conducir al dispositivo a una deriva térmica muy difícil de controlar. Estas desventajas quedan eclipsadas cuando debemos reconocer la capacidad de un IGBT de poder trabajar con varios miles de Voltios y corrientes tan elevadas que permiten hablar de cientos de KiloWatts de potencia controlada.

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

En función de las consideraciones expuestas en el cuadro 9, en relación a las diferentes tecnologías de dispositivos semiconductores de potencia mostradas dicha cuadro, se llegó a la conclusión, que el dispositivo que más beneficios aporta al diseño del sistema propuesto, es el transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), debido a el rendimiento relativo, los valores nominales de corriente y tensión que son capaces de manejar. Los IGBT son una nueva tecnología que superará a los MOSFET y al BJT por encima de los 300 Volts y los 100 Amperes. Se pueden usar técnicas de conmutación suave para reducir las pérdidas por conmutación. Acto seguido, se procedió a la elaboración de una matriz critica, en vías de seleccionar el dispositivo semiconductor IGBT requerido para el desarrollo de la etapa de potencia del sistemas supresor en cuestión. (Ver Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Criterio de Selección del módulo IGBT's para el Inversor Multinivel con Puentes "H" en Cascada.

<b>Módulo IGBT modelo CM50DY-24H</b>	
<b>Características Técnicas de Diseño</b>	El módulo IGBT modelo CM50DY-24H de Mitsubishi, están diseñados para ser usados en aplicaciones de conmutación, cada módulo consta de dos IGBT's en configuración de medio puente y cada transistor tiene un diodo de descarga libre de rápida recuperación conectado en reverso. Todos los componentes y las conexiones están aislados de la base disipadora de calor ofreciendo un montaje simplificado en el sistema y excelente desempeño térmico. Entre sus más resaltantes están su operación a altas frecuencias y su base disipadora de calor completamente aislada, este modelo maneja una corriente nominal de 50 Amperes y una tensión de 1.200 Voltios entre colector (C1) y emisor (E1). A su vez, el tiempo de encendido (ton) típico y el tiempo de apagado (toff) de entre 0,24 ms a 0,36 ms. Adecuado para operar en

	conmutación de baja y alta frecuencia.
<b>Módulo IGBT modelo P503-F-PM</b>	
<b>Características Técnicas de Diseño</b>	El módulo integrado fabricado por Tyco Electronics (modelo P503-F-PM), que corresponde a un arreglo de cuatro IGBTs en configuración puente H. Estos IGBTs soportan 30A y un voltaje de 600V.
<b>Módulo IGBT modelo GT50JR21 y GT50JR22</b>	
<b>Características Técnicas de Diseño</b>	Los modulos IGBT modelo GT50JR21 y GT50JR22 de Toshiba soportan hasta un coeficiente de 600 V, 50 A combinan un IGBT y un diodo de rueda libre inverso en un dispositivo único y monolítico. Están optimizados para conmutación de muy alta velocidad. A su vez, el tiempo de encendido (ton) típico y el tiempo de apagado (toff) con corriente de colector de 50A son 0,26 ms y 0,31ms , y 0,25 ms y 0,37 ms respectivamente para cada dispositivo. En consecuencia, el GT50JR21 es adecuado para la conmutación de baja frecuencia y el GT50JR22 lo es para conmutación de frecuencia más alta. La disipación de potencia de colector para cada IGBT es 230W a 25°C.

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

Una vez determinada la existencia en el mercado de los modelos de IGBT por parte de los proveedores y las características técnicas por parte del diseñador, se llegó a la conclusión, que el IGBT a utilizar es el módulo IGBT modelo CM50DY-24H de Mitsubishi, seleccionado por su gran factibilidad técnica, debido a que intrínsecamente en su estructura modular cada transistor tiene un diodo de descarga libre de rápida recuperación conectado en reverso, lo cual permite un frenado regenerativo, al permitir que la tensión no sea negativa hacia la carga. Entre sus más resaltantes están su operación a altas frecuencias y su base disipadora de calor completamente aislada, este

modelo maneja una corriente nominal de 50 Amperes y una tensión de 1.200 Voltios entre colector (C1) y emisor (E1). A su vez, el tiempo de encendido (ton) típico y el tiempo de apagado (toff) de entre 0,24 ms a 0,36 ms. Adecuado para operar en conmutación de baja y alta frecuencia.

### **Técnicas de Modulación de Voltaje**

La tecnica de modulacion de voltaje empleada en la estructura del inesor multinivel propuesto, fue la determinada por la técnica de modulación PS-SPWM (Phase Shifted Senidal PWM) como la mas adecuada para la topologia multinivel en cascada. La complejidad que involucra el trabajar en lazo cerrado con el inesor multinivel en cascada depende del número que se utilicen en la estructura, en general si  $N_s$  representa el numero de fuentes de poder aisladas, la relacion entre el numero de niveles y la cantidad de canales PWM necesarios viene dada por las siguientes expresiones:

$$m = 2 N_s + 1$$

$$l = 2 (m - 1)$$

Donde:

$N_s$  = numero de fuentes aisladas.

$m$  = numero de niveles.

$l$  = numero de canales PWM para la operación de la esrtura multinivel.

### **Generación de Pulsos de Disparo**

Para la elección del dispistivo capaz de cumplir la funcion de generar los pulsos de disparo, se seleciono la topologia del procesamiento digital de señales (Digital Signal Processor –DSP–) debido a las ventajas del uso de esta tecnología, con respecto al valor económico y a la calidad del mismo, debido a que estos integran un procesador de alto desempeño y bloques hardware de aceleración de operaciones, al diferenciarse de los microprocesadores y los dispositivos FPGAs que presentan ciertas limitaciones, para el caso del los microprocesadores que se adquieren en el

mercado y que poseen generadores PWM, no pueden proveer los pulsos PWM para los para los inversores multinivel, al igual, que los dispositivos FPGAs los cuales resultan ser más costosos. Otra limitante en el uso de los FPGAs es la dificultad relacionada con la integración de estos con periféricos mixtos (analógicos/digitales) para que puedan ser procesadas.

Ahora bien, la generación de los pulsos se hizo a través de un procesador de señal digital (Digital Signal Processor –DSP–) modelo TMS320F2812 de Texas Instruments. La estrategia de conmutación empleada para generar los pulsos del inversor es la modulación PS-SPWM. Como se mencionó anteriormente, este método utiliza  $m-1$  señales portadoras, donde  $m$  es el número de niveles del inversor; por lo tanto, en este caso se utilizó un circuito modulador PS-PWM, para generar señales iguales para cada bloque de interruptores conectados mediante drivers, para obtener las señales como estrategia para obtener la conversión y sintetizar una onda escalonada de voltaje.

### **Tarjetas de Disparo**

Los pulsos para la conmutación de los IGBT's son generados a través de un Procesador de Señal Digital (Digital Signal Processor –DSP–) que al salir de este llegan a la tarjeta de disparo, también conocida como driver, la cual se encarga de separar la parte de control de la parte de potencia del inversor. La tarjeta diseñada permite garantizar la tensión necesaria del pulso entre la puerta y el emisor de los módulos IGBT's, para que este sea disparado correctamente sin afectar los elementos que están conectadas en serie en la rama. Uno de los elementos importantes en la tarjeta se determinaron por varias fuentes aisladas de CD de bajo voltaje para realizar una conversión y sintetizar una onda escalonada de voltaje. Como circuitos integrados tipo drivers se propone circuito integrado IR2113 de International Rectifier, debido a las características técnicas expuestas a continuación.(Ver Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Matriz de Selección de los Circuitos de Disparos (Drivers) para el accionamiento de los IGBT's.

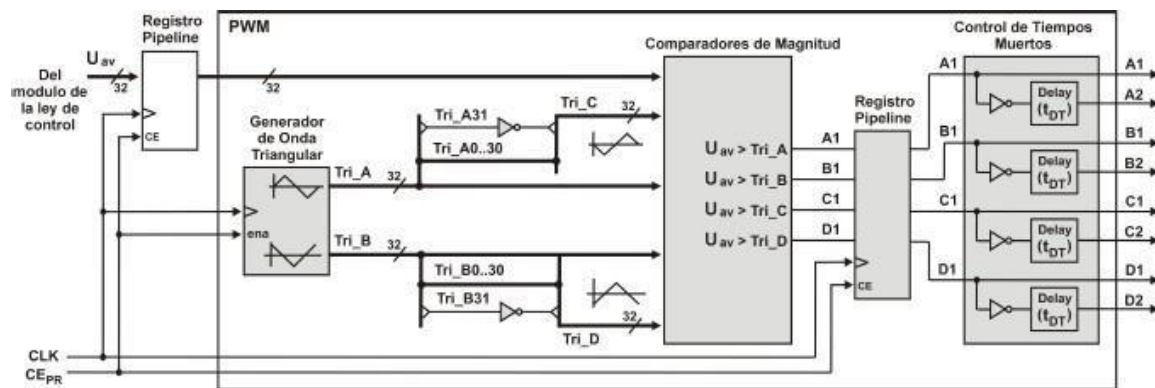
<b>Circuitos de Disparos (Drivers)</b>	
<b>Circuito Integrado IR2113 de International Rectifier</b>	El circuito integrado IR2113 de International Rectifier, estos “drivers” tienen una notable característica, pues pueden alimentar MOSFETs o IGBTs, El IR2113 permite trabajar con tensiones de alimentación continua de hasta 600Vdc. No obstante, como la configuración especial de puentes “H” en cascada del inversor multinivel utiliza fuentes de tensión continua aisladas entre sí, se requiere en este caso de aislamiento galvánico. Las salidas disponen de una capacidad de 2A de pico, y un tiempo de conmutación de $T_{(ON)} = 120nS$ y $T_{(OFF)} = 94nS$ , el disparo de este circuito es capaz de generar un voltaje de 10V a 20 V entre la puerta y el emisor.
<b>Circuito Integrado IR2110 de International Rectifier</b>	Con el circuito de disparo IR2110 de International Rectifier, se dispone de una solución compacta para disparar simultáneamente a un transistor MOSFET o IGBT's, capaz de oscilar entre +500V y -5V respecto del terminal de tierra. Además dispone de un rango entre 5 y 20V de alimentación. Las salidas disponen de una configuración en totem-pole con una capacidad de 2A de pico, y un tiempo de conmutación de $T_{(ON)} = 120nS$ y $T_{(OFF)} = 94nS$ .
<b>Circuito Integrado</b>	El circuito de disparo ésta compuesto por un integrado hibrido marca Mitsubishi modelo M57959L, encargado de accionar un módulo IGBT de la serie H, es un dispositivo de alta velocidad diseñado para

<b>modelo M57959L de Mitsubishi</b>	convertir la señal lógica de control en un accionamiento óptimo de la compuerta del IGBT proporcionando el pulso de corriente necesario para el correcto desempeño durante la conmutación, a un nivel de alta tensión de 600V y corrientes de 150 A.
-------------------------------------	--

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### Modulador PS-PWM

El esquema PWM implementado para este diseño es un PWM senoidal con corrimiento de fase (PS-PWM, Phase-Shifted Pulse-Width modulation) con portadoras múltiples. Este módulo recibe la señal UAV del bloque de la ley de control y genera ocho salidas PWM: A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, estas señales son usadas para el control de conmutación de los modulos IGBT'S de potencia del convertidor multinivel. El generador PWM está compuesto por varios bloques funcionales (Ver Figura 5).



**Figura 5.** Digrma de Bloques del Generador PS-PWM. Extraído de Madriz (2013).

### Generador de Onda Triangular

En este bloque se genera una aproximación discreta de dos ondas triangulares con una amplitud pico a pico de  $\pm 1$  (denidas como TriaA y TriB), estas ondas triangulares tienen un desfase de 90, para la discretización de ambas ondas triangulares se



usa el formato de punto flotante de precisión simple. El generador de onda triangular fue diseñado empleando el mismo principio usado en la discretización de las  $\sin_{wnt}$  y  $\cos_{wnt}$ ; se sabe que el convertidor posee cinco niveles, por tanto el número de portadoras necesarias es de  $n_p = m - 1 = 4$ , donde m representa el número de niveles.

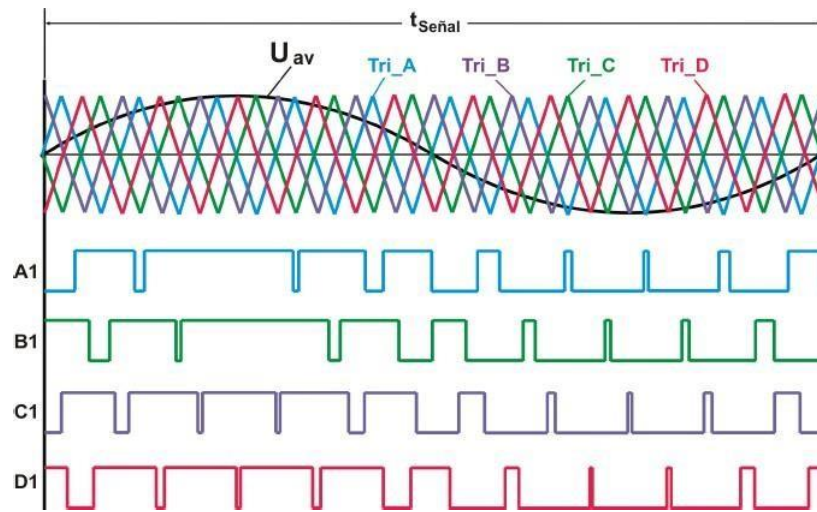
### Comparadores de Magnitud

Una vez que ya se tienen las cuatro portadoras (TriA, TriB, TriC y TriD) y la señal de control  $u_{av}$ , éstas entran al bloque de comparadores de magnitud, este bloque está compuesto de cuatro comparadores de 32 bits, dentro de éste módulo se realiza una comparación de magnitud, entre la señal de control obtenida ( $u_{av}$ ) y cada una de las triangulares (TriA, TriB, TriC y TriD) por medio de las siguientes operaciones:  $A1 = u_{av} > \text{TriA}$ ,  $B1 = u_{av} > \text{TriB}$ ,  $C1 = u_{av} > \text{TriC}$ , and  $D1 = u_{av} > \text{TriD}$ ; Finalmente se generan cuatro señales de PWM.

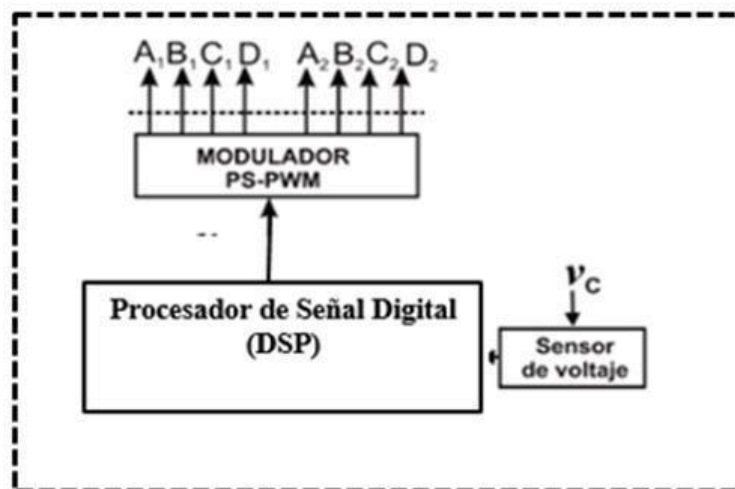
### Control de Tiempos Muertos

Este bloque genera otras cuatro señales de PWM de la siguiente manera:  $A2 = A1'$ ,  $B2 = B1'$ ,  $C2 = C1'$  y  $D2 = D1'$ . Además, este bloque añade un retardo entre las señales A1, A2; B1, B2; C1, C2; D1, D2, este retardo es llamado "tiempo muerto" y tiene la finalidad de evitar un corto circuito entre los dispositivos de conmutación complementarios; la duración del retardo fue calculado tomando en cuenta las características del dispositivo de conmutación empleado módulo IGBT modelo CM50DY-24H, la cual se demuestra por la ecuación (1) y la figura a continuación (Ver Figura 6), muestra los detalles de las señales que se esperan generar por el modulador PS-PWM y mediante la figura 7, se muestra el esquema de control de señales general.

$$t_{DT} = t_{IGBT(ON)} + t_{IGBT(OFF)} = 0,24 \text{ mS} + 0,36 \text{ mS} = 0,6 \text{ mS} \quad (1)$$



**Figura 6.** Señales de salida esperadas del Modulador Multinivel PS-PWM. Extraído de Madriz (2013).



**Figura 7.** Digrma General de Control y Modulacion de Señales. Extraído de Madriz (2013).

### Elección del Sensor de Voltaje

Los sensores de corriente y voltaje están diseñados para medir con precisión corrientes y voltajes tanto AC, DC y de Impulso, directamente de las secciones de alta potencia en equipos basados en Semiconductores. Estos sensores le permiten al circuito de control adquirir y manejar señales de maneta aisladas y en baja potencia. La mayoría de los sensores usados con semiconductores de potencia están basados en

la tecnología de efecto Hall, que les permite medir valores instantáneos, permitiendo muy rápidos tiempos de respuesta y una gran precisión en el control de la energía. Se propuso el sensor marca LEM modelo LV25-P, descrito en el cuadro 6, por su alto rango de adquisición de voltaje tanto de las señales DC como AC y excelente tiempo de respuesta en comparación especificaciones descritas en el mismo cuadro por el sensor de voltaje de efecto Hall -DC/AC, marca YHDC.

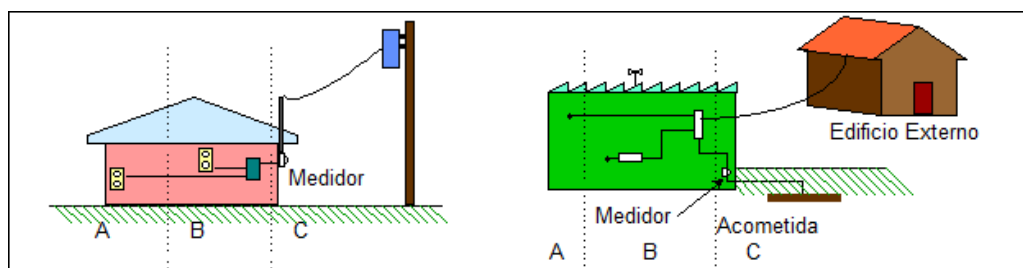
**Cuadro 12.** Matriz de selección del dispositivo captador de señales.

<b>Selección del Sensor de Voltaje</b>	
<b>Sensor de Voltaje modelo LV25-P marca LEM</b>	El sensor marca LEM modelo LV25-P, se utiliza para adquirir datos tanto de las señales DC como AC, la tensión nominal que soporta en su circuito primario es de hasta 500Voltios. tiempo de respuesta: 20mS a 200nS.
<b>Sensor de Voltaje de efecto Hall - DC/AC, marca YHDC</b>	El Sensor de voltaje de efecto Hall -DC/AC, marca YHDC, se utiliza para adquirir datos tanto de las señales DC como AC, la tensión nominal que soporta en su circuito primario es de hasta 400Voltios, tiempo de respuesta: 300mS.

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### **Categorías de Ubicación de los TVSS**

Los supresores de sobrevoltajes transitorios también se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación. De acuerdo al “IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits”, se tienen las categorías A, B y C. La Figura acontinuacion ilustra la ubicación de las tres categorías.(Ver Figura 8).



**Figura 8.** Ubicación de los TVSS. Extraído de Schneider-Electric.com (2013)

**La categoría C corresponde a las siguientes ubicaciones:**

- ❖ Instalación exterior y acometida
- ❖ Circuitos que van del wattorímetro al medio de desconexión principal.
- ❖ Cables del poste al medidor.
- ❖ Líneas aéreas a edificios externos.
- ❖ Líneas subterráneas para bombas.

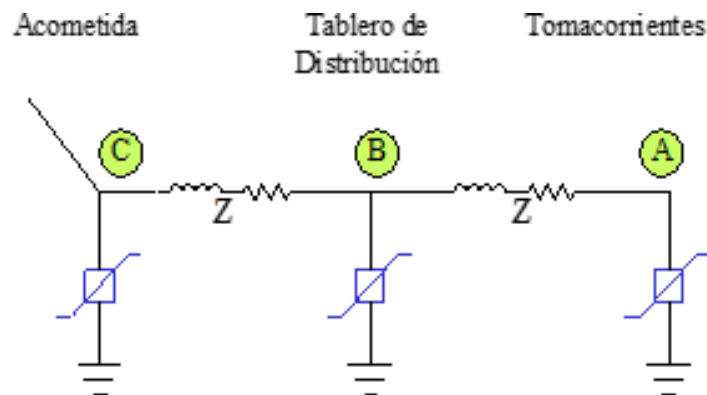
**La categoría B corresponde a las localidades siguientes:**

- ❖ Alimentadores y circuitos derivados cortos.
- ❖ Tableros de distribución.
- ❖ Barrajes y alimentadores en plantas industriales.
- ❖ Tomacorrientes para aparatos grandes con cableados cercanos a la acometida.
- ❖ Sistemas de iluminación en edificios comerciales.

**La categoría A corresponde a las ubicaciones siguientes:**

- ❖ Tomacorrientes y circuitos derivados largos.
- ❖ Todos los tomacorrientes que estén a más de 10 m de categoría B con hilos #14 - #10.
- ❖ Todos los tomacorrientes que estén a más de 20 m de categoría C con hilos #14 - #10.

Esta clasificación es el resultado de un compromiso entre dos extremos: a) proteger en forma sobrada sin importar la inversión inicial y b) no proteger evitando así la inversión inicial. Entre estos extremos, el estándar recomienda que los protectores de categoría C deben ser capaces de tolerar mayores corrientes que los de categoría A y B, mientras que el B debe soportar mayores corrientes que los de categoría A. Es por esto que, en general, los de categoría C son más robustos y más costosos. La clasificación también sugiere que los de categoría A tengan un voltaje de sujeción menor, de esta manera los de clase B y C se encargan de manejar altas energías y los de categoría A se encargan de restringir las excursiones del sobrevoltaje transitorio para evitar disturbios en la operación del equipo sensible. La Figura 9, muestra que la impedancia del alambrado actúa como un supresor serie.



**Figura 9.** Impedancia de alambrado actuando como supresor serie. Extraído de Schneider-Electric.com (2013).

Así pues, la Tabla 8, muestra las categorías de aplicación que se han seleccionado para sugerir los sistemas de tensiones transitorias (TVSS) a instalar en el sistema eléctrico de la sede de DEISCA C.A, estado Falcón.

**Tabla 8.** Categorías de Ubicación del TVSS seleccionada.

Aplicación	Categoría
<b>Acometida</b>	<b>C</b>

<b>Distribución</b>	<b>B</b>
Derivado	A

*Nota.* Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### **Instalación de los Supresores de Tensiones Transitorias**

- ❖ Es muy importante que el supresor de transitorios esté cerca de la carga a proteger. En caso de que el supresor esté retirado de la carga y se presente un transitorio con frente de onda muy pronunciado es posible que un pico llegue al equipo sensible.
- ❖ Es importante respetar las Categorías de Ubicación para los supresores de transitorios en circuitos de alimentación de baja tensión.
- ❖ Con el propósito de evitar distancias eléctricas importantes es necesario que los supresores de transitorios se conecten con conductores tan cortos como sea posible, sin lazos, sin trenzados y sin curvas pronunciadas.
- ❖ La misma referencia recomienda que se instalen supresores categoría B a la entrada de un UPS y a la entrada de los circuitos asociados de “bypass”. Esto requiere de énfasis pues se tiene la idea errónea de que un UPS es la solución total a los problemas de calidad de energía.
- ❖ La longitud del cable o barra de conexión de los TVSS integrados es mínima, permitiéndole al dispositivo dar la máxima protección. Una conexión con más longitud, añade impedancia al sistema, lo que reduce la efectividad del TVSS.
- ❖ La recomendación para el montaje de un TVSS de pared es en una ubicación que permita un cableado de 1 metro (3 pies) o menos. El montaje ideal sería mantener una longitud entre 45 cm (18") y 60 cm (24") del tablero, pero sabemos que en las instalaciones esto no siempre es posible.

### **Cálculo del Calibre del Conductor Eléctrico a emplear**

Se determino el calibre del conductor a usar, este parametro estuvo definido por dos cantidades fundamentales: la corriente deseada y el valor de la densidad de corriente propuesto, matematicamente se determino a partir de la ecuación a continuación. Al consultar la tabla sobre el calibre del conductor (Ver Anexo 2 y 3), el valor del area se consigue al buscar un valor inmediato superior al obtenido, se busca la correspondencia en la columna numero 2 del anexo 3 en cuestion, en este caso, el conductor a emplear debe ser igual o superior al calibre #16 AWG.

$$A_{WL} = \frac{I_L}{J} \cdot (10^3)$$
$$A_{WL} = \frac{3.5 \text{ Amp.}}{300 \text{ Amp./cm}^2} \cong 11.6666 \text{ cm}^2$$

### **Tipo de Conductor Eléctrico**

Se propone un conductor o cable de tipo flexible, debido a su amplia disponibilidad en el mercado, al ser este el conductor con mayor presencia en el mercado ferretero. El cable está compuesto de varios alambres delgados cubiertos por un aislamiento plástico, posee varios alambres delgados en lugar de un solo alambre grueso, lo cual permite que los cables sean más flexibles.(Ver Anexo 4).

### **Dispositivos de Monitoreo de los TVSS**

Los dispositivos de monitoreo acoplados a los TVSS, para la supervisión de las variables eléctricas en la acometida principal de DEISCA C.A, se basan en la implementación de dispositivos de medición que reemplazan y a su vez reúnen las características de medición de dispositivos analógicos o digitales básicos, tales como: amperímetros, voltímetros, vatímetros, entre otros. Los datos obtenidos y registrados por los medidores multi-variable pueden ser transferidos hacia un servidor remoto a

través de una pasarela y así manipular estos datos para obtener diversa información sobre el estado del sistema supresor de tensiones transitorias en tiempo real.

### **Central de medida Power Meter – PM800**

La central de medida “Power Meter – PM800” es un dispositivo multifunción cuyo propósito fundamental es la obtención y control de datos relativos a las mediciones de múltiples variables de un sistema eléctrico. Este dispositivo puede reemplazar otros elementos de medición, tanto analógicos como digitales, de menor tecnología, como por ejemplo amperímetros, voltímetros, vatímetros, entre otros.

La central es un medidor “true RMS” capaz de arrojar medidas con excepcional precisión, inclusive de aquellas cargas cuya característica sea altamente no lineal, así como también, permite la visualización de más de 50 parámetros ya sea en la misma pantalla de la central o a través de un software de monitoreo instalado en una unidad remota.

Estas centrales de medida cuentan con un puerto de comunicación serial RS – 485, de manera tal que permite la conexión en serie de hasta 32 dispositivos y ensamblar una red de manipulación de datos e información tipo ModBus. En la Figura a continuación, se muestra la imagen de una central de medida PM800 y la figura a continuación muestra un ejemplo de la conexión en serie de varias centrales de medida. (Ver Figura 10).



**Figura 10.** Central de medida de Serie PM800 y Red de Datos PM800. Extraído de Schneider-Electric.com (2011).



Algunas de las principales características que ofrecen las centrales de medida de la serie Power Meter – PM800 son las siguientes:

- ❖ Para su instalación, las centrales no requieren de transformadores de potencial (TP) ni controles separados de tensión, si son empleadas en niveles de tensión hasta los 600 V de corriente alterna.
- ❖ Los datos registrados pueden ser transferidos a una unidad remota que posea instalado un software de monitoreo, por medio del puerto RS – 485.
- ❖ Permiten la supervisión de corrientes a través de neutro para así detectar sobrecargas por fases desniveladas.
- ❖ Permiten el registro de armónicos individuales, tanto para tensión como para corriente, hasta el armónico 63 dependiendo de la central que se seleccione, adicionalmente permite la visualización de ángulos de armónicos individuales.
- ❖ Permiten la configuración de más de 50 condiciones de alarma ante eventualidades y efectúan el registro de las mismas con fecha y hora de ocurrencia.
- ❖ Pantalla remota opcional (a una distancia máxima de 10 m de la unidad de medición), adicionalmente incluye memoria amplia y no volátil incorporada IEC 60687 clase 0.5S para energía
- ❖ Efectúan la medición del factor de distorsión armónica total (THD).

La figura 11, muestra la Tabla 3.4 de las especificacion en resumen según Global Serie Power Meter-PM800 de algunas de las variables eléctricas que pueden ser monitoreadas con las centrales de medida de la serie Power Meter – PM800.

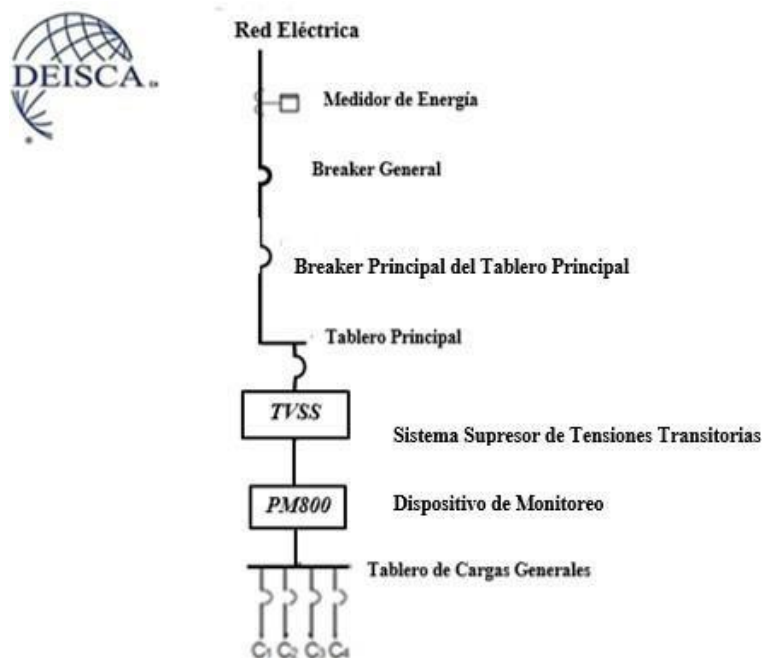
LECTURAS EN TIEMPO REAL	ANÁLISIS DE POTENCIA
Corriente (por fases, residual y trifásica)	• Voltaje fundamental (por fase)
Voltaje (L-L, L-N)	• Corriente fundamental (por fase)
Potencia Activa (por fases y trifásica)	• Potencia Activa fundamental (por fase)
Potencia Reactiva (por fases y trifásica)	• Potencia Reactiva fundamental (por fase)
Potencia Aparente (por fases y trifásica)	• Desbalance (corriente y voltaje)
Factor de Potencia (por fases y trifásico)	• Secuencias
Frecuencia	• Magnitudes de armónicos (corriente y voltaje)
THD (corriente y voltaje)	• Componentes de secuencia
LECTURAS DE ENERGÍA	LECTURAS DE DEMANDA
Energía Activa acumulada	• Demanda de corriente (por fase, trifásica promedio)
Energía Reactiva acumulada	• Factor de Potencia promedio (trifásico total)
Energía Aparente acumulada	• Potencia Activa demandada (por fase, pico)
Energía Reactiva por cuadrante	• Potencia Reactiva demandada (por fase, pico)
Energía incremental	• Potencia Aparente demandada (por fase, pico)
Energía Condicional	• Potencia demandada estimada

**Figura 11.** Tabla 3.1, Resumen de las variables Medidas por Centrales PM-800.

Extraído de Global Series PM800.

La central de medida PM- 800 está diseñado para reducir costos de energía, y ayudar a comprender dónde y cómo se utiliza la energía, ampliar la vida útil del equipo y evitar compras de equipos innecesarias al ayudar a comprender la carga del circuito e identificar la capacidad disponible y mejorar la fiabilidad del sistema de alimentación y reducir los tiempos de interrupción al ayudarlo a supervisar, solucionar y evitar problemas con la calidad de la alimentación

La serie Power Meter – PM800, ofrece varias opciones de centrales de medida que reúnen diversas características y prestaciones, pudiéndose así seleccionar aquella que satisfaga los requerimientos técnicos de medición que se desea implementar. En el diagrama unifilar de la sede, se señala la ubicación probable de las centrales de medición, en la acometida principal. (Ver Figura 12).



**Figura 12.** Dimensionado de la Acometida principal de la Empresa DEISCA C.A, con la implementación del TVSS y Sistema de Monitoreo PM800. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### **Costos de los Componentes para el dimensionado del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS) propuesto.**

En la tabla 9, se presenta un resumen de presupuestos proporcionados por proveedores de componentes electrónicos autorizados con CIF (precio de compra del producto puestos en el país de destino, incluye seguro y transporte) de cada uno de los componentes para el dimensionado del sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS), cuya tasa de cambio implementada para la relación de costos de los componentes, esta sujeto con lo establecido por el Sistema Marginal de Divisas (SIMADI), cuya cotización es de 199,96 BsF por 1 dólar Estadunidense, y luego calculado en unidades tributarias venezolanas vigente en gaceta oficial N° 40.608 y cotizadas a 150 BsF por unidad.

**Tabla 9.** Relación de costos por componentes para el dimensionado del Sistema Supresor de Tensiones Transitoria (TVSS).

<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>\$/Pieza</b>	<b>BsF/Pieza</b>	<b>Total \$</b>	<b>Total BsF</b>
<b>Módulo IGBT modelo CM50DY-24H</b>	12	8,34\$	1.667,66Bs	100,08\$	20.011,99Bs
<b>Central de medida Power Meter – PM800</b>	2	278\$	55.588,88Bs	556\$	111.177,7Bs
<b>Sensor de Voltaje modelo LV25-P marca LEM</b>	2	14,70\$	2.939,41Bs	29.4\$	5.878,824Bs
<b>Modulador PS-PWM</b>	1	32\$	6.398,72 Bs	32\$	6.398,72Bs
<b>Circuito Integrado IR2113 -International Rectifier</b>	12	8\$	1.599,68Bs	96\$	19.196,16Bs
<b>DSP-TMS320F2812- Texas Instruments</b>	1	316\$	63.187,36Bs	316\$	63.187,36Bs
<b>Total = 1129,479\$</b>					
<b>Total = 225.850,620 Bolivares <math>\cong</math> 1.505,670 Unidades Tributarias Vigentes</b>					

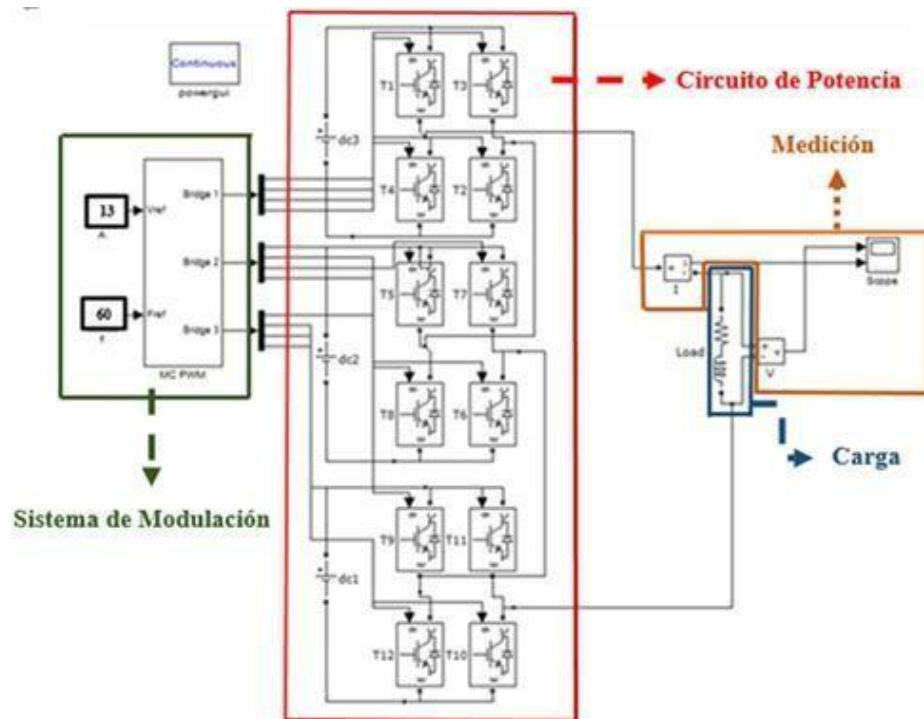
**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

**Fase III. Simulación del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS), para el sustento de la propuesta.**

*Diagrama de Bloques y función de cada módulo utilizado en la Interfaz Grafica del Software.*

Para la simulación del inversor multinivel en cascada con puentes “H”, mediante fuentes DC independientes (SDCS – Several Separate DC Sources) de tres etapas en cascada y su técnica de modulación PS-SPWM (desplazamiento de fase sinusoidal PWM) se utilizó el programa Matlab® y en especial la herramienta Simulink. Los diagramas de bloques fueron realizados mediante los elementos disponibles en la librería SimPowerSystems y en la sub-librería Power Electronics.

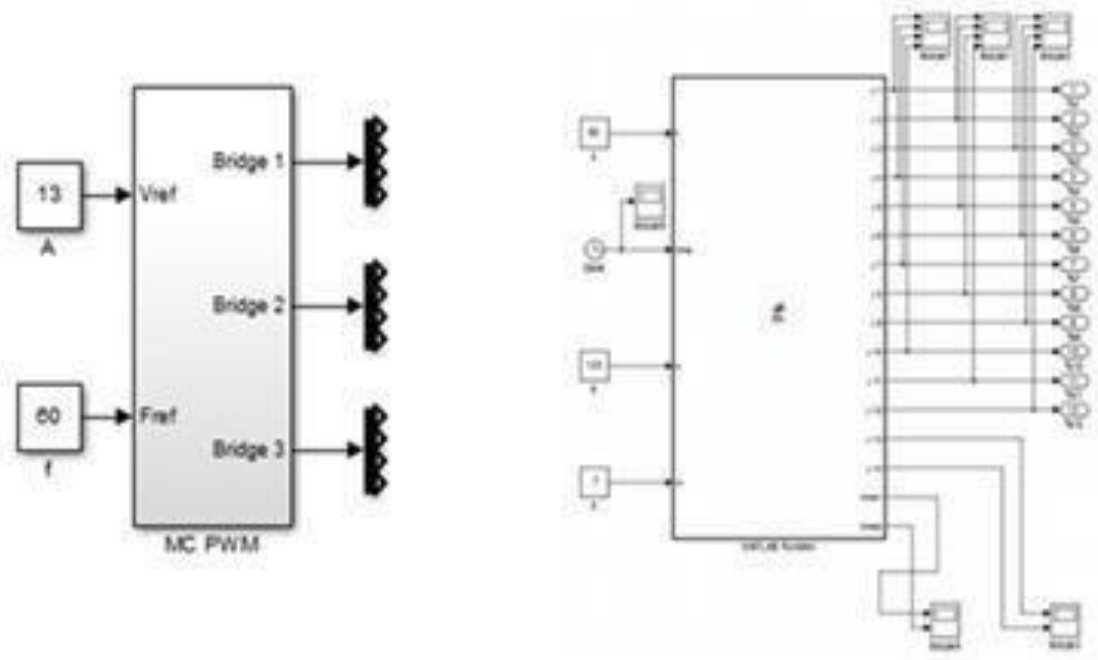
En la figura 13, se muestra el diagrama de bloques de la simulación realizada en la herramienta Simulink de Matlab. En dicha figura se pueden destacar los siguientes subcircuitos: el circuito de potencia del inversor, el sistema de modulación, con las correspondientes señales de disparo para los dispositivos de conmutación, el módulo de carga y los bloques de medición de las variables eléctricas.



**Figura 13.** Inversor Multinivel de tres Etapas en Cascada con Fuentes DC Independientes) en Simulink de MATLAB. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

***Diagrama del Sistema de Modulación PS-SPWM (desplazamiento de fase sinusoidal PWM) Implementado en la herramienta Simulink del programa Matlab®.***

Este sistema está conformado por el bloque modulador simétrico PWM el cual genera doce señales de disparo para los dispositivos de conmutación del inversor (desde  $T_{S1}$  hasta  $T_{S12}$ ), de tal forma que  $T_{S1}$ ,  $T_{S4}$ ,  $T_{S7}$  y  $T_{S10}$  son las señales de disparo para los IGBT's de la primera rama;  $T_{S2}$ ,  $T_{S5}$ ,  $T_{S8}$  y  $T_{S11}$ , son las señales de disparo para los IGBT's de la segunda rama; y  $T_{S3}$ ,  $T_{S6}$ ,  $T_{S9}$  y  $T_{S12}$  son las señales de disparo para los IGBT's de la tercera rama. La figura 14 muestra el sistema de modulación y las doce señales de salida.



***Figura 14.*** Sistema de Modulación y Función de modulación PS-SPWM. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

Al interior del sistema de modulación se encuentra una función de Matlab que contiene la programación del modulador simétrico PS-SPWM y que cuenta con cuatro entradas a saber: frecuencia fundamental ( $f$ ), tiempo (**Time**), relación de la frecuencia de modulación sobre la frecuencia fundamental ( $n$ ) e índice de modulación ( $m$ ). Las salidas de la función son: las doce señales de disparo de ( $T_1$  a  $T_{12}$ ), el tiempo en cada

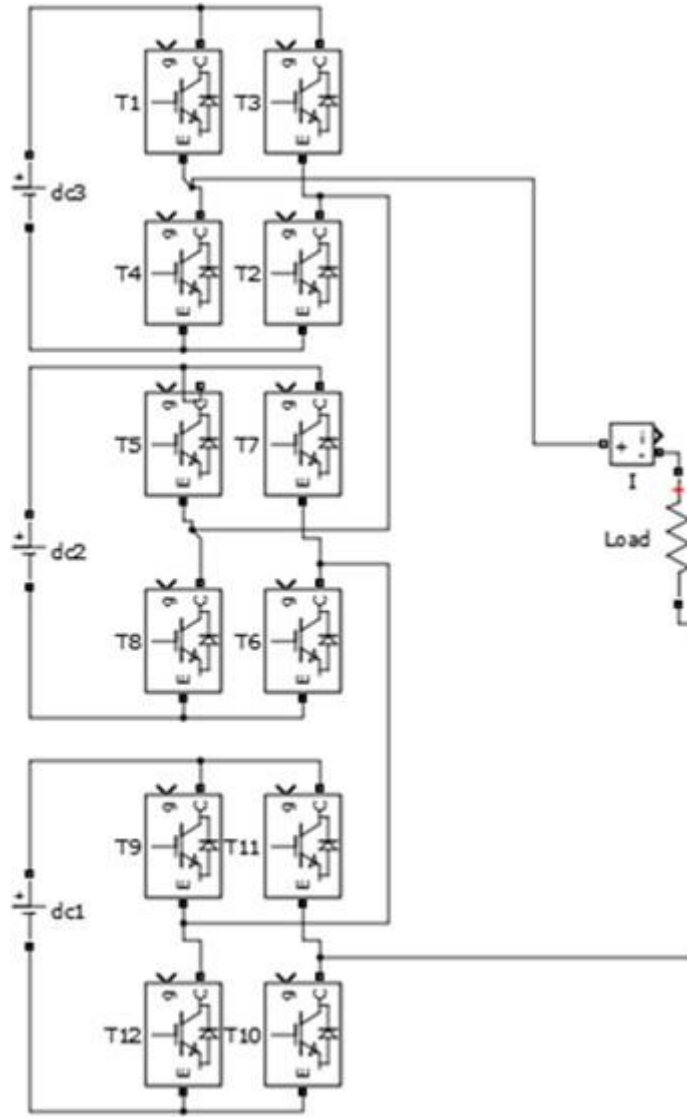
sector (*Time 1*) y el tiempo acumulado de simulación (*Time 2*). La figura 14, mostrada anteriormente, presenta la estructura interna del sistema de modulación.

Al interior de la función de Matlab se encuentra el código de programación del modulador. Dicho código se encuentra editado por secciones entre las que se destacan: cálculo de la frecuencia y periodo de modulación, validación del índice de modulación, determinación de la secuencia de los vectores de espacio y asignación de los patrones de conmutación.

***Diagrama del Circuito de Potencia implementado en la herramienta Simulink del programa Matlab®.***

Para el diseño en Simulink de Matlab del circuito de potencia del inversor multinivel, mediante fuentes DC independientes de tres etapas para generar una tensión de salida sinusoidal escalonada de 27 niveles, se empleó una estrategia para duplicar el número de niveles posibles en esta topología sin hacer crecer el número de fuentes de voltaje, utilizando la estrategia de los puentes “H”, útiles para el diseño, debido a que permite a la carga evitar el retorno directo de energía hacia las fuentes de tensión continua.

El inversor multinivel en cascada con fuentes DC independientes se caracterizó por utilizar tres etapas idénticas de puentes “H” conectadas en serie por cada fase, lo que significa que para implementar un inversor trifásico de este tipo, se requieren de tres fuentes DC independientes para alimentar las secciones de potencia del inversor. (Ver Figura 15).



**Figura 15.** Circuito de Potencia del Inversor Multinivel de Tres Etapas en Cascada con Fuentes Independientes (SDCS – Several Separate DC Sources) en Simulink de MATLAB. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

Los niveles de tensión de las diferentes etapas del inversor fueron obtenidos de acuerdo a la ecuación (2), se puede maximizar el número de niveles del inversor:

$$V_{dc(i-1)} = \frac{n_i-1}{n_i \cdot (n_i-1)} \cdot V_{dc(i)} \quad i = 1, 2, \dots (p-1) \quad (2)$$



donde  $V_{dc(i)}$  es el voltaje de la etapa  $i$ , “ $n_i$ ” el número de niveles de voltaje que la  $i$ -ésima etapa del inversor es capaz de producir y  $p$  el número de etapas. Como los puentes H utilizados en las diferentes etapas del inversor generan 3 etapas de tensión, se obtiene que:

$$n_i = 3 \quad \forall i \quad (3)$$

Reemplazando (3) en (2) se obtiene la relación que se muestra a continuación:

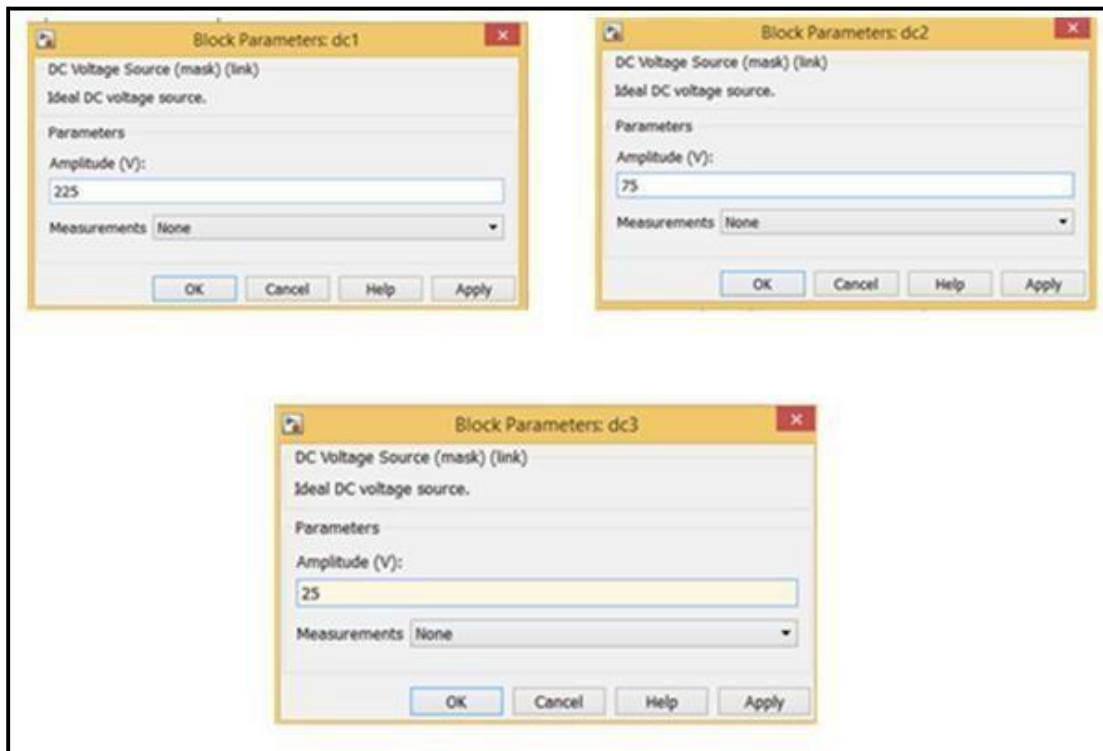
$$V_{dc\ x(i)} = 3 \cdot V_{dc\ x(i-1)} \quad (4)$$

Con el resultado de la ecuación (4) se deduce que para maximizar el número de niveles de tensión del inversor se debe utilizar voltajes escalonados en potencia de 3 para las diferentes etapas, las tres fuentes DC fueron distribuidas de forma desiguales (1: 3: 9) y los niveles de tensión están escalonados en potencia de tres, dejando la fuente de mayor tensión ( $9 \cdot V_{dc}$ ) para alimentar la etapa correspondiente al inversor denominado “Principal” (por poseer la más alta tensión de alimentación) y las dos restantes para los denominados “Auxiliares”. Por lo tanto, este inversor corresponde a uno del tipo asimétrico, ya que las fuentes que alimentan cada una de las etapas poseen diferentes niveles de tensión.

Para obtener un voltaje de salida sinusoidal de 220Vac (RMS), se deben utilizar fuentes de tales que:

$$\begin{aligned} V_{dc} + 3V_{dc} + 9V_{dc} &= 220\sqrt{2} \\ 13 V_{dc} &= 220\sqrt{2} \leftrightarrow V_{dc} \cong 24 \end{aligned} \quad (5)$$

Con la relación obtenida en la ecuación (5) se pueden obtener los voltajes para las diferentes etapas del inversor, siendo estos los siguientes: La Principal debe estar alimentada con  $225V_{dc}$ , la 2da Auxiliar con  $75V_{dc}$ , y la 3ra Auxiliar con  $25V_{dc}$ . (Ver Figura 16) se muestra una simulación de la modulación de voltaje en cada una de las etapas del Inversor, donde se pueden apreciar los diferentes voltajes de cada etapa, obtenidos anteriormente con la relación a la ecuación (5).



**Figura 16.** Alimentación DC para el Diseño de Inversor Multinivel de Tres Etapas en Cascada con Fuentes Independientes (SDCS – Several Separate DC Sources) en Simulink de MATLAB. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

El cálculo realizado para determinar el número de niveles posibles se obtuvo a partir del número de etapas, cuyo valor es conocido e igual a **3** ( $n = 3$ ). Al aplicar la formula  $3^n$  se obtuvo:

$$N = 3^n = 3^3$$

$$N = 27 \text{ Niveles}$$

A partir de los 27 de niveles previamente calculados con la anterior formulación, de los cuales 13 son positivos, 13 negativos y el cero, para generar 220 Vac en su salida. En la tabla 11, se muestra las secuencias de conmutación de cada IGBT, los cuales se cálculo ocupando el mismo mecanismo explicado en la ecuaciones anteriores. A continuación se detallan dos del total de pasos, con la cuales se encontraron las secuencias de conmutación de la tabla 11.

**Tabla 11.** Secuencia de Conmutación del Inversor de 3 Etapas y 27 Niveles.

Nivel (N)	Combinación	Voltaje de Salida (V <sub>OUT</sub> )	Etapa 3 ó Principal 1				Etapa 2 ó Auxiliar 1				Etapa 1 ó Auxiliar 2			
			T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
1	V <sub>A2</sub>	1/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
2	V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	2/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
3	V <sub>A1</sub>	3/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
4	V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	4/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
5	V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	5/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0
6	V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub>	6/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
7	V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	7/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
8	V <sub>P</sub> - V <sub>A2</sub>	8/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
9	V <sub>P</sub>	9/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
10	V <sub>P</sub> + V <sub>A2</sub>	10/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
11	V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	11/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
12	V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub>	12/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
13	V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	(V <sub>MAX</sub> )	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
-1	- V <sub>A2</sub>	-1/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
-2	-V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	-2/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
-3	-V <sub>A1</sub>	-3/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
-4	-V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	-4/13.(V <sub>MAX</sub> )	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
-5	-V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	-5/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
-6	-V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub>	-6/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
-7	-V <sub>P</sub> + V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	-7/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
-8	-V <sub>P</sub> + V <sub>A2</sub>	-8/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
-9	-V <sub>P</sub>	-9/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
-10	-V <sub>P</sub> - V <sub>A2</sub>	-10/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0
-11	-V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub> + V <sub>A2</sub>	-11/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
-12	-V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub>	-12/13.(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0
-13	-V <sub>P</sub> - V <sub>A1</sub> - V <sub>A2</sub>	(V <sub>MAX</sub> )	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

**Nota.** Realizado por Ulacio y Santaella (2015)

### ***Pasos para la Secuencia de Conmutación***

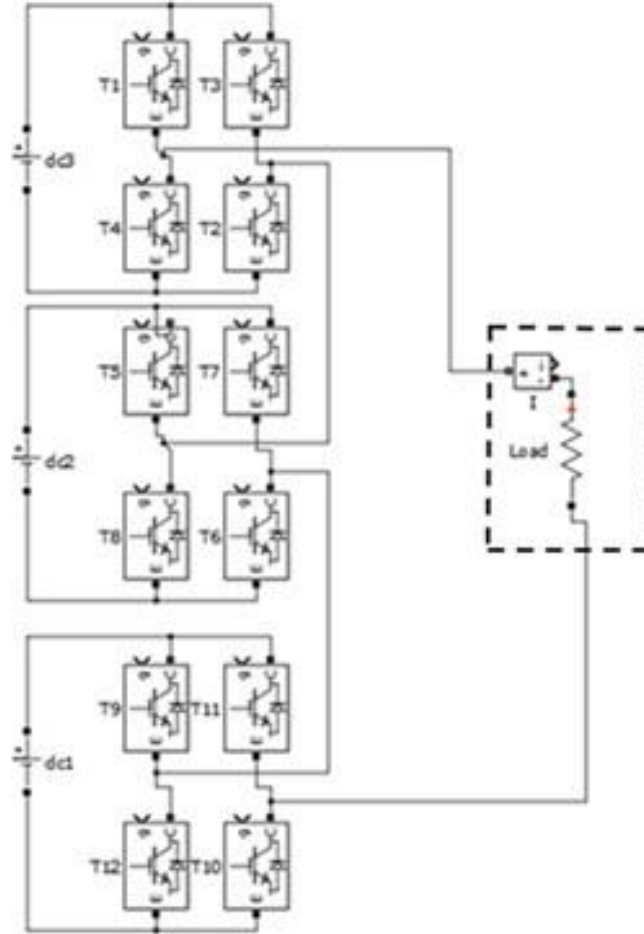
- ❖ El primer paso es calcular el número de niveles ( $N$ ) a partir del número de etapas ( $n$ ) con la formula que se mencionó anteriormente  $N = 3^n$ , donde  $n = 3$ , al evaluar se tiene:  $N = 3^n = 3^3 = 27$ .
- ❖ Se denotó la señal de salida del inversor como  $V_{OUT}$ , el cual tiene su valor expresado en rms, así que se calculó el valor máximo de dicha señal de la siguiente manera:  $V_{MAX} = \sqrt{2} \cdot V_{OUT}$ .
- ❖ El segundo paso consistió en calcular el voltaje  $V_{A2}$  (nivel 1), el cual se refiere al voltaje de referencia de la etapa 2 ó Auxiliar 2, cuyo valor corresponde al voltaje mínimo del inversor y se determinó mediante la ecuación (6):

$$V_{A2} = \frac{V_{MAX}}{\frac{N-1}{2}} = \frac{V_{MAX}}{\frac{27-1}{2}} = \frac{1}{13} V_{MAX} \quad (6)$$

Al aplicar la ecuación (6) se pudo encontrar los demás niveles, determinados en las secuencias de conmutación de la tabla 11.

### ***Diagrama del Módulo de Carga.***

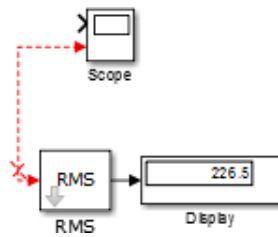
Para el diagrama de este módulo del inversor multinivel, se escogió una interconexión de carga resistiva configurable para realizar diferentes simulaciones y análisis en tiempo real. Esta sub-función selecciona el valor de la carga a simular en función de un parámetro seleccionado de entrada. Este módulo de carga envía la señal de corriente de salida  $i_L$  a la sub-función que representa la red eléctrica más una carga resistiva ( $R$ ) en paralelo, la cual simula el comportamiento de la red eléctrica más una cierta resistencia conectada en paralelo con la red. (Ver Figura 17).



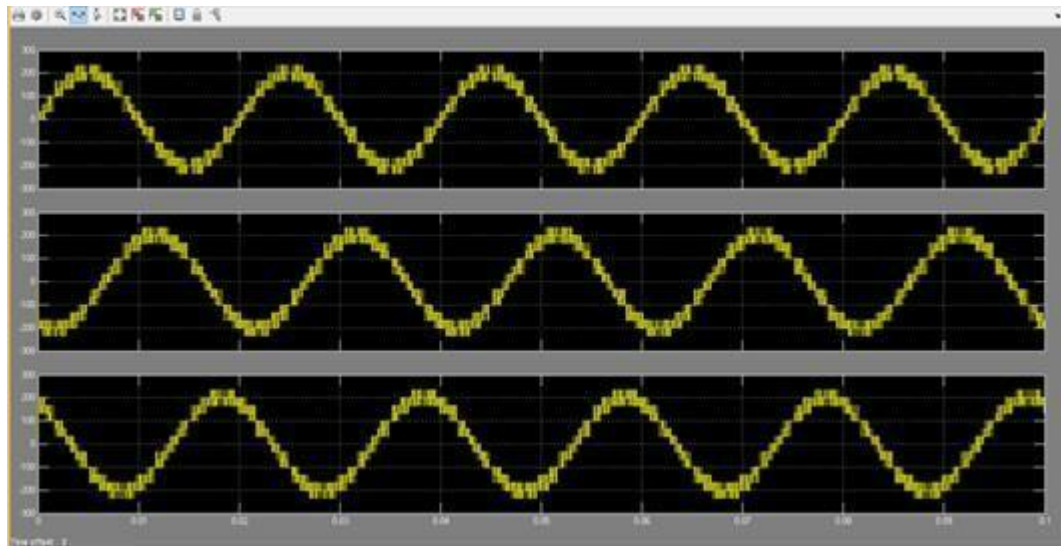
**Figura 17.** Diagrama del módulo de Carga. Realizado por Ulacio y Santaella (2015)

### ***Diagrama de Módulos de Medición de Variables Eléctricas.***

Para analizar el desempeño del modulador simétrico PWM y la etapa de potencia en el inversor multinivel se acompañó la simulación de ciertos elementos de medición pertenecientes a los bloques que se encuentran en el grupo “sinks” de la biblioteca de Simulink, entre ellos, se utilizó el bloque “Scope” que simula el comportamiento de un osciloscopio, el cual fue utilizado para visualizar las formas de onda de corrientes y voltajes, adicionalmente se incorporó a la simulación elementos de medición, como voltímetros, entre otros. (Ver Figura 18 y 19).



**Figura 18.** Diagrama de los módulos de medición de variables eléctricas. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).



**Figura 19.** Señal de salida del inversor multinivel de 3 etapas y 27 Niveles/Fases. Realizado por Ulacio y Santaella (2015).

### ***Resumen de la Simulación en Simulink de Matlab.***

Mediante el desarrollo de la simulación del inversor multinivel de tres etapas en cascada con fuentes independientes (SDCS – Several Separate DC Sources), en el cual se obtuvo un voltaje de salida de 226,5  $V_{AC}$ , se utilizó la tecnología de puentes “H” en cascada con voltajes de nivel escalonados en potencias de tres para maximizar el número de niveles, ocupando transistores de potencia del tipo IGBT para la conmutación. Además una descripción de las etapas y del funcionamiento del circuito que se pretende diseñar. Luego para dar cumplimiento a los objetivos anteriores, se

llegó a cabo el siguiente circuito, el cual está diseñado para generar una salida de corriente alterna de 27 niveles / fase, constituido principalmente por tres puentes H, que disponen de tres fuentes de CD distribuidos de forma desigual (1: 3: 9). Donde "A" representa el numero de niveles en la salida y "F" indica la frecuencia de salida para realizar una conversión y sintetizar una onda escalonada de voltaje.

Posteriormente, se diseñó un programa ejecutable en la interfaz de simulink de MATLAB (Ver Anexo 5), para poder controlar los puentes "H", mediante el modulador multinivel basado en la tecnica PS-PWM, se apreciaron los beneficios practicos que ofrece el control y robutes del voltaje de salida ante los cambios de salida, bajo contenido de armonico de voltaje y de corriente en la carga ( $< 5\%$  IEEE-519), autónomo y reconfigurable .

Por otro lado, la implementación de señales de seguimiento se empleó por parte del procesador digital de señales DSP (Ver Anexo 6), así como también las señales portadoras que utiliza el modulador multinivel basado en la técnica PS-PWM, se llevan a cabo dentro de la estructura de control conformada por el DSP y el modulador de señales simetríticos PWM. Las técnicas de modulación PWM senoidales poseen las mejores características para usarse en los inversores para aplicaciones de filtros activos, es por ende, que se utilizó el método o modulación PWM de corrimiento de fase (PS-PWM), en este, el rizo de tensión en la salida del inversor esta en proporción directa al número de portadoras utilizadas y por tanto, al numero de niveles del inversor; en esta técnica se menciona la frecuencia de rizo de tensión originada por las portadoras.

Se realizó la selección de esta técnica de modulación ya que posee la característica de desplazar el contenido de ármonico permitiendo una reproducción más fiel de la señal de salida por parte del inversor multinivel, la cual proporciona la mayor calidad posible de la onda (menor THD en la onda de corriente y de voltaje) con un THD de 4.17%.

## CONCLUSIONES

- ❖ La implementación del Sistema Supresor de Tensiones Transitorias (TVSS) en la sede de DEISCA C.A, permitirá a sus operadores y supervisores mantener un control de los niveles excesivos de rizado y altos niveles de distorsión armónica, permitiendo a los dispositivos semiconductores de potencia proporcionar la tensión deseada en la salida del mismo y disipada por sus componentes en caso de incrementos brusco de tensión o corriente. El supresor propuesto y simulado, limita el voltaje de salida a un valor de 220 Vac fijo y no deja que el sobre voltaje suba dándole protección al equipo sensible, haciendo más eficiente su desempeño y disminuyendo los efectos potenciales de estos eventos aleatorios.
- ❖ La topología de inversores multinivel con puentes “H” en cascada propuesto, en comparación con los inversores multinivel acoplado por diodos y de capacitores flotantes, requieren de la misma cantidad de etapas idénticas de puente H, es decir la misma cantidad de componentes en bloque para obtener la misma cantidad de niveles de voltaje en la salida. Lo que permite una reducción considerable en el costo de manufactura y simplicidad en el diseño, dado que es posible la distribución y el encapsulado optimizado del circuito, porque cada etapa en puente H posee la misma estructura y no hay diodos fijadores adicionales, ni capacitores de balanceo de voltaje, de esta forma con muy pocas etapas se pueden tener un gran número de niveles.
- ❖ La forma de onda de salida de voltaje del inversor multinivel con puentes H en cascada, está conformada por una serie de múltiples niveles pequeños de escalones de voltaje. Comparado con cualquier otro inversor, el inversor en cascada, puede producir un voltaje de salida con un valor mucho más bajo de THD y  $dv/dt$ , dependiendo del diseño y de las técnicas implementadas, se puede obtener una mínima distorsión armónica al controlar los ángulos de disparo de los diferentes niveles de tensión adecuado a los estándares de bajo contenido armónico en corriente y voltaje estipulados en la norma IEEE 519.



- ❖ Los puentes “H” necesitan tener entradas de voltaje distintas para también producir salidas distintas, una el triple de la otra o sintetizadas en potencias de tres, cuya alimentación para los dispositivos semiconductores IGBT’s manejan solo la tensión presente en fuentes cd. Por ende, los drivers de disparo de los transistores deberá tener la misma capacidad de voltaje de carga que los transistores, para evitar problemas con los voltajes de la carga.
- ❖ Se utilizo el metodo o modulación PWM de corrimiento de fase (PS-PWM), debido a que poseen las mejores características para usarse en los inversores para aplicaciones de filtros activo. Eeen este sentido, el rizo de tension en la salida del inversor esta en proporcion directa al numero de portadoras utilizadas y por tanto, al numero de niveles del inversor; en esta tecnica se menciona la frecuencia de rizo de tensión originada por las portadoras de desplazar el contenido de armonico generado de manera implicita por la tecnica a frecuencias mas elevadas que otra tecnicas de modulación, y permitiendo una reproducción más fiel de la señal de salida por parte del inversor multinivel.

## RECOMENDACIONES

Luego de la culminación de este valioso estudio, se han planteado una serie de resultados y conclusiones, según las cuales han hecho deducir a los investigadores que se debe ofrecer una serie de recomendaciones adaptadas al tema de estudio para contribuir para futuras referencias que podrían ser aplicadas en el diseño del sistema supresor de tensiones transitorias (TVSS) en la empresa DEISCA C.A, que no fueron implementadas en esta investigación por diferentes motivos. De esta manera, se plantearon las siguientes recomendaciones:

- ❖ A fin de mantener la variación sostenida de frecuencia dentro de la tolerancia establecida por el Código Eléctrico Nacional, de conformidad con su artículo N° 6, el cual estandariza la frecuencia de la siguiente manera: “En el sistema eléctrico Venezolano la frecuencia de la tensión es de sesenta Hertzio (60 Hz) con un rango de variación de acuerdo con la normativa vigente.” Se recomienda continuar investigando la relación experimental encontrada entre la frecuencia y la tensión eficaz de la onda generada por el inversor.
- ❖ Con el proposito de mantener la variación sostenida del contenido de armonico dentro de la tolerancia establecida por la normativa IEEE – Estándar 1159-1995: (Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas de Energía Eléctrica), se recomienda continuar investigando la relación experimental obtenida en la onda de tensión eficaz generada por el inversor y mantener la misma con un contenido de armonico por debajo de 5%.
- ❖ En el caso de que los picos de corriente en las fuentes DC sean excesivos para la característica de máxima corriente pico tolerada por los transistores IGBT`s modelo CM50DY-24H de Mitsubihí seleccionados para este inversor, se recomienda utilizar un arreglo de transistores CM50DY-24H en paralelo que permita soportar dicha corriente.

- ❖ Se recomienda utilizar resistencias de compuerta, las cuales determinan la velocidad de activación de los transistores IGBT's de esta forma se controla la relación de cambio de voltaje de salida con respecto al tiempo ( $dV/dt$ ), de manera que no excedan los valores recomendados por el fabricante.
- ❖ Se recomienda reducir al máximo la longitud de los cables de conexión entre las fuentes de alimentación de DC y los transistores IGBT's, debido a que las inductancias capacitivas parásitas asociadas a estos cables generan sobrevoltajes que perjudican al inversor.
- ❖ Se recomienda optimizar los niveles de tensión para tres puentes "H" escalando la magnitud de las fuentes DC en potencia de tres para mejorar la calidad de energía generada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

### 1. Fuentes Impresas:

#### Libros:

Arias, F (2012). *“El Proyecto de Investigación”*, 5ta Edición. Caracas. Editorial Espíteme.

Bavaresco, A. (2006): Proceso metodológico en la investigación (*Cómo hacer un Trabajo de Investigación*). Maracaibo, Venezuela: Editorial de la Universidad del Zulia.

Delgado, P. (2012). “Técnicas para Investigar y Recursos Metodológicos para la preparación de Proyectos de Investigación.” (2da edición). Córdova, Editorial Burjas.

Hernández, R; Fernández, C y Baptista, P. (2011). *“Metodología de la Investigación”*. México, D.F., Mc Graw Hill.

Mohan, Undeland y William (2013): *Electronica de Potencia (Convertidores, Aplicaciones y Diseño)* . Editorial Mc Graw Hil.

Sabino, C. (2012). *“El Proceso de Investigación.”* Caracas, Editorial Panapo.

Sampieri, R. (2010): *“Metodología de la investigación”*. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. México: Editorial McGraw Hill.

Santos, J. (2008). *“Epistemología y metodología. Elementos para la teoría de la Investigación Científica”*. Buenos Aires, Ediciones Eudeba.

Thompson, A. (2006): *“Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada”*. Barcelona, Editorial Universidad de Barcelona.

Toro, J. (2010): *“Paradigmas y Métodos de Investigación en Tiempos de Cambio.”* Edictorial Episteme Consultores Asociados.

Tovar, E; (2008). Técnicas de investigación documental. 3ra. Edición, México, Editorial Mc. Graw Hill. México.

## **2. Trabajos de grado, ascenso y similares:**

Arriola, F. J. (2012), “*Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico*”, Jornada sobre perturbaciones eléctricas, análisis y prevención, Bilbao, 23 de Febrero

Delgado, S; (2012): Multilevel Converters as a Utility Interface for Renewable Energy Systems. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, July 15-20, 2000, Seattle, Washington, pp. 1271-127.

Escudero, L; (2007): “Modelado de Convertidores DC – AC para el Análisis y Simulación de Sistemas Distribuidos de Potencia”-Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Gomez, C; (2012):” Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications”. IEEE Transactions on, Industrial Electronics, August 2012 Vol. 49 Num. 4.

Guzman, A; (2011): “Proceso Adaptativo de las Funciones de Operación de los Equipos de Protección”. Universidad Autónoma de Nuevo León - Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica División de Estudios de Posgrado.

León, A; (2012): “Diseño y construcción de un Inversor Trifásico Multinivel; Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial, con Diploma en Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile.

León M. Tolbert, (2008) Multilevel Converters for Large Electric Drives. IEEE Transactions on Industry Applications. vol. 35, no. 1, pp. 36-44, Jan/Feb 2008.

Madriz, C; (2013); “ Diseño y construcción de un Inversor Trifásico Multinivel de Cuatro Etapas Para Compensación Armónica y de Reactivos”; Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial, con Diploma en Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Montaña, C; (2013): “Convertidores CC/CA para la conexión directa a redes de sistemas fotovoltaicos”: comparación entre topologías de 2 y 3 niveles”(pagina web): [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/474\\_Carlos\\_Montaña.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/474_Carlos_Montaña.pdf)

Mora, J; (2012): “Análisis Electrónico de las Soluciones que Existen en Calidad de Energía Eléctrica y Eficiencia Energética”- Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil Electrónica.

Perpiñan, R; (2012) "Diseño e implementación de un inversor trifásico multinivel con fijación por diodos." Universidad Tecnológica de Pereira - Programa de Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ingeniería Eléctrica (2012).

Smith, J; (2013): "A New Cascaded Multilevel HBridge Drive". IEEE Transactions on Power Electronics, January 2013 Vol. 17, Num. 1.

Urresti, J; (2013): “Modelización y Fabricación de Dispositivos Supresores TVS para Protección en Aplicaciones de Baja Tensión, Universidad Autonoma de Balleterra (UAB) - Colombia.

### **3. Documentos y Normativas:**

#### ***Referencias de fuentes electrónicas en línea:***

Código Eléctrico Nacional, FONDONORMA 200:2009. Comité de Electricidad CODELECTRA.

Norma IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995), en relación a las prácticas recomendadas para el monitoreo de fenómenos electromagnéticos.

Norma IEEE 62.41, referente a la práctica recomendada para Sobretensiones en Circuitos de Potencia AC de Baja Tensión.

Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad. Ministerio de Energía y Minas, República Bolivariana de Venezuela.

Manual UPEL. (2015). Manual para la Elaboración de Tesis Doctorales, Trabajos de Grado y Trabajos Especiales. Caracas, Venezuela

Reglamento de Servicio de la Ley del Servicio Eléctrico. Ministerio Para el Poder Popular de Energía y Minas. República Bolivariana de Venezuela. 18 de noviembre de 2003.

## ANEXOS

DATOS DEL SISTEMA										
Datos del Sistema / Datos Técnicos	Tipo de UPS [Potencia = kVA]									
	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
Configuración del Sistema	TRUE ON LINE - Doble Conversión									
Voltaje de Entrada Nominal	480/277, 208/120, 3Ø+N, ±15%, otros bajo pedido									
Frecuencia de Entrada Nominal	60 Hz ±10%									
Voltaje de Salida Nominal	277, 220, 120, 1Ø+N, ±1%, otros bajo pedido									
Distorsión del Voltaje de Salida (THD):										
• carga lineal	< 1.5%									
• carga no lineal a 100% de P <sub>N</sub> y C.F. = 3 : 1	< 5%									
Regulación del Voltaje de Salida con carga entre 0 y 100%	± 1%									
Regulación de la Frecuencia de Salida:										
• Sincronizada con la Red	± 2%									
• Sincronizada con Reloj Interno (sin Red)	± 0.01%									
Potencia de Salida Nominal cosφ = 0.8 [kVA]	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
Potencia de Salida Nominal cosφ = 1 [kW]	4	8	12	16	24	32	40	48	64	80
Eficiencia [%]	> 88	> 89	> 91	> 92	> 92	> 92	> 92	> 93	> 93	> 93
Capacidad de Sobrecarga:										
• Inversor	125% x 10 minutos, 150% x 1 minuto									
• Convertidor Estático de By-pass	2000% 20 ms, 200% 10 minutos, 150% continuo									
Prueba de Aislamiento para 60 s	2.0 kV									
Temperatura Ambiente:										
• Temperatura de Operación	0 - 40 °C									
• Temperatura de Almacenaje	0 - 85 °C (excluyendo batería)									
Humedad Relativa Permisible	< 95 % (no condensado)									
Altitud Máxima sobre el Nivel del Mar a Plena Carga	< 2000 m. Mayor altitud requiere bajar la potencia nominal e incrementar el enfriamiento									
Nivel de Ruido Audible a 1 Metro <= [dBA]	58	58	58	58	60	60	61	61	62	70
Dimensiones (milímetros)										
• Ancho:	1200				1400			1800		
• Profundidad:	600									
• Altura:	1800									

**Anexo 1.** Características Técnicas y Especificaciones Nominales del Tablero Principal de la empresa DEISCA C.A. Extraído de DEISCA C.A (2015).

FOTO	CALIBRE / AWG	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	6	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	8	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica (de la mufa al interruptor).
	10	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	12	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	14	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	16	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	18	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	18 AWG	10 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A	16 AWG	13 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A	14 AWG	18 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		

**Anexo 2.** Medidas de Conductores Eléctricos AWG.

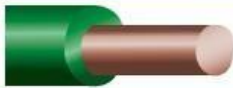


Wire Table												
AWG	Bare Area		Resistance $\mu\Omega/\text{cm}$ 20°C	Heavy Synthetics								
				Area		Diameter		Turns-Per		Turns-Per		Weight gms/cm
	$\text{cm}^2 (10^{-5})$	cir-mil		$\text{cm}^2 (10^{-4})$	cir-mil	cm	Inch	cm	Inch	$\text{cm}^2$	Inch <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	52.6100	10384.00	32.7	55.9000	11046.00	0.2670	0.105	3.9	10	11	69	0.46800
11	41.6800	8226.00	41.4	44.5000	8798.00	0.2380	0.094	4.4	11	13	90	0.37500
12	33.0800	6529.00	52.1	35.6400	7022.00	0.2130	0.084	4.9	12	17	108	0.29770
13	26.2600	5184.00	65.6	28.3600	5610.00	0.1900	0.075	5.5	13	21	136	0.23670
14	20.8200	4109.00	82.8	22.9500	4556.00	0.1710	0.068	6.0	15	26	169	0.18790
15	16.5100	3260.00	104.3	18.3700	3624.00	0.1530	0.060	6.8	17	33	211	0.14920
16	13.0700	2581.00	131.8	14.7300	2905.00	0.1370	0.054	7.3	19	41	263	0.11840
17	10.3900	2052.00	165.8	11.6800	2323.00	0.1220	0.048	8.2	21	51	331	0.09430
18	8.2280	1624.00	209.5	9.3260	1857.00	0.1090	0.043	9.1	23	64	415	0.07474
19	6.5310	1289.00	263.9	7.5390	1490.00	0.0980	0.039	10.2	26	80	515	0.05940
20	5.1880	1024.00	332.3	6.0650	1197.00	0.0879	0.035	11.4	29	99	638	0.04726
21	4.1160	812.30	418.9	4.8370	954.80	0.0785	0.031	12.8	32	124	800	0.03757
22	3.2430	640.10	531.4	3.8570	761.70	0.0701	0.028	14.3	36	156	1003	0.02965
23	2.5880	510.80	666.0	3.1350	620.00	0.0632	0.025	15.8	40	191	1234	0.02372
24	2.0470	404.00	842.1	2.5140	497.30	0.0566	0.022	17.6	45	239	1539	0.01884
25	1.6230	320.40	1062.0	2.0020	396.00	0.0505	0.020	19.8	50	300	1933	0.01498
26	1.2800	252.80	1345.0	1.6030	316.80	0.0452	0.018	22.1	56	374	2414	0.01185
27	1.0210	201.60	1687.0	1.3130	259.20	0.0409	0.016	24.4	62	457	2947	0.00945
28	0.8046	158.80	2142.0	1.0515	207.30	0.0366	0.014	27.3	69	571	3680	0.00747
29	0.6470	127.70	2664.0	0.8548	169.00	0.0330	0.013	30.3	77	702	4527	0.00602
30	0.5067	100.00	3402.0	0.6785	134.50	0.0294	0.012	33.9	86	884	5703	0.00472
31	0.4013	79.21	4294.0	0.5596	110.20	0.0267	0.011	37.5	95	1072	6914	0.00372
32	0.3242	64.00	5315.0	0.4559	90.25	0.0241	0.010	41.5	105	1316	8488	0.00305
33	0.2554	50.41	6748.0	0.3662	72.25	0.0216	0.009	46.3	118	1638	10565	0.00241
34	0.2011	39.69	8572.0	0.2863	56.25	0.0191	0.008	52.5	133	2095	13512	0.00189
35	0.1589	31.36	10849.0	0.2268	44.89	0.0170	0.007	58.8	149	2645	17060	0.00150
36	0.1266	25.00	13608.0	0.1813	36.00	0.0152	0.006	62.5	167	3309	21343	0.00119
37	0.1026	20.25	16801.0	0.1538	30.25	0.0140	0.006	71.6	182	3901	25161	0.00098
38	0.0811	16.00	21266.0	0.1207	24.01	0.0124	0.005	80.4	204	4971	32062	0.00077
39	0.0621	12.25	27775.0	0.0932	18.49	0.0109	0.004	91.6	233	6437	41518	0.00059
40	0.0487	9.61	35400.0	0.0723	14.44	0.0096	0.004	103.6	263	8298	53522	0.00046
41	0.0397	7.84	43405.0	0.0584	11.56	0.0086	0.003	115.7	294	10273	66260	0.00038
42	0.0317	6.25	54429.0	0.0456	9.00	0.0076	0.003	131.2	333	13163	84901	0.00030
43	0.0245	4.84	70308.0	0.0368	7.29	0.0069	0.003	145.8	370	16291	105076	0.00023
44	0.0202	4.00	85072.0	0.0316	6.25	0.0064	0.003	157.4	400	18957	122272	0.00020

**Anexo 3.** Calibre AWG del Conductor Eléctrico del TVSS propuesto.



**Alambre desnudo:** Éste es un solo alambre sólido de cobre sin recubrimiento. Por lo general se utiliza para la conexión a tierra pero es poco común.



**Alambre aislado:** Mismo alambre sólido de cobre que el anterior pero cubierto con un aislamiento plástico para evitar que entre en contacto con algún otro alambre, objeto metálico o persona.

Es mucho más común que el desnudo y se utiliza para el alambrado de casas y oficinas.



**Cable flexible:** Es el conductor con mayor presencia en el mercado ferretero. El cable está hecho de varios alambres delgados cubiertos por un aislamiento plástico. A diferencia de los conductores anteriores, el tener varios alambres más delgados en lugar de un solo alambre grueso permite que los cables sean más flexibles.



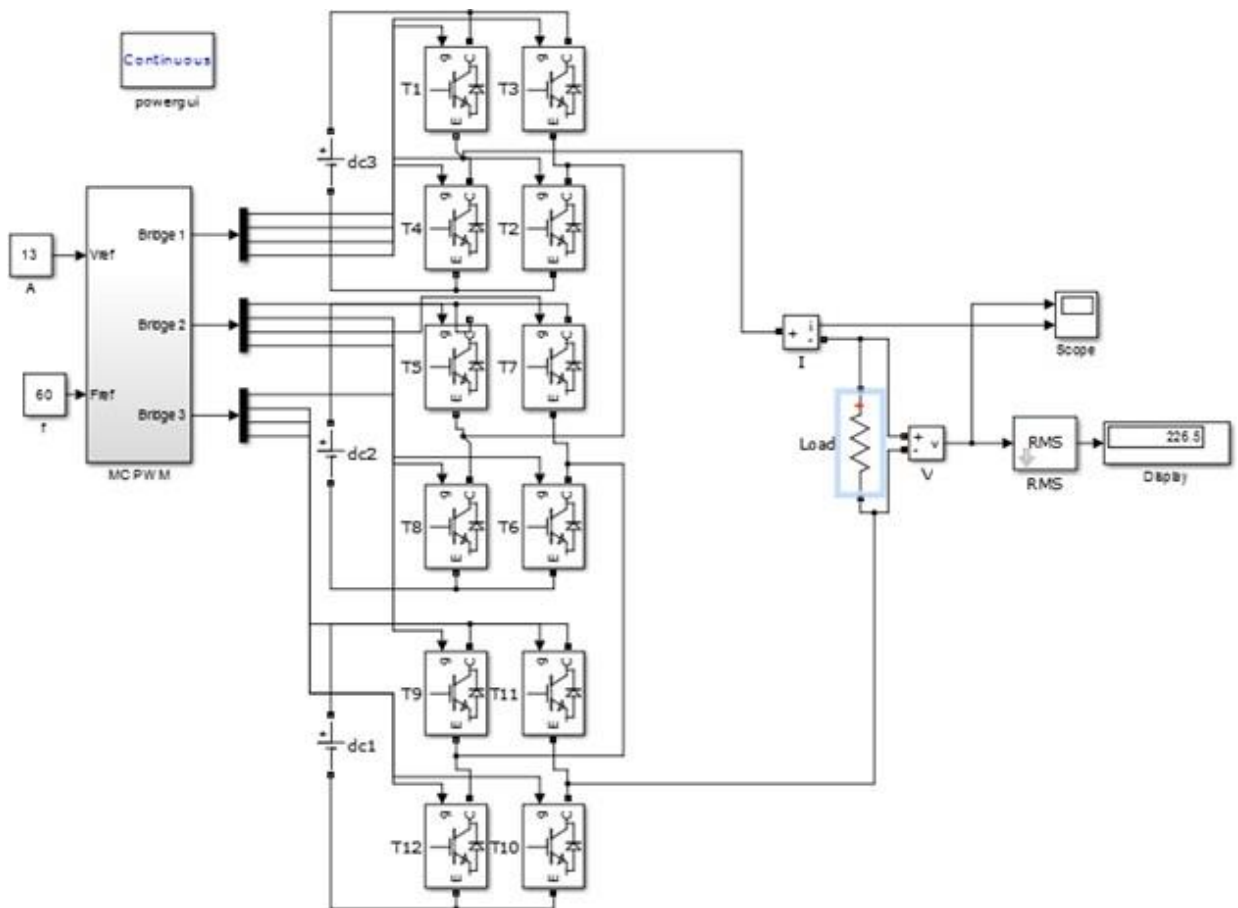
**Cordón:** Consiste de dos o más cables o alambres aislados y envueltos juntos, a veces en una segunda capa de plástico.

El ejemplo más común es el cordón dúplex que consiste de dos cables unidos y que se usa para fabricar extensiones o para la alimentación de aparatos eléctricos.

Otro ejemplo es el cordón de uso rudo que trae, dentro de un aislamiento plástico, tres cables aislados.



#### Anexo 4. Tipos de Conductores Eléctricos.



```

% PARTE I (preparación)
% En esta parte se borra la pantalla, cualquier otras funciones, figuras y
También se borran% variables. Se muestra el nombre de la Programm.
clc
limpiar todo
disp ('sinusoidal de ancho de pulso modulación de la señal de CA')
disp ('')
%
% PARTE II
% En esta parte se introducen las variables ya conocidas, el usuario es
% Solicita la introducción de las otras variables.
% Vrin es el valor eficaz de la tensión de alimentación de entrada en por unidad.
Vrin = 1;
% F es la frecuencia de la tensión de alimentación de entrada.
f = de entrada ('La frecuencia de la tensión de alimentación de entrada, f =');
% Z es la impedancia de carga en por unidad.
Z = 1;
% Ma es el índice de modulación
ma = input ('el índice de modulación, ma, (0 <ma <1), ma =');
% Phi es la carga de fase de ángulo
phi = input ('el ángulo de fase de la carga en grados =');
% Q es el número de pulsos por medio-período de la tensión de alimentación.
Q = input ('El número de impulsos por medio periodo =');
%

```

```

% PARTE II
% En esta parte se introducen las variables ya conocidas, el usuario es
% Solicita la introducción de las otras variables.
% Vrin es el valor eficaz de la tensión de alimentación de entrada en por unidad.
Vrin = 1;
% F es la frecuencia de la tensión de alimentación de entrada.
f = de entrada ('La frecuencia de la tensión de alimentación de entrada, f =');
% Z es la impedancia de carga en por unidad.
Z = 1;
% Ma es el índice de modulación
ma = input ('el índice de modulación, ma, (0 <ma <1), ma =');
% Phi es la carga de fase de ángulo
phi = input ('el ángulo de fase de la carga en grados =');
% Q es el número de pulsos por medio-período de la tensión de alimentación.
Q = input ('El número de impulsos por medio periodo =');
%

```

```

%
% PARTE IV
% Cálculo del número de impulsos por período, N

$$N = 2 * Q;$$

%
% PARTE V
% La construcción de la señal diente de sierra, Vt, la forma de onda de tensión de
entrada, Vin,
% De la forma de onda de la tensión de salida, Vout, y encontrar el principio (alfa)
% Y el extremo (beta) para cada uno de los impulsos de salida.
% En cada período de los dientes de sierra, hay un aumento y disminución de parte de
% Del diente de sierra, por lo tanto el período de la alimentación de entrada se divide
en
% En subperíodos 2N, k se utiliza como un contador de estos sub-periodos.
% Para fines de cálculo de cada uno de estos sub-periodos se divide en 50 puntos, es
decir, el
Período de suministro de insumos% se divide en 100N puntos.
%% J es un contador dentro del subperíodo
% I es el contador de tiempo generalizado

```

```

para k = 1: 2 * N
para j = 1: 50
% Encontrando el contador de tiempo generalizado

$$i = j + (k-1) * 50;$$

% De encontrar el paso de tiempo
en peso  $(i) = i * \pi / (N * 50);$ 
% Cálculo de la tensión de alimentación de entrada.

$$V_{in}(i) = \sqrt{2} * V_{rin} * \sin(wt(i));$$


$$ma1(i) = ma * \abs{\sin(wt(i))};$$

% Cálculo de la forma de onda de diente de sierra de la
Si  $\text{rem}(k, 2) == 0$ 

$$Vt(i) = 0,02 * j;$$

si  $\abs{Vt(i) - ma * \abs{\sin(wt(i))}} \leq 0.011$ 

$$m = j;$$


$$\text{beta}(\text{fix}(k / 2) + 1) = 3,6 * ((k-1) * 50 + m) / N;$$

más

$$j = j;$$

fin

más

$$Vt(i) = 1 - 0,02 * j;$$

si  $\abs{Vt(i) - ma * \abs{\sin(wt(i))}} < 0.011$ 

$$l = j;$$


$$\text{alfa}(\text{fix}(k / 2) + 1) = 3,6 * ((k-1) * 50 + l) / N;$$

más

$$j = j;$$

fin

fin
si  $Vt(i) > ma * \abs{\sin(wt(i))}$ 

$$Vout(i) = 0;$$

más

$$Vout(i) = Vin(i);$$

fin

```

```
Command Window

The RMS value of the supply current is

CSRMS =

    0.3498

Performance parameters are

THDVo =

    0.9844

THDIo =

    0.1178

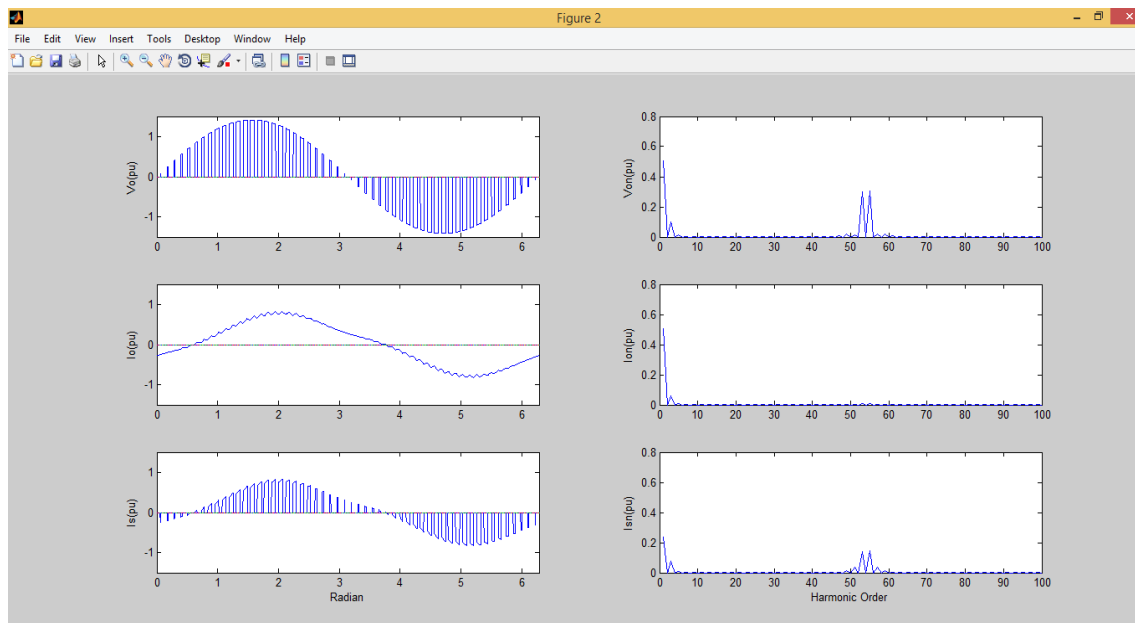
THDIS =

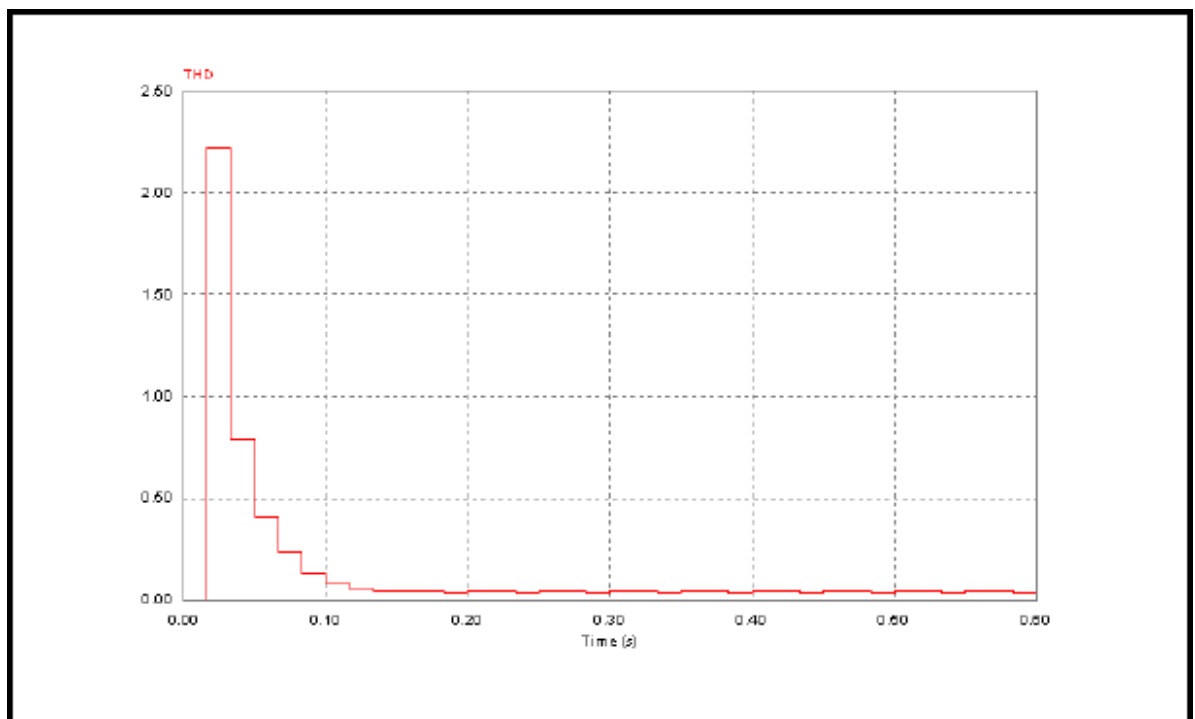
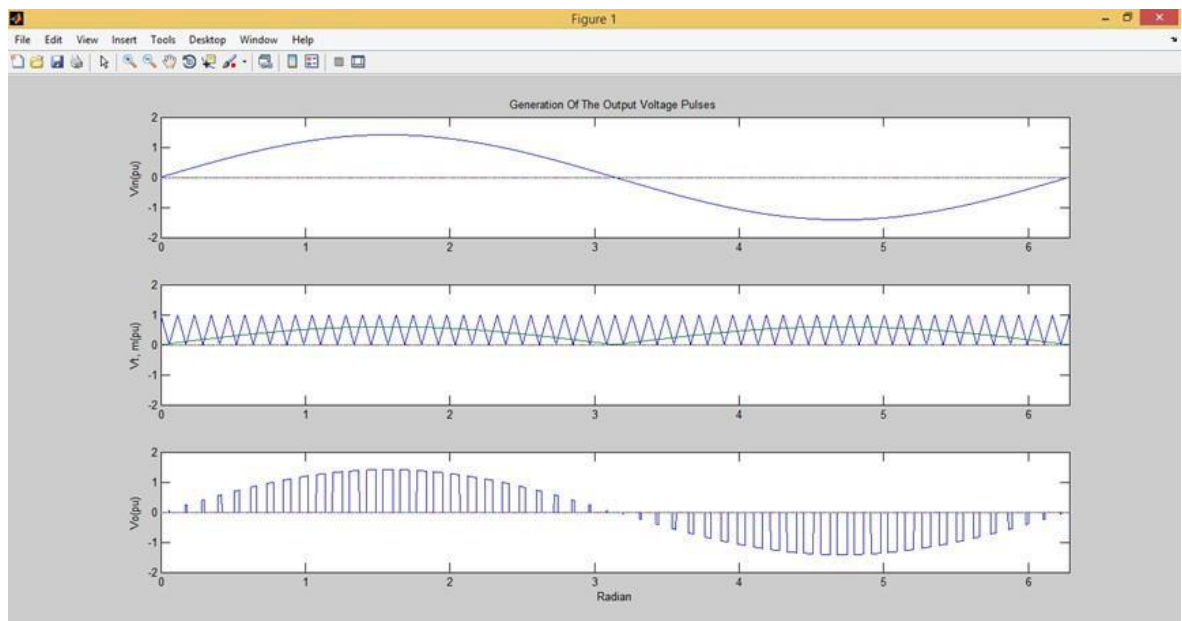
    1.0814

PF =

    0.2065

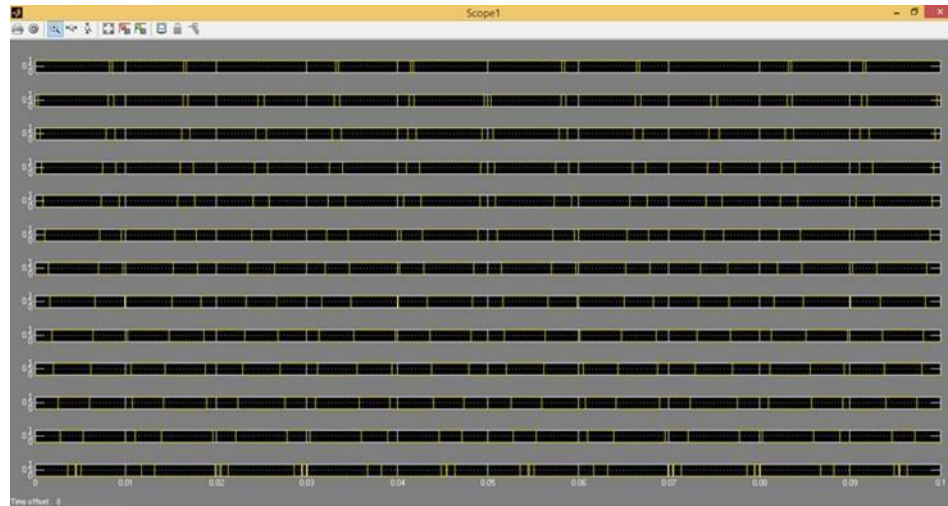
f_s >>
```





**Figura 5.** Programa Ejecutable en la Interfaz de MATLAB, para la Modulación PS-PWM para la Generación de Pulsos hacia los Puentes H y el Contenido de Armonico para esta Topología Multinivel.





**Anexo 6.** Seguimiento del procesador digital de señales DSP, en Simulink de MATLAB, así como tambien las señales portadoras que utiliza el modulador multinivel basado en la técnica PS-PWM.