

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ANÁLISIS DE CASOS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
INDUSTRIALES**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA ENERGÉTICA**

POR:

RODOLFO CESAR VELAZQUEZ DELGADO

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE 2004

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**

Los miembros del comité de tesis, recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Rodolfo César Velázquez Delgado sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA ENERGETICA
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA ELECTRICA**

Comité de Tesis:

Dr. Armando Llamas Terrés
ASESOR

M.C. Sergio Simental Angulo
SINODAL

M.C. Jorge A. De los Reyes Pérez
SINODAL

APROBADO

Dr. Federico Viramontes Brown
Director del Programa de Graduados en Ingeniería
Diciembre 2004

INDICE

INDICE	3
LISTA DE FIGURAS	5
ANTECEDENTES.....	6
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVO	9
HIPÓTESIS	9
MÉTODO	9
CAPITULO 1.....	10
TÉCNICAS PARA MINIMIZAR EL EFECTO DE REFLEJO DE ONDA EN LA COMBINACIÓN DRIVE-MOTOR	10
1.1 INTRODUCCION	10
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3 OBJETIVO.....	17
1.4 DESARROLLO	18
1.4.1 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RESISTENCIA PARALELO.....	23
1.4.2 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR SERIE.....	25
1.4.3 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ARREGLO RC.....	28
1.4.4 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ARREGLO RLC.	30
1.5 CONCLUSIONES	34

CAPITULO 2.....	35
IMPLEMENTACION DE SUPRESORES DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS EN EQUIPO ELECTRONICO DENTRO DE UNA CENTRAL ELECTRICA DE CICLO COMBINADO 247.5 MW.....	35
2.1 INTRODUCCION	35
2.1.1 SUPRESORES DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS.	36
2.1.2 TRANSITORIOS DE MODO COMÚN Y MODO DIFERENCIAL.	37
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	38
2.3 OBJETIVO.....	39
2.4 DESARROLLO	40
2.4.1 SIMULACIÓN EN MICROTRAN.	40
2.5 CONCLUSIONES.	45
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIAS	46
DEFINICIONES.....	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 TEMAS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	7
FIGURA 1. 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE OPERACIÓN DE UN DRIVE TÍPICO.....	11
FIGURA 1. 2 FORMA ONDA DE VOLTAJE CARACTERÍSTICA A LA SALIDA DEL DRIVE.....	11
FIGURA 1. 3 DIAGRAMA TÍPICO DE CONEXIÓN DRIVE-MOTOR A TRAVÉS DE UNA GRAN DISTANCIA.....	12
FIGURA 1. 4 PORCIÓN DIFERENCIAL DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.....	13
FIGURA 1. 5 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE EN TERMINALES DEL MOTOR.....	15
FIGURA 1. 6 DIAGRAMA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROTECCIÓN CONTRA SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS.....	17
FIGURA 1. 7 MOTOR ELÉCTRICO BAJO ESTUDIO.....	18
FIGURA 1. 8 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE EN OPERACIÓN TOMADA EN TERMINALES DEL DRIVE.....	19
FIGURA 1. 9 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE EN OPERACIÓN TOMADAS EN TERMINALES DEL MOTOR.....	20
FIGURA 1. 10 SEÑAL DE VOLTAJE EN TERMINALES DEL DRIVE Y VOLTAJE EN TERMINALES DEL MOTOR.....	21
FIGURA 1. 11 FRENTE DE ONDA TÍPICO GENERADO POR EL PWM.....	22
FIGURA 1. 12 DETALLE DE FORMA DE ONDA EN TERMINALES DEL MOTOR OBTENIDAS CON EL MODELO PROPUESTO.....	23
FIGURA 1. 13 COMPARACIÓN DE FORMAS DE ONDA VOLTAJE REFLEJADO Y VOLTAJE RESULTANTE.....	24
FIGURA 1. 14 VOLTAJE MEDIDO EN TERMINALES DEL MOTOR CON RECTOR SERIE.....	26
FIGURA 1. 15 REACTORES DEL MODELO KLR200BCB DE LA KLR SERIES DE TRANS-COIL, INC.....	27
FIGURA 1. 16 COMPARACIÓN DE FORMAS DE ONDA VOLTAJE REFLEJADO Y VOLTAJE RESULTANTE EN SIMULACIÓN.....	27
FIGURA 1. 17 ARREGLO DE RESISTENCIA Y CAPACITORES DEL MODELO KLR200BCB DE LA KLR SERIES DE TRANS-COIL.....	29
FIGURA 1. 18 COMPARACIÓN DE FORMAS DE ONDA DE VOLTAJE REFLEJADO Y VOLTAJE RESULTANTE.....	30
FIGURA 1. 19 FILTRO DE SEGUNDO ORDEN PROPUESTO EN TERMINALES DEL MOTOR.....	31
FIGURA 1. 20 FILTRO DE SEGUNDO ORDEN PROPUESTO EN TERMINALES DEL DRIVE.....	32
FIGURA 1. 21 COMPARACIÓN DE FORMAS DE ONDA VOLTAJE REFLEJADO Y VOLTAJE RESULTANTE EN SIMULACIÓN.....	33
FIGURA 1. 22 GRÁFICA DE VOLTAJE EN TERMINALES DEL MOTOR UNA VEZ INSTALADO EL FILTRO RLC.....	34
FIGURA 2 . 1 CARACTERÍSTICA I - V DE UN SUPRESOR ZENER BIPOLAR, DE UN MOV DE 150 VRMS Y DE UN SUPRESOR TIPO TUBO DE GAS.....	36
FIGURA 2 . 2 TRANSITORIOS DE MODO DIFERENCIAL Y DE MODO COMÚN.....	37
FIGURA 2 . 3 ALIMENTACIÓN DE CA, CARGADOR DE BATERÍAS Y ALIMENTACIÓN DE CD.....	38
FIGURA 2 . 4 SISTEMA DE CD FLOTADO.....	39
FIGURA 2 . 5 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE CONEXIONES SIMULADA EN MICROTRAN.....	41
FIGURA 2 . 6 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE DE CD OBTENIDO EN TERMINALES DEL CIRCUITO RECTIFICADOR, CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN.....	41
FIGURA 2 . 7 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE DE CD OBTENIDO EN TERMINALES DEL CIRCUITO RECTIFICADOR BAJO CONDICIONES DE FALLA.....	42
FIGURA 2 . 8 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE DE CD OBTENIDO EN TERMINALES DEL CIRCUITO RECTIFICADOR CON PROTECCIÓN DE SUPRESOR DE SOBREVOLTAJES IMPLEMENTADO.....	43
FIGURA 2 . 9 ESQUEMA DE PROTECCIÓN CONTRA SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS DE MODO COMÚN.....	44

ANTECEDENTES

La creciente demanda de energía eléctrica, así como la dependencia de equipo eléctrico tanto de control como de transformación en la industria, hacen necesario la implementación adecuada de métodos, modelos y técnicas necesarias para la correcta y eficiente utilización de la energía eléctrica, tanto por parte del suministrador de energía, como del consumidor y durante la interacción de los mismos.

En mayor o menor medida, todos los elementos de una red eléctrica poseen la indeseable característica de introducir distorsión en los circuitos de corriente alterna causando que las formas de onda de voltaje y corriente se desvíen de su forma original senoidal, a este problema se le puede sumar las condiciones anormales de operación que pueden suscitarse dentro del sistema, tales como tormentas, cortocircuitos, accidentes, malas conexiones, regulaciones de voltaje, corrientes inducidas, etc. De una forma general podemos decir que el concepto de calidad de la energía se encuentra relacionado con todos los fenómenos que causan cualquier tipo de desviación en estas formas de onda esperadas.

Ningún sistema eléctrico está exento de sufrir estos problemas y sus efectos secundarios en otros equipos que pueden poner en riesgo tanto la seguridad del personal como la continuidad de un proceso crítico, a este equipo se le conoce como carga crítica, por otro lado, el equipo que requiere un suministro de alta calidad para su correcto funcionamiento se le conoce como carga sensible, la cual es en su mayoría del tipo electrónico, pues este tipo de carga es más susceptible a los disturbios que el equipo electromecánico tradicional.

Calidad de la energía, es el término que describe una gran cantidad de temas a discutir dentro de cualquier sistema de energía eléctrica, el concepto de buena o mala calidad de energía depende del usuario final en términos de la funcionalidad y desempeño de equipo eléctrico, si el equipo tiene un buen desempeño, entonces el usuario puede decir que la calidad de la energía es buena, de lo contrario, si el equipo tiene un mal desempeño entonces el usuario puede decir que la calidad de la energía es mala. Dentro de estos límites, existen varios grados de calidad de la energía, dependiendo de la perspectiva del usuario y del equipo en cuestión.

El entender los principales temas eléctricos que son parte de la calidad de la energía es un buen punto de partida para resolver cualquier problema de calidad en la energía, el organigrama siguiente presenta una vista general de los principales temas dentro de la calidad de la energía.

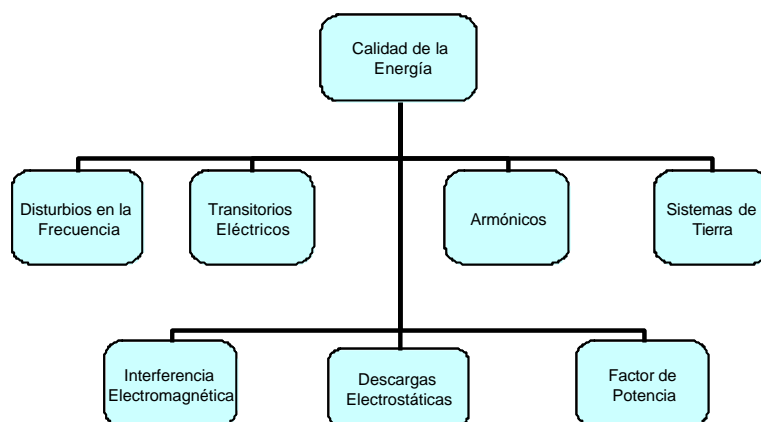


Figura 1 Temas de calidad de la energía.

Los *disturbios en la frecuencia* eléctrica, son fenómenos de baja frecuencia que resultan en bajovoltajes o sobrevoltajes, una de sus posibles causas se puede deber a fallas en la línea o en operaciones de switcheo del sistema eléctrico. Los *transitorios en el sistema* eléctrico se caracterizan por ser rápidos, de una corta duración y producen distorsiones como son las muescas en el voltaje, sobrevoltajes e impulsos, el mecanismo por el cual los transitorios se propagan a través de la red de un circuito eléctrico a otro y eventualmente se disipan, depende de los diversos factores que afectan las frecuencias del disturbio. Las *armónicas en el sistema* de potencia son fenómenos de baja frecuencia caracterizados por la distorsión de la onda, la cual introduce los componentes armónicos de la frecuencia. Las corrientes y voltajes armónicos tienen efectos indeseados tanto en la operación como en los componentes del sistema eléctrico, en algunos casos la interacción entre las armónicas así como los parámetros del sistema eléctrica (R-L-C) son causa de agravamiento severo del contenido armónico.

El tema de *sistemas de tierra* y puesta a tierra es uno de los mas importantes temas en el estudio de la calidad de la energía eléctrica, el aterrizar un sistema tiene varias razones, el principal es la seguridad del personal, el segundo es para proveer un camino de baja impedancia para la corriente de falla en caso de que esta ocurriese y permitir al dispositivo de protección que opere para el correcto aislamiento de la falla. La tercera razón, es para crear una referencia equipotencial de voltaje para los diversos equipos electrónicos que se pueden conectar al sistema.

La *interferencia electromagnética* se refiere a la interacción de campos eléctricos y magnéticos sobre los dispositivos electrónicos, generalmente este es un fenómeno de alta frecuencia, cabe hacer mención que este es un fenómeno diferente al de los disturbios en la frecuencia eléctrica anteriormente descrito.

Los fenómenos de *descargas electrostáticas*, son fenómenos de alta ocurrencia en la vida diaria de todas las personas, por ejemplo cuando se toca un refrigerador o la puerta del automóvil, pero a altos niveles, las descargas electrostáticas son dañinas al equipo electrónico, causando un malfuncionamiento y en ocasiones daño físico al equipo.

El tema de *factor de potencia* es un indicador de la eficiencia con que se consume la energía eléctrica, en algunos casos un bajo factor de potencia es el responsable de daño a equipo debido a sobrecargas en el mismo. En su esencia el tema de factor de potencia tiene tanto implicaciones económicas como en la operación del sistema eléctrico, el entender como corregir un bajo factor de potencia es otro de los factores que determinan una buena operación de un sistema eléctrico.

En la actualidad existen asociaciones tanto internacionales como nacionales que tienen como finalidad el estudio, publicación y recomendación de prácticas y métodos orientados en la prevención y corrección de dichos disturbios eléctricos, sin embargo se puede decir que cada sistema industrial cuenta con características únicas de operación, y es esta característica la que hace necesario un estudio individual para cada caso de calidad de la energía.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los principales disturbios ocasionados por la operación anormal del sistema eléctrico, son actualmente de gran importancia, siendo que algunos de estos disturbios son los que se presentan de manera más regular en el sistema debido a las características de operación de los mismos, sin embargo, no se pueden menospreciar ninguno de los otros efectos dado que no todos los sistemas operan con los mismos equipos ni en el mismo intervalo de tiempo y nivel de tensión.

Dentro de la industria existe una gran cantidad de problemas relacionados con la calidad de la energía, los cuales tienen grandes costos operativos y económicos principalmente, se hace entonces necesario el establecer métodos y técnicas de solución a dichos problemas, basados en un análisis confiable y justificado del sistema bajo estudio.

JUSTIFICACIÓN

Existe una gran cantidad de casos reales, en los cuales la calidad de la energía juega un papel importante en la facturación y desempeño del sistema eléctrico, muchos de estos casos han sido estudiados e interpretados incorrectamente debidos principalmente en gran medida al desconocimiento de fundamentos básicos en la operación y administración del equipo eléctrico.

Más que una obligación dada por las condiciones imperantes del mundo actual, la aplicación de nuevas metodologías para la solución de problemas en la calidad de la energía es cada vez más frecuente haciendo de este un tema de gran importancia y estudio hoy día.

Sin embargo, cada sistema eléctrico tiene sus características diferentes de todas las demás, así como el equipo con el que opera, las condiciones de operación, y su objetivo, teniendo en cuenta lo anterior, es necesario conocer la correcta aplicación de métodos y técnicas de solución adecuadas a cada caso

El tema de *factor de potencia* es un indicador de la eficiencia con que se consume la energía eléctrica, en algunos casos un bajo factor de potencia es el responsable de daño a equipo debido a sobrecargas en el mismo. En su esencia el tema de factor de potencia tiene tanto implicaciones económicas como en la operación del sistema eléctrico, el entender como corregir un bajo factor de potencia es otro de los factores que determinan una buena operación de un sistema eléctrico.

En la actualidad existen asociaciones tanto internacionales como nacionales que tienen como finalidad el estudio, publicación y recomendación de prácticas y métodos orientados en la prevención y corrección de dichos disturbios eléctricos, sin embargo se puede decir que cada sistema industrial cuenta con características únicas de operación, y es esta característica la que hace necesario un estudio individual para cada caso de calidad de la energía.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los principales disturbios ocasionados por la operación anormal del sistema eléctrico, son actualmente de gran importancia, siendo que algunos de estos disturbios son los que se presentan de manera más regular en el sistema debido a las características de operación de los mismos, sin embargo, no se pueden menospreciar ninguno de los otros efectos dado que no todos los sistemas operan con los mismos equipos ni en el mismo intervalo de tiempo y nivel de tensión.

Dentro de la industria existe una gran cantidad de problemas relacionados con la calidad de la energía, los cuales tienen grandes costos operativos y económicos principalmente, se hace entonces necesario el establecer métodos y técnicas de solución a dichos problemas, basados en un análisis confiable y justificado del sistema bajo estudio.

JUSTIFICACIÓN

Existe una gran cantidad de casos reales, en los cuales la calidad de la energía juega un papel importante en la facturación y desempeño del sistema eléctrico, muchos de estos casos han sido estudiados e interpretados incorrectamente debidos principalmente en gran medida al desconocimiento de fundamentos básicos en la operación y administración del equipo eléctrico.

Más que una obligación dada por las condiciones imperantes del mundo actual, la aplicación de nuevas metodologías para la solución de problemas en la calidad de la energía es cada vez más frecuente haciendo de este un tema de gran importancia y estudio hoy día.

Sin embargo, cada sistema eléctrico tiene sus características diferentes de todas las demás, así como el equipo con el que opera, las condiciones de operación, y su objetivo, teniendo en cuenta lo anterior, es necesario conocer la correcta aplicación de métodos y técnicas de solución adecuadas a cada caso

El tema de *factor de potencia* es un indicador de la eficiencia con que se consume la energía eléctrica, en algunos casos un bajo factor de potencia es el responsable de daño a equipo debido a sobrecargas en el mismo. En su esencia el tema de factor de potencia tiene tanto implicaciones económicas como en la operación del sistema eléctrico, el entender como corregir un bajo factor de potencia es otro de los factores que determinan una buena operación de un sistema eléctrico.

En la actualidad existen asociaciones tanto internacionales como nacionales que tienen como finalidad el estudio, publicación y recomendación de prácticas y métodos orientados en la prevención y corrección de dichos disturbios eléctricos, sin embargo se puede decir que cada sistema industrial cuenta con características únicas de operación, y es esta característica la que hace necesario un estudio individual para cada caso de calidad de la energía.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los principales disturbios ocasionados por la operación anormal del sistema eléctrico, son actualmente de gran importancia, siendo que algunos de estos disturbios son los que se presentan de manera más regular en el sistema debido a las características de operación de los mismos, sin embargo, no se pueden menospreciar ninguno de los otros efectos dado que no todos los sistemas operan con los mismos equipos ni en el mismo intervalo de tiempo y nivel de tensión.

Dentro de la industria existe una gran cantidad de problemas relacionados con la calidad de la energía, los cuales tienen grandes costos operativos y económicos principalmente, se hace entonces necesario el establecer métodos y técnicas de solución a dichos problemas, basados en un análisis confiable y justificado del sistema bajo estudio.

JUSTIFICACIÓN

Existe una gran cantidad de casos reales, en los cuales la calidad de la energía juega un papel importante en la facturación y desempeño del sistema eléctrico, muchos de estos casos han sido estudiados e interpretados incorrectamente debidos principalmente en gran medida al desconocimiento de fundamentos básicos en la operación y administración del equipo eléctrico.

Más que una obligación dada por las condiciones imperantes del mundo actual, la aplicación de nuevas metodologías para la solución de problemas en la calidad de la energía es cada vez más frecuente haciendo de este un tema de gran importancia y estudio hoy día.

Sin embargo, cada sistema eléctrico tiene sus características diferentes de todas las demás, así como el equipo con el que opera, las condiciones de operación, y su objetivo, teniendo en cuenta lo anterior, es necesario conocer la correcta aplicación de métodos y técnicas de solución adecuadas a cada caso

OBJETIVO

A través del análisis de casos de estudio de calidad de la energía en sistemas industriales se obtendrán parámetros, modelos y métodos de solución a algunos problemas de calidad de la energía eléctrica presentes en la industria.

La obtención de variables tales como eficiencia, nivel de operación, tendencias de voltaje, consumo del equipo, pérdidas, etc. Son unos factores indispensables en la comparación de métodos, modelos, validación y resultados de los mismos.

Para la comparación de métodos, modelos y factibilidad de las mismas soluciones, se hace necesario realizar estudios adicionales con diferente enfoque tales como son: capacidad recuperada, ahorro-inversión, niveles de carga del sistema, eficiencia, etc. Finalizando cada proyecto con su respectivo informe de evaluación y posible solución

HIPÓTESIS

Establecer una metodología de clasificación de casos de calidad de la energía, para obtener una rápida solución efectiva del mismo.

Demostrar la correcta y efectiva aplicación de modelos eléctricos propuestos para la solución de casos de calidad de energía en sistemas industriales.

Brindar las bases necesarias para una correcta selección de la solución del caso de calidad de la energía, analizado la parte tanto energética como financiera, así como factibilidad de implementación del mismo.

MÉTODO

Debido a la gran variedad de problemas de calidad de energía que se pueden encontrar en sistema eléctrico, el presente documento se enfoca principalmente ha algunos de los disturbios más importantes y comunes en la industria eléctrica.

Para la correcta solución y enfoque de cada uno de estos problemas de calidad de energía es de vital importancia la obtención de datos energéticos, modelos y métodos típicos de solución, para lograrlo existen aparatos de medición especialmente diseñados con el propósito de obtener dichas variables de manera numérica y en ocasiones de forma grafica. A demás de estas herramientas se pretende modelar el sistema bajo estudio en plataformas computacionales tales como el EMTP-MICROTRAN (Transients Analysis Program for Power and Power Electronic Circuits) principalmente.

OBJETIVO

A través del análisis de casos de estudio de calidad de la energía en sistemas industriales se obtendrán parámetros, modelos y métodos de solución a algunos problemas de calidad de la energía eléctrica presentes en la industria.

La obtención de variables tales como eficiencia, nivel de operación, tendencias de voltaje, consumo del equipo, pérdidas, etc. Son unos factores indispensables en la comparación de métodos, modelos, validación y resultados de los mismos.

Para la comparación de métodos, modelos y factibilidad de las mismas soluciones, se hace necesario realizar estudios adicionales con diferente enfoque tales como son: capacidad recuperada, ahorro-inversión, niveles de carga del sistema, eficiencia, etc. Finalizando cada proyecto con su respectivo informe de evaluación y posible solución

HIPÓTESIS

Establecer una metodología de clasificación de casos de calidad de la energía, para obtener una rápida solución efectiva del mismo.

Demostrar la correcta y efectiva aplicación de modelos eléctricos propuestos para la solución de casos de calidad de energía en sistemas industriales.

Brindar las bases necesarias para una correcta selección de la solución del caso de calidad de la energía, analizado la parte tanto energética como financiera, así como factibilidad de implementación del mismo.

MÉTODO

Debido a la gran variedad de problemas de calidad de energía que se pueden encontrar en sistema eléctrico, el presente documento se enfoca principalmente ha algunos de los disturbios más importantes y comunes en la industria eléctrica.

Para la correcta solución y enfoque de cada uno de estos problemas de calidad de energía es de vital importancia la obtención de datos energéticos, modelos y métodos típicos de solución, para lograrlo existen aparatos de medición especialmente diseñados con el propósito de obtener dichas variables de manera numérica y en ocasiones de forma grafica. A demás de estas herramientas se pretende modelar el sistema bajo estudio en plataformas computacionales tales como el EMTP-MICROTRAN (Transients Analysis Program for Power and Power Electronic Circuits) principalmente.

OBJETIVO

A través del análisis de casos de estudio de calidad de la energía en sistemas industriales se obtendrán parámetros, modelos y métodos de solución a algunos problemas de calidad de la energía eléctrica presentes en la industria.

La obtención de variables tales como eficiencia, nivel de operación, tendencias de voltaje, consumo del equipo, pérdidas, etc. Son unos factores indispensables en la comparación de métodos, modelos, validación y resultados de los mismos.

Para la comparación de métodos, modelos y factibilidad de las mismas soluciones, se hace necesario realizar estudios adicionales con diferente enfoque tales como son: capacidad recuperada, ahorro-inversión, niveles de carga del sistema, eficiencia, etc. Finalizando cada proyecto con su respectivo informe de evaluación y posible solución

HIPÓTESIS

Establecer una metodología de clasificación de casos de calidad de la energía, para obtener una rápida solución efectiva del mismo.

Demostrar la correcta y efectiva aplicación de modelos eléctricos propuestos para la solución de casos de calidad de energía en sistemas industriales.

Brindar las bases necesarias para una correcta selección de la solución del caso de calidad de la energía, analizado la parte tanto energética como financiera, así como factibilidad de implementación del mismo.

MÉTODO

Debido a la gran variedad de problemas de calidad de energía que se pueden encontrar en sistema eléctrico, el presente documento se enfoca principalmente ha algunos de los disturbios más importantes y comunes en la industria eléctrica.

Para la correcta solución y enfoque de cada uno de estos problemas de calidad de energía es de vital importancia la obtención de datos energéticos, modelos y métodos típicos de solución, para lograrlo existen aparatos de medición especialmente diseñados con el propósito de obtener dichas variables de manera numérica y en ocasiones de forma grafica. A demás de estas herramientas se pretende modelar el sistema bajo estudio en plataformas computacionales tales como el EMTP-MICROTRAN (Transients Analysis Program for Power and Power Electronic Circuits) principalmente.

CAPITULO 1

TÉCNICAS PARA MINIMIZAR EL EFECTO DE REFLEJO DE ONDA EN LA COMBINACIÓN DRIVE-MOTOR

1.1 INTRODUCCION

Un controlador ajustable de frecuencia (drive) es un sistema de control de velocidad, torque, potencia y dirección de un motor de CA o de CD, de manera comercial estos dispositivos se utilizan ampliamente como manejadores de bombas y ventiladores, especialmente en procesos donde la carga del motor es variable, ampliando su aplicación hasta en casi todos los campos dentro de la industria.

Para su correcta aplicación, el usuario debe ser capaz de entender la naturaleza del proceso en términos de velocidad, características de la carga y requerimientos del proceso con la finalidad de lograr una correcta selección tanto del motor como del drive.

Además de las cualidades ya mencionadas, existen muchas ventajas en la aplicación de estos dispositivos de control cuando son apropiadamente seleccionados, a continuación se enuncia una lista de las mismas:

- *Control de arranque.* Limitando la corriente de arranque, reducción de los disturbios en la línea al arranque, baja demanda de potencia al arranque.
- *Control de aceleración.* Arranque suave, aceleración ajustable en base al tiempo o carga y reducción del tamaño del motor por carga de inercia de aceleración.
- *Control de velocidad durante la operación.* Permite la optimización del proceso, cambios en el proceso, ahorro de energía, permite inicio del proceso a velocidad reducida y permite control remoto de velocidad desde una computadora o su controlador.
- *Límite máximo de ajuste de torque.* Protege al motor de daño y también al proceso mismo o producto.
- *Frenado controlado.* Permite un frenado suave, frenado cronometrado y frenado regenerativo que es mucho mejor que el típico frenado inverso.

Un drive controla la velocidad de un motor a través de la manipulación de la frecuencia eléctrica suministrada, con el fin de proveer al motor el voltaje y frecuencia requeridos, también se encarga de regular el voltaje de salida al motor de manera proporcional a dicha frecuencia, en la Figura 1. 1 se muestra un diagrama esquemático de los diversos elementos que pueden conformar un drive.

Como se puede observar, el drive consta esencialmente de un circuito rectificador y de un inversor, la función del inversor es cambiar un voltaje de entrada de CD a un voltaje simétrico de salida en CA, con la magnitud y frecuencia deseadas.

En la Figura 1. 2 se muestran las formas onda de voltaje característica que genera el inversor, los rangos de frecuencia de operación de los drives dependen en gran medida de los estándares utilizados por el fabricante, los cuales típicamente pueden llegar hasta el orden de kHz.

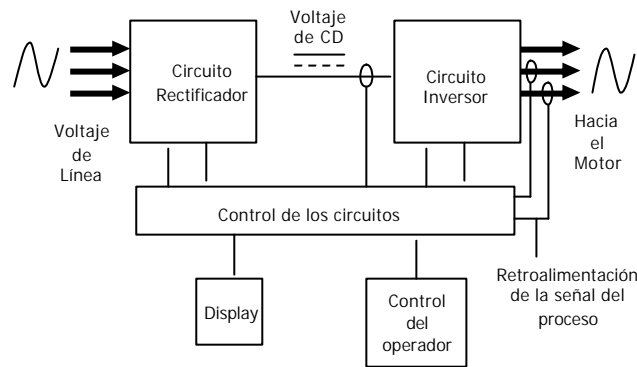


Figura 1. 1 Diagrama de bloques de operación de un drive típico.

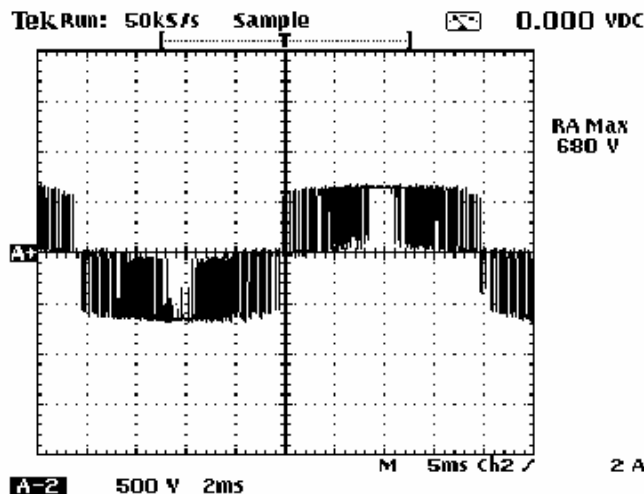


Figura 1. 2 Forma onda de voltaje característica a la salida del drive.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Muy comúnmente, los drives utilizan el método de modulación de ancho de banda (PWM) para controlar la forma de onda de suministro de voltaje al motor, este método permite la manipulación tanto de frecuencia como de voltaje a través de un circuito inversor, el cual típicamente utiliza transistores del tipo IGBT (Insulated Gate Base Transistor) los cuales se caracterizan por sus altas velocidades de conmutación. Las frecuencias típicas de operación de estos dispositivos semiconductores se encuentran en el orden de unos cuantos kHz.

Esta misma propiedad de alta velocidad de conmutación resulta en un alto dV/dt , el cual se define como la tasa de aumento de voltaje en proporción al tiempo, el cual se puede encontrar en el orden de 600 V en menos de $0.1\mu s$, es esta misma característica la causante de sobrevoltajes transitorios en terminales del motor cuando existe una distancia considerable entre el drive y el motor. Dicha condición se puede apreciar en la Figura 1. 3.

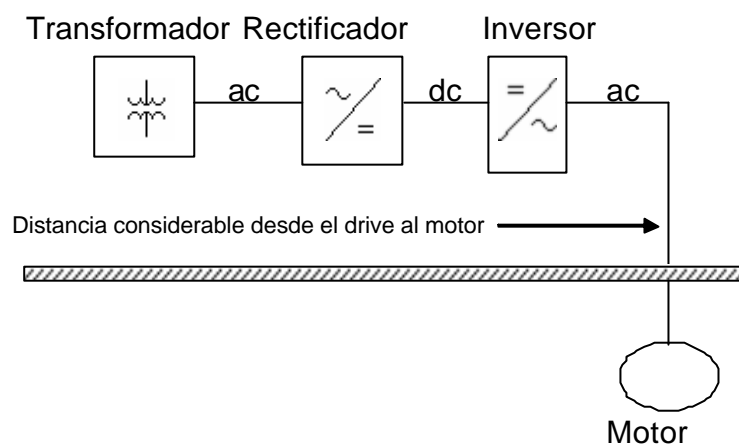


Figura 1. 3 Diagrama típico de conexión drive-motor a través de una gran distancia

Este fenómeno físico puede ser explicado a través de la teoría de ondas viajeras, [1] representando lo largo del cable como una línea de transmisión, y el inversor como una fuente ideal de voltaje tipo escalón.

El representar la longitud del cable como una línea de transmisión, implica el suponer que la línea de transmisión, esta formada por parámetros distribuidos de inductancia y capacitancia, tal y como lo muestra la Figura 1. 4

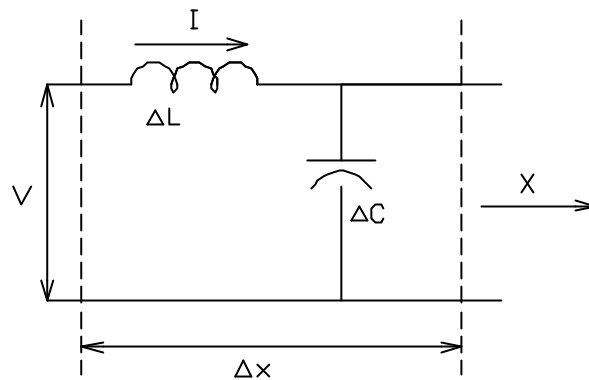


Figura 1.4 Porción diferencial de una línea de Transmisión.

Si la línea tiene una inductancia L en Henrios por metro, y una inductancia C en Faradios por metro, entonces un elemento diferencial de longitud Δx tendrá una inductancia $L\Delta x$ y $C\Delta x$ como se muestra en la figura anterior, así pues a partir de este hecho se pueden deducir las ecuaciones de onda en la línea de transmisión, dichas ecuaciones se muestran a continuación.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

El físico y matemático D'Alembert demostró que la solución general de estas ecuaciones esta dada por:

$$I = f\left[x \mp \frac{t}{\sqrt{LC}}\right] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$V = \frac{L}{\sqrt{LC}} f\left[x \mp \frac{t}{\sqrt{LC}}\right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Si se considera que la velocidad de la onda esta dada por $(LC)^{-1/2}$ ambas ecuaciones pueden escribirse de la siguiente manera:

$$I(x, t) = f_1(x - ut) + f_2(x + ut) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V(x, t) = Zof_1(x - ut) - Zof_2(x + ut) \quad \text{Ecuación 6}$$

Comparando las ecuaciones 5 y 6, se nota una proporcionalidad directa entre el voltaje y la corriente, dicha factor de proporcionalidad es la impedancia característica Z_0 .

Cuando una onda viajera llega a una discontinuidad en la línea, donde la impedancia característica de la línea cambia, algunos ajustes deben ocurrir si no se desea que esta proporcionalidad sea violada, estos ajustes tienen como resultado dos nuevas formas de onda, la onda reflejada y la onda que penetra a través de la discontinuidad (refractada), las amplitudes de las ondas reflejadas y refractadas son tales que la proporción de voltaje a corriente se conserva en cada una de ellas, así pues, las constantes de proporción para los voltajes y corrientes a través de una discontinuidad en la línea son continuos para si mismos y la ley de la conservación de la energía se cumple.

En la teoría de líneas de transmisión, existen tres posibles casos o condiciones en las que puede terminar la línea, un corto circuito, un circuito abierto y una impedancia, analizaremos cada uno de los casos anteriores.

- Si la línea termina en corto circuito, el voltaje reflejado al final del cable será igual en magnitud pero con el signo negativo resultando en un voltaje cero en la terminal.
- Si la línea termina en circuito abierto, el voltaje reflejado al final del cable será igual en magnitud con el mismo signo, resultando en dos veces la magnitud del voltaje incidente en la terminal.
- Si la línea termina en una impedancia que es igual a la impedancia característica de la línea el voltaje incidente no se reflejara, y un voltaje refractado igual en magnitud al voltaje incidente será el resultado, cuando la impedancia es diferente a la impedancia característica de la línea, tanto el voltaje reflejado como el voltaje refractado se verán afectados por su constante de reflexión y refracción respectivamente.

Los coeficientes de reflexión y refracción pueden expresarse de la siguiente manera:

$$\text{coeficiente de reflexión} = r_r = \frac{Z_b - Z_a}{Z_b + Z_a} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\text{coeficiente de refracción} = r_f = \frac{2Z_b}{Z_b + Z_a} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde Z_b es la nueva impedancia en la línea o la impedancia de la carga, y Z_a es la impedancia característica de la línea que se encuentra definida por $(LC)^{1/2}$, para nuestro estudio, Z_b es la impedancia del motor, la cual es mucho mas grande que la impedancia de la línea, teniendo como resultado voltajes reflejados en las terminales del motor.

La onda de voltaje reflejada es función del aumento de voltaje en el tiempo (dV/dt) de la señal generada por el driver, así mismo también es función de la longitud del cable y de la impedancia del mismo, si el dV/dt del pulso es mas grande que la mitad del tiempo en que viaja la onda desde el inversor al motor, entonces ocurrirá el fenómeno de reflexión.

La Figura 1. 5 muestra los sobrevoltajes transitorios que se pueden experimentar en terminales del motor, su magnitud y ocurrencia puede derivar en una la falla del aislamiento térmico del motor, y como consecuencia en un prematuro reemplazo o reparación del mismo.

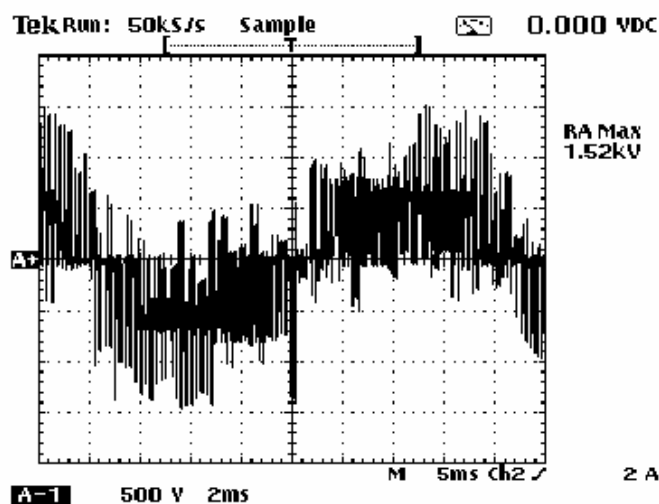


Figura 1. 5 Forma de onda de voltaje en terminales del motor.

La distancia crítica del cable a la cual el reflejo de voltaje no ocurre, se encuentra determinada por las velocidades de propagación de onda v y el dV/dt de la señal del PWM del drive (S), entonces la distancia que viaja el frente de la onda durante el dV/dt será $v*S$, entonces si el motor se encuentra posicionado exactamente donde la onda incidente ha alcanzado el 50% de su valor total y el coeficiente de reflexión es 1.0 entonces la suma de la onda refractada e incidente serán el 100% del valor de la onda incidente. Cualquier distancia mayor que esta distancia crítica tendrá como resultado un voltaje mayor del 1.0 por unidad. La ecuación que define la distancia crítica máxima se muestra a continuación:

$$D_{Crítica} = \frac{v * S}{2}$$

Ecuación 9

La velocidad de propagación de la onda sobre el conductor depende de su inductancia y capacitancia propia por unidad de longitud que se encuentra definida por $(LC)^{1/2}$.

La mayoría de los fabricantes de drives recomiendan una distancia máxima de cableado entre su equipo y el motor, sin embargo muchas veces esta recomendación no puede ser cumplida, debido a que existen aplicaciones donde el motor tiene que estar en condiciones ambientales muy adversas para el drive, o situado en lugares poco accesibles que facilitarían la implementación de su control, todas estas características hacen que sea prácticamente imposible colocar el drive cerca del motor, lo que a su vez hace que este fenómeno de reflejo de onda sea típico en muchas instalaciones industriales.

1.3 OBJETIVO

Como respuesta ante esta posible situación, se propone la implementación de varias técnicas de protección para lograr la mitigación de estos sobrevoltajes.

La Figura 1. 6 ilustra el diagrama de conexión de las diferentes técnicas de protección propuestas. A continuación se enlistan las técnicas analizadas:

- Implementación paralelo de una resistencia en terminales del motor igual a la impedancia característica de la línea.
- Implementación de un reactor serie.
- Implementación de un filtro RC de primer orden.
- Implementación del filtro tipo RLC modelo KLR200BCB de la marca Transcoil.

Como resultado del análisis de dichas técnicas se obtendrá una comparación de las mismas en términos de eficiencia energética, gráficas de desempeño y grado de mitigación del sobrevoltaje.

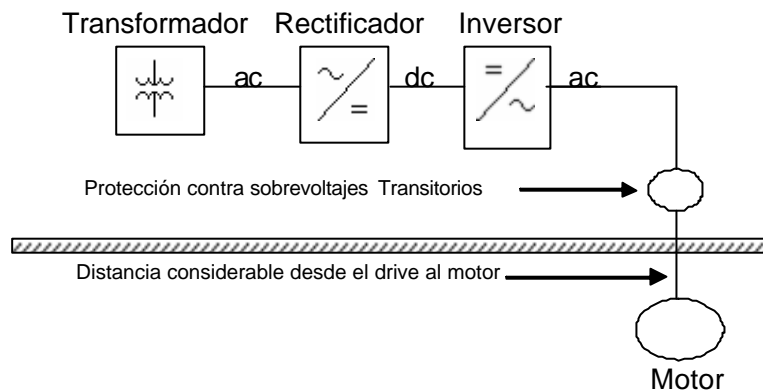


Figura 1. 6 Diagrama de la implementación de la protección contra sobrevoltajes transitorios.

1.4 DESARROLLO

Como parte de la metodología para la solución de este caso, se han tomado los datos nominales y de operación de los elementos eléctricos involucrados en la combinación drive motor, teniendo las siguientes características: (ver Figura 1. 7).

Características del motor:

Marca:	US Motors	F.S.: 1.15	Amp. plena carga: 185 A
Pot. Nom.:	150 hp	Diseño: B	
RPM:	1190	Código: G	
Eficiencia:	94.5 %	Voltaje: 460	



Figura 1. 7 Motor eléctrico bajo estudio.

El variador de velocidad:

Marca: Telemecanique
Frecuencia de Operación: 5kHz

Datos del cable:

Marca: Viakon
Calibre: 1/0
Longitud: 65 mts.

Se ha realizado la adquisición de muestras de voltaje y corriente en terminales del drive y en terminales del motor, en la Figura 1. 8 se encuentra la forma de onda de voltaje obtenida en terminales del drive, dichas muestras se adquirieron a través del Tecktronics Tekscope THS710

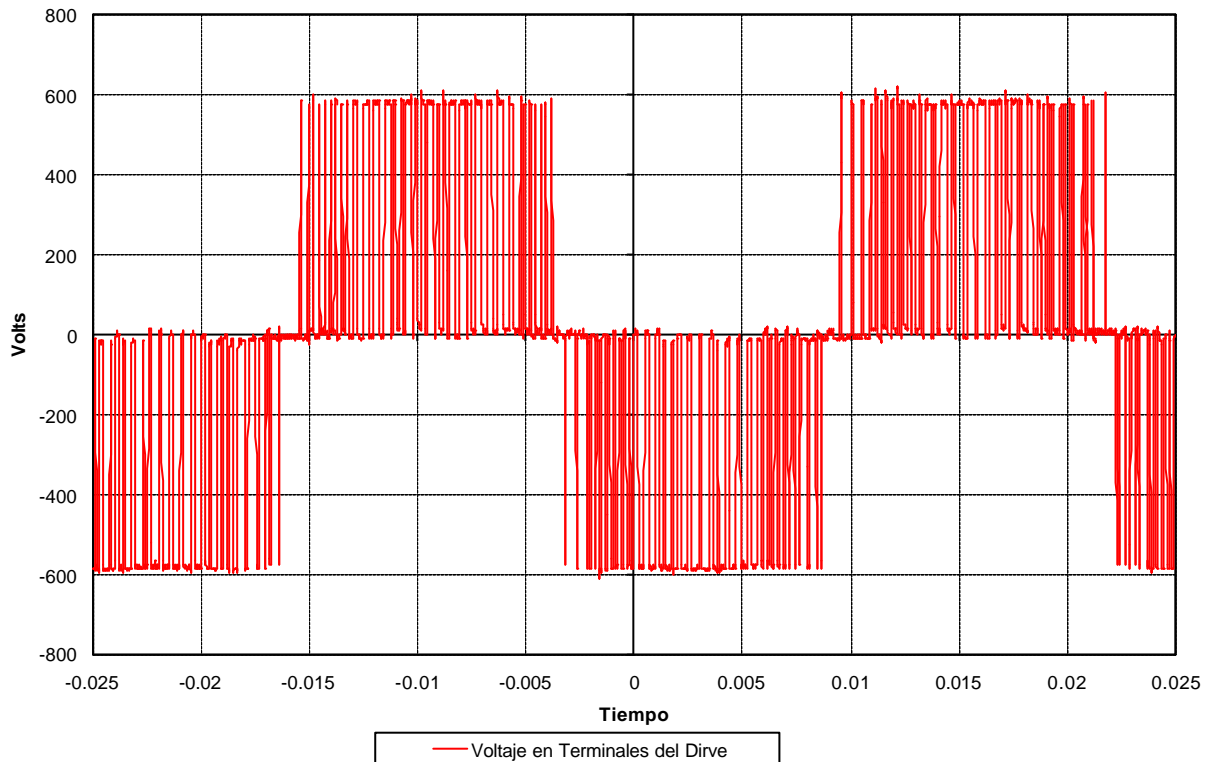


Figura 1. 8 Forma de onda de Voltaje en operación tomada en terminales del drive.

En la Figura 1. 8 se pueden observar las características de la forma de onda, además se observa una forma de onda de voltaje casi sin distorsión, esta es la manera ideal que se esperaría en terminales del motor, como se ha explicado anteriormente, esto no sucede así, veamos la Figura 1. 9, donde se puede visualizar de manera muy clara y explícita los efectos de una diferencia de impedancias en ambas terminales, causadas por la gran distancia existente entre el drive y el motor.

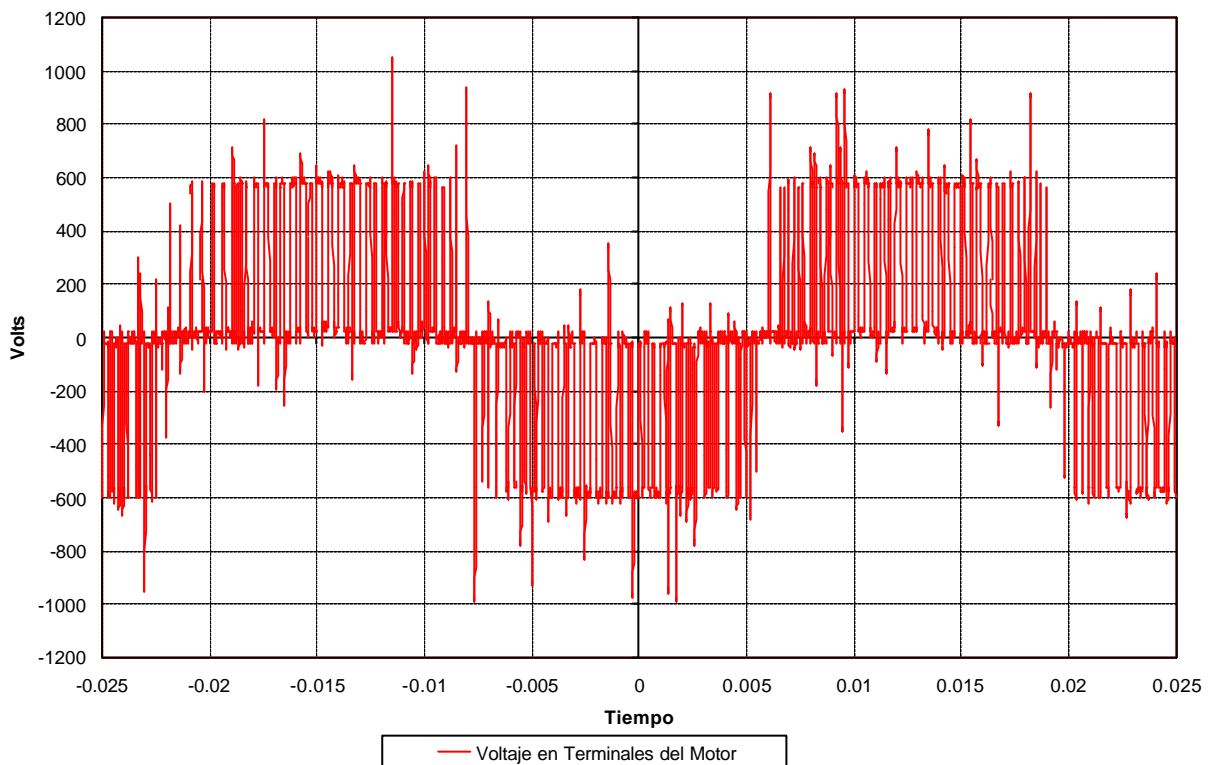


Figura 1.9 Forma de onda de Voltaje en operación tomadas en terminales del motor.

Las formas de onda de la Figura 1. 9, han sido tomadas de igual manera con el Tecktronics Tekscope THS710. Así mismo, se puede observar que la magnitud del voltaje alcanza hasta 1040V de manera repetitiva, esto es como si el aislamiento del motor estuviera en una constante prueba de voltaje al impulso, las consecuencias son devastadoras para el aislamiento del motor, causando su falla prematura y la necesidad de un rápido reemplazo.

Para evaluar la eficiencia de los métodos propuestos de mitigación de sobrevoltajes se ha desarrollado un modelo computacional en la plataforma del EMTP-MICROTRAN (Transients Analysis Program for Power and Power Electronic Circuits). El cual engloba de manera general las características eléctricas básicas de nuestro caso.

Este modelo se ha desarrollado en base a los siguientes parámetros, se ha considerado un motor de 100 Hp, voltaje de operación 600V, para el caso de la forma de onda, se ha tomado una porción de las muestras obtenidas con el Tecktronics Tekscope THS710 en terminales del drive, y la frecuencia de operación del drive es de 5 kHz, la distancia entre el drive y el motor (distancia del cableado) es de 100 ft, la impedancia característica del cable es 93.75 Ω [2] y la del motor es de 375 Ω [8].

Se ha introducido la señal del PWM al MICROTRAN bajo la modalidad señal de voltaje definida por el usuario, cabe hacer la mención que al MICROTRAN no le es posible leer una forma de onda desde un archivo exterior, y solamente acepta una forma de onda genera por el usuario con un limite menor de 300 puntos, tal y como se muestra en la Figura 1. 10. En esta misma figura se puede observar la magnitud del voltaje reflejado en terminales del motor, que es la causante de la falla en el aislamiento del mismo.

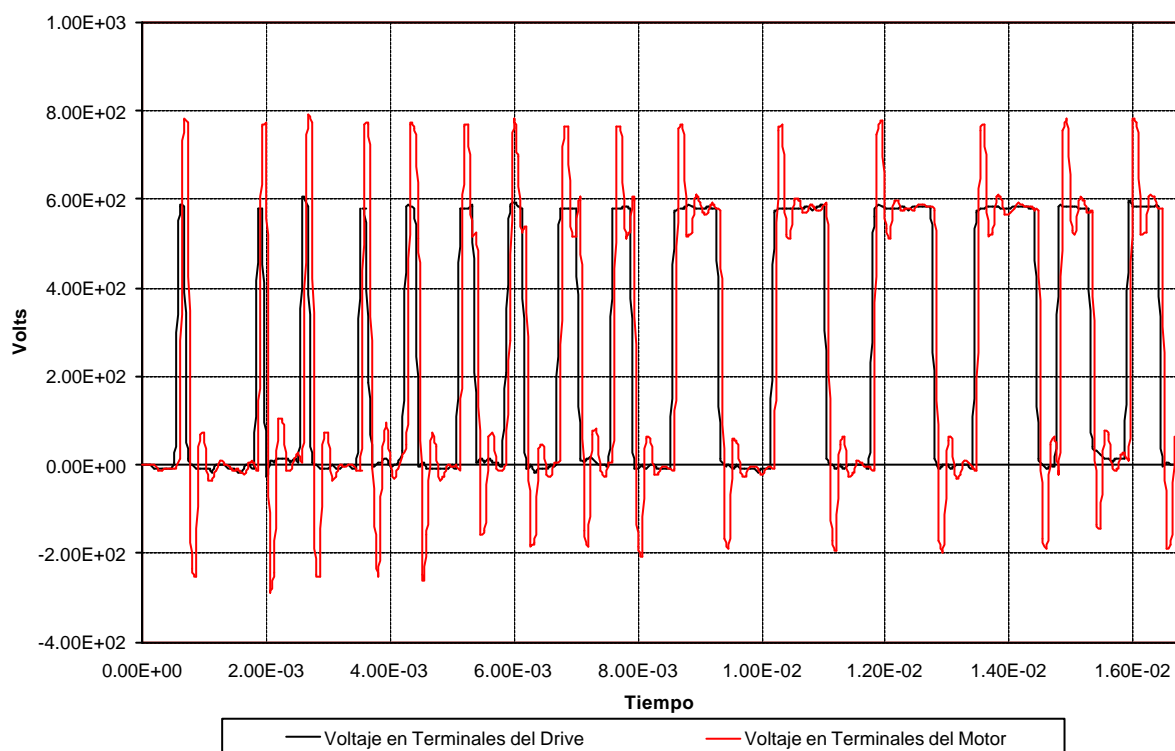


Figura 1. 10 Señal de voltaje en terminales del drive y voltaje en terminales del motor.

La Figura 1. 11 muestra en detalle lo que sucede en cada frente de onda que genera el PWM del drive, así como los valores picos que pueden alcanzar debido al rápido dV/dt que es característico de esta señal, esta grafica fue obtenida de otro motor más pequeño a 127V.

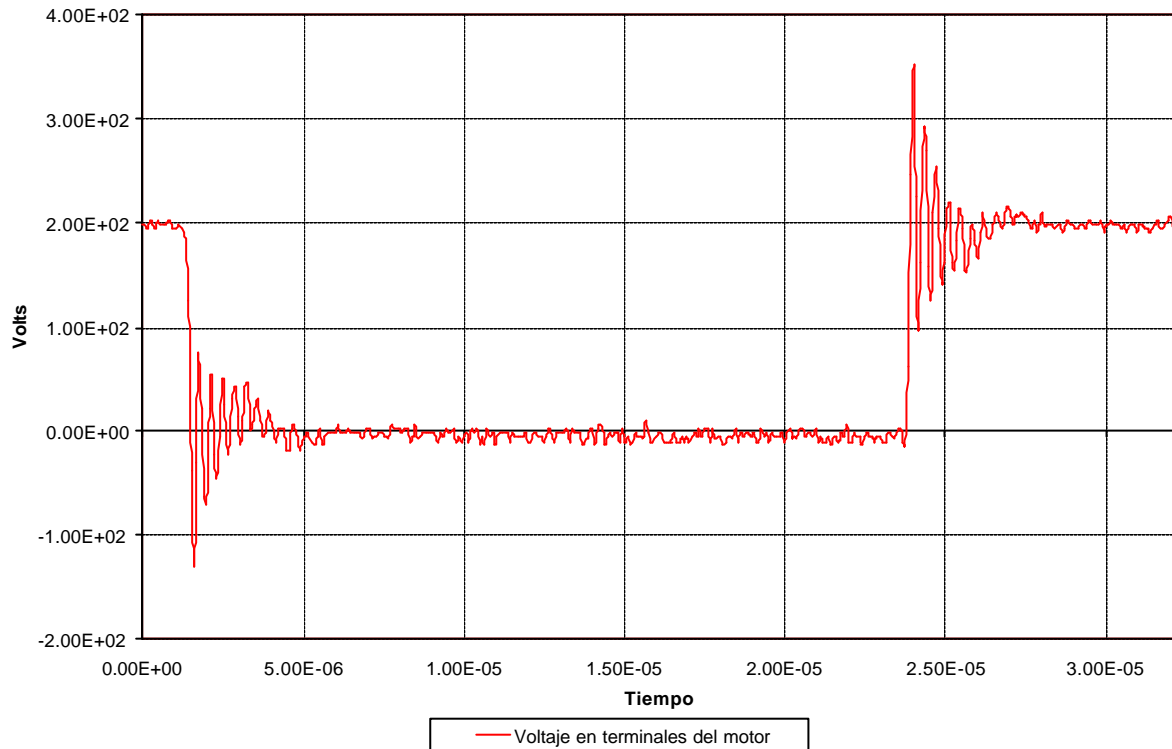


Figura 1. 11 Frente de onda típico generado por el PWM.

Una manera de profundizar sobre el mecanismo de este fenómeno es analizar tan solo un par de impulsos de la señal del PWM tanto en terminales del drive como en terminales del motor, la simulación basada en el MICROTRAN se muestra a continuación en la Figura 1. 12.

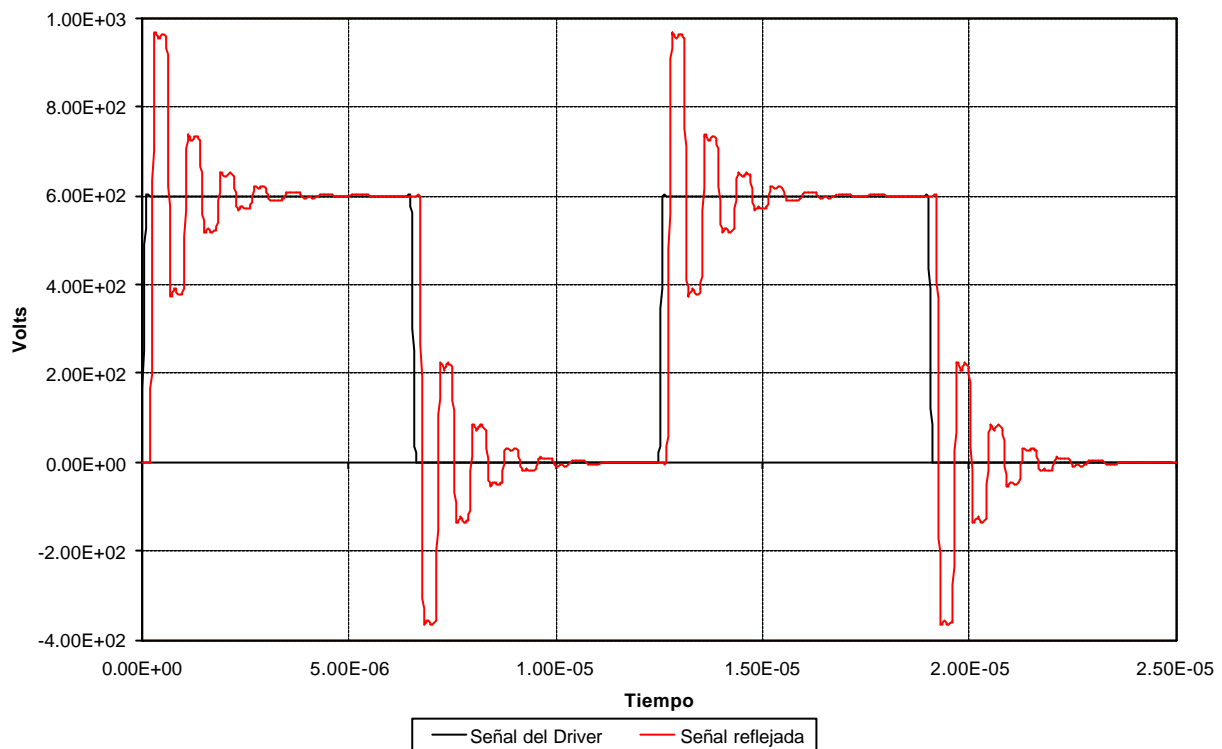


Figura 1. 12 Detalle de Forma de Onda en Terminales del Motor obtenidas con el modelo propuesto.

Algunas de las características importantes de este modelo son las siguientes, se supuso un dV/dt típico de operación de los drives de 0.1μ seg, se utilizaron un total de 250 puntos para definir la señal de voltaje, el valor pico del voltaje es de 600V.

1.4.1 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RESISTENCIA PARALELO.

El efecto de la implementación de esta técnica se puede observar en la Figura 1. 13, en la cual se puede comparar la magnitud del voltaje reflejado y el voltaje mitigado. Esta técnica es la que más pérdidas de energía ocasiona, debido a que se trata de un elemento puramente resistivo, estas son debidas a que en su implementación la potencia de disipación es función del cuadrado del su voltaje.

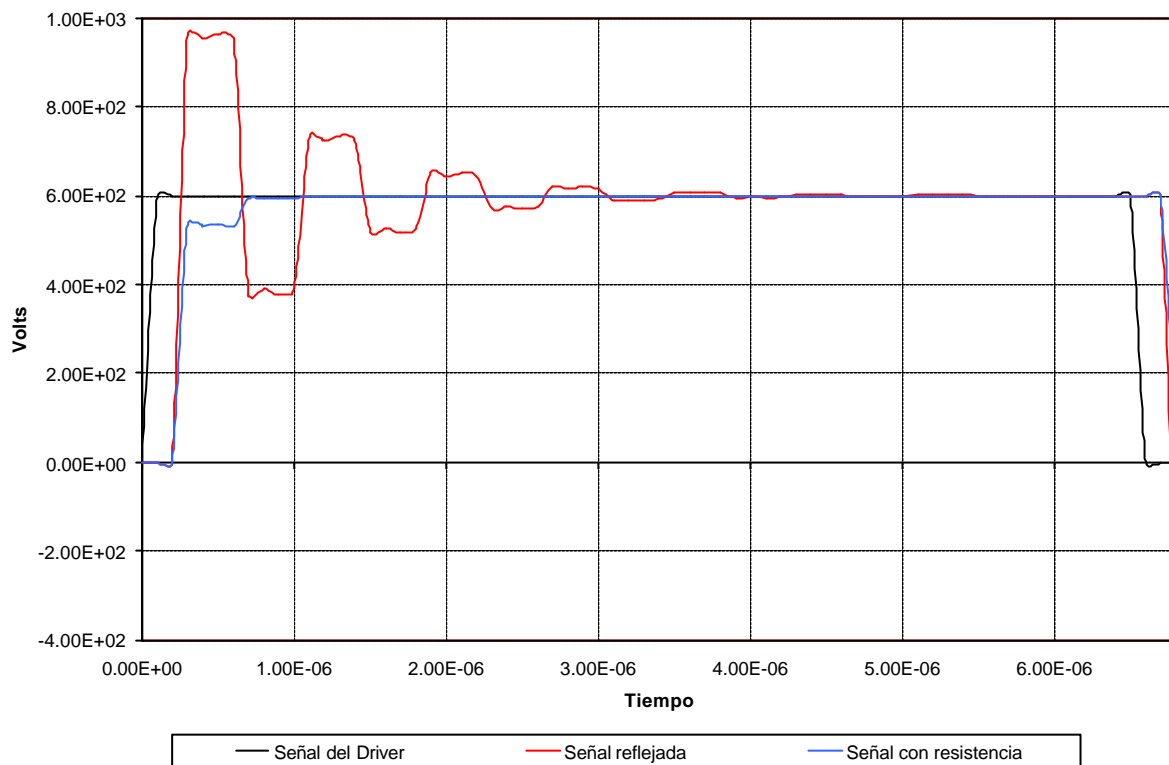


Figura 1. 13 Comparación de formas de Onda Voltaje Reflejado y Voltaje Resultante.

Su mecanismo de funcionamiento se basa en colocar una resistencia en paralelo al motor que iguale la impedancia característica del cable, de acuerdo a la teoría de las ondas viajeras, al no existir discontinuidades de impedancia en el sistema, no existe reflejo de voltaje.

Se debe entonces tener conocimiento de las características eléctricas del cable utilizado, además de que en la práctica no es siempre factible el colocar dicho conjunto de resistencias en el mismo sitio de trabajo del motor.

1.4.2 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR SERIE

Para la evaluación de esta técnica se ha elegido un reactor de 5mH, al 5%, esta técnica se basa en el principio de modificar el coeficiente de reflexión de la línea, esto se logra al modificar la impedancia de la misma, teniendo como resultado una reflexión menor. [5] Puesto que el motor tiene una impedancia mayor que la línea, el reactor debe ser colocado en terminales del drive, de lo contrario, de ser colocado en terminales del motor, se agravaría el problema puesto que se esta aumentando la impedancia vista por en terminales de la línea teniendo como resultado que dicho reactor también se vería sujeto a los sobre voltajes transitorios que viajan a lo largo de línea, y en poco tiempo habría que remplazarlos. Ver Ecuación 10.

$$r = \frac{Z_m - (Z_c + Z_l)}{Z_m + (Z_c + Z_l)}$$

Ecuación 10

$$Z_l = w * L$$

$$\text{donde: } w = 2 * \Pi * f$$

Donde: Z_c es la impedancia característica del cable.
 Z_l es la impedancia característica del reactor.
 Z_m es la impedancia característica del motor.
 r es el coeficiente de reflexión.

Su efecto se puede observar en la Figura 1. 14, en esta medición realizada en campo, se aprecian los efectos de instalar los reactores serie. Un excelente punto de comparación es la Figura 1. 9

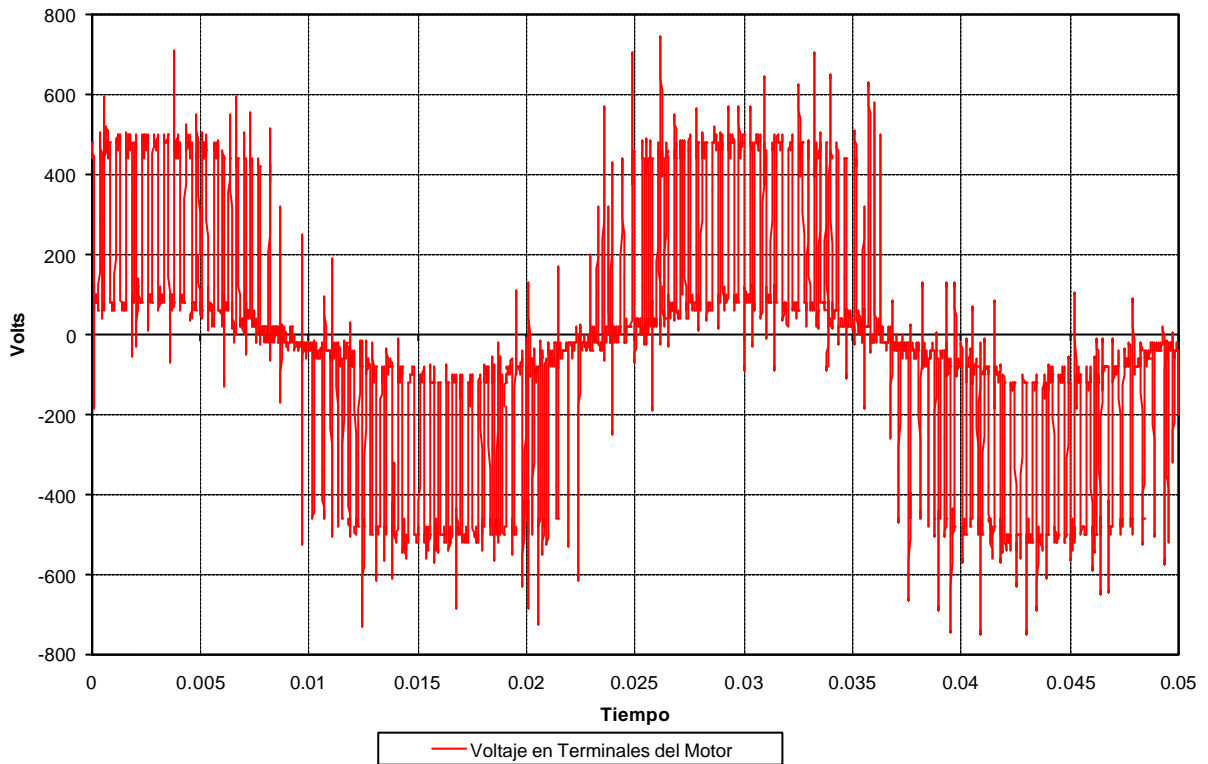


Figura 1. 14 Voltaje Medido en Terminales del Motor con Rector Serie.

Para efectos de la simulación, se tomo el valor de la inductancia de un equipo comercial denominado KLR Series de la marca Trans-coil, inc. (Figura 1. 15) El modelo de dicho equipo es el KLR200BCB [6], como se ha mencionado antes, la simulación consta solamente de dos impulsos de la señal del PWM, por lo que el nivel de detalle obtenido es del orden de 0.1 microsegundos, los resultados de dicha simulación se aprecian en la Figura 1. 16.



Figura 1. 15 Reactores del modelo KLR200BCB de la KLR Series de Trans-coil, Inc.

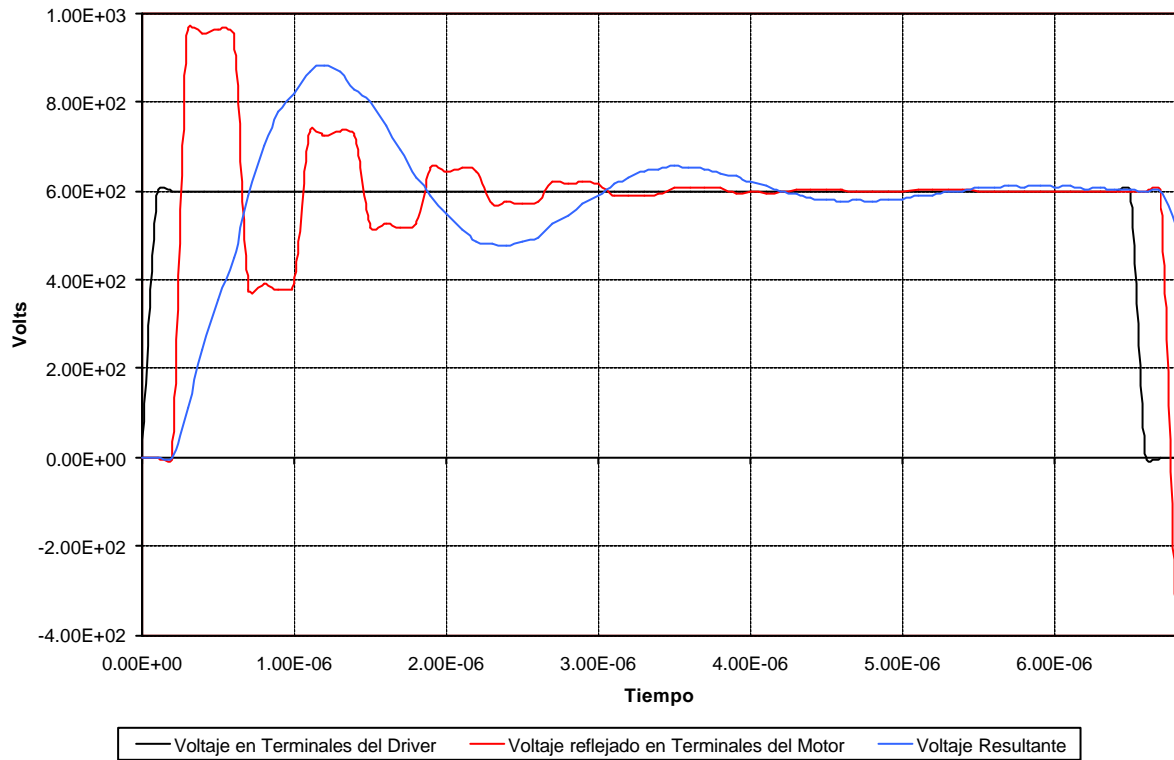


Figura 1. 16 Comparación de formas de Onda Voltaje Reflejado y Voltaje Resultante en simulación.

En esta simulación se puede apreciar el efecto que causa el reactor, la primera de las mejoras es un dV/dt más lento que el producido por el fenómeno, y una disminución del valor pico de voltaje que se va amortiguando de una manera mucho más suave y más lenta que la existente en condiciones originales.

Este método tiene la desventaja de aumentar la potencia reactiva consumida por el sistema, debido a que realmente se está instalando un reactor en línea, las consecuencias se ven reflejadas en el factor de potencia resultante.

1.4.3 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ARREGLO RC

Dentro de las simulaciones que se realizaron, se coloca en paralelo a las terminales del motor un arreglo RC serie, al igual que en la técnica anterior esta se basa en el principio de modificar el coeficiente de reflexión en terminales del motor y sobre la salida del drive, con lo que obtenemos como resultado una reflexión menor.

La impedancia equivalente de este filtro de primer orden es igualada con la impedancia característica de la línea, tal y como se muestra en la Ecuación 11.

$$Z_{eq} = \sqrt{R_f^2 + \left(\frac{1}{j\omega_f C_f}\right)^2} \cong \sqrt{\frac{L_c}{C_c}} = 93.75\Omega \quad \text{Ecuación 11}$$

Los parámetros del filtro ($R_f C_f$) se son escogidos de tal forma que la respuesta del circuito resultante sea bajo amortiguada, para dicho efecto de debe cumplir la Ecuación 12.

$$R_f \geq \sqrt{\frac{4L_c}{C_f}} \quad \text{Ecuación 12}$$

La solución simultánea de la Ecuación 11 y de la Ecuación 12 nos entregan los parámetros de resistencia y capacitancia del filtro de primer orden.

Otra manera de diseñar un filtro de estas características [4], es el de limitar el voltaje en terminales del motor, para diseñar este arreglo se limita el voltaje en las terminales del filtro para soportar un 20 % de sobrevoltaje, es decir, este voltaje puede ser 1.2 veces el voltaje en terminales del motor. Por lo que el voltaje en el filtro se encuentra descrito en la Ecuación 13.

$$V_r = 2V_{nom} \left[1 - \frac{Z_c}{R + Z_c} e^{-\frac{t}{C(Z_c + R)}} \right]$$

Ecuación 13

Donde $R=Z_c$ impedancia del Cableado.
 V_r es el Voltaje reflejado Resultante.
 V_{nom} es el Voltaje nominal de operación del motor.

Dado que la Resistencia del filtro se esta condicionando a tener la misma magnitud de la impedancia característica del cableado, solamente resta encontrar el valor del capacitor.

Para efectos de la simulación, se tomo el valor de la resistencia de 1000 y de capacitancia 22µF del mismo equipo comercial analizado en la sección anterior Figura 1. 17.



Figura 1.17 Arreglo de Resistencia y Capacitores del modelo KLR200BCB de la KLR Series de Trans-coil.

El efecto de este arreglo puede observarse en la Figura 1. 18 donde se hace la comparación entre los voltajes y la cual nos muestra la eficacia de este método.

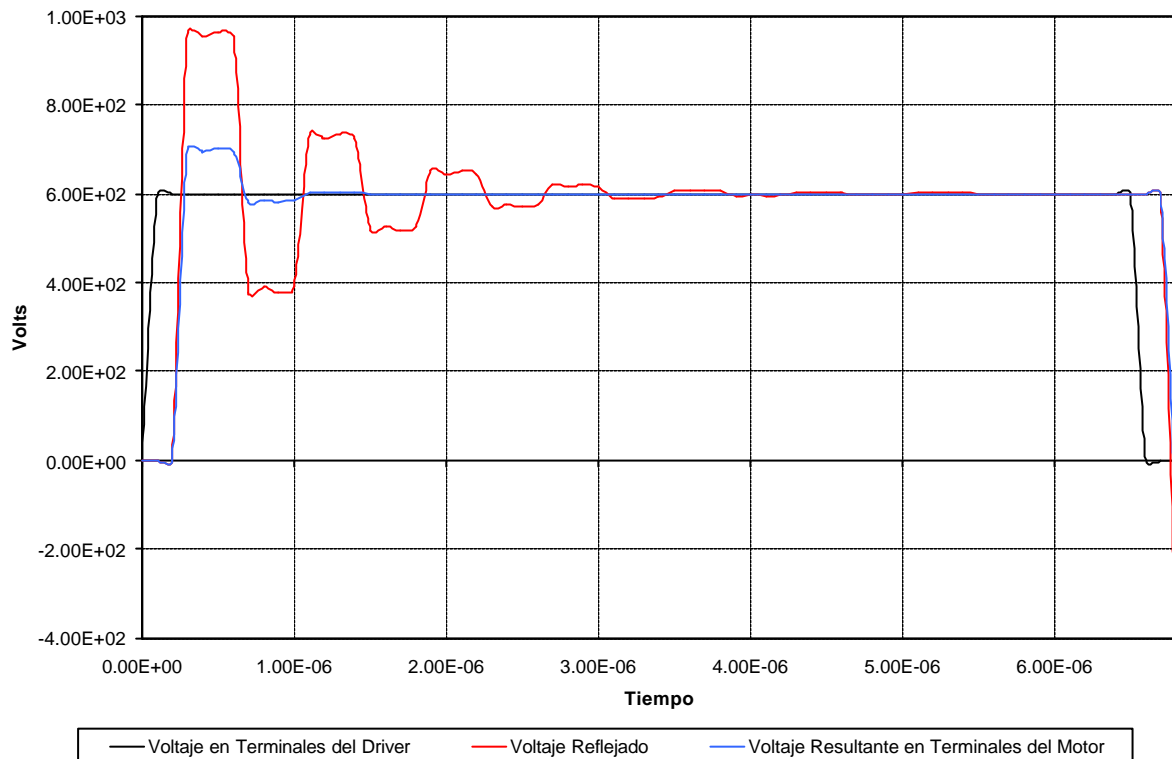


Figura 1. 18 Comparación de formas de Onda de Voltaje Reflejado y Voltaje Resultante.

Como se puede observar, el dV/dt no es significativamente modificado pues el capacitor se opone a cambios bruscos de voltaje, sin embargo se puede notar una significativa disminución en la amplitud del voltaje incidente, así como un rápido amortiguamiento de la señal.

1.4.4 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ARREGLO RLC.

Existen dos maneras de atacar este problema para diseñar este tipo de filtros, una de ellas es igualar la magnitud de la impedancia resultante del arreglo RLC a la magnitud de la impedancia de la línea, esta opción sigue la misma metodología descrita en la sección de un arreglo RC serie anteriormente descrito [2] Figura 1. 19.

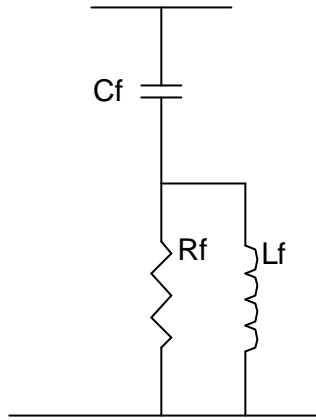


Figura 1. 19 Filtro de Segundo Orden Propuesto en Terminales del motor.

Así pues, la impedancia equivalente de este filtro de primer orden es igualada con la impedancia característica de la línea, tal y como se muestra en la Ecuación 14

$$Z_{eq} = \sqrt{\left(\frac{R_f \omega_f^2 L_f^2}{R_f + \omega_f^2 L_f^2}\right)^2 + \left(\frac{R_f \omega_f^2 L_f^2}{R_f + \omega_f^2 L_f^2} - \frac{1}{j\omega_f C_f}\right)^2} \cong \sqrt{\frac{L_c}{C_c}} = 93.75\Omega \quad \text{Ecuación 14}$$

Los parámetros del filtro ($R_f L_f C_f$) son escogidos de tal forma que la respuesta del circuito resultante sea bajo amortiguada, para dicho efecto de debe cumplir la Ecuación 15.

$$R_f \leq \frac{\sqrt{L_f C_f}}{2C_f} \quad \text{Ecuación 15}$$

Una manera de resolver ambas ecuaciones y encontrar los parámetros de filtro de segundo orden, es definir un valor de capacitancia del filtro, así como una frecuencia de operación del filtro, se recomienda que esta frecuencia sea unas cinco veces mayor a la que se encuentra trabajando el driver, esto con el fin de ampliar el rango de eficiencia del filtro para frecuencias de trabajo del drive que se encuentren dentro del limite establecido.

Mientras tanto, la otra manera de atacar el problema es desde el punto de vista del voltaje total entregado en terminales del motor, el diagrama esquemático de este filtro tiene una configuración diferente y su ubicación se localiza en terminales del drive, tal y como se muestra en la Figura 1. 20.

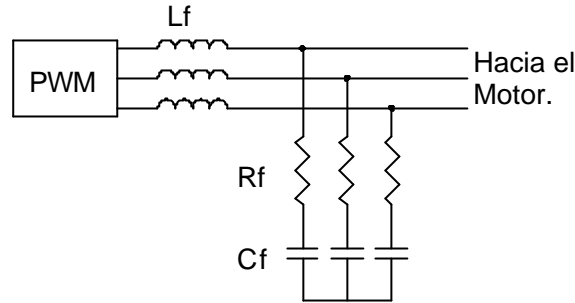


Figura 1. 20 Filtro de Segundo Orden Propuesto en Terminales del Drive.

La ecuación que describe este voltaje es la siguiente:

$$V(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{T_R}} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$t = \sqrt{L_f C_f} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde t es la constante de tiempo del filtro, y T_R es el tiempo de conmutación de la señal del PWM evidentemente la condición para que no exista reflejo de onda es que el tiempo de la constante del filtro sea mayor que el tiempo de conmutación, esto es que $t > T_R$, el capacitor debe de escogerse como $C_f > \text{longitud crítica del cable} * 10^{-10}$ (F); L_f se obtiene de la Ecuación 17 con una t impuesta, y la resistencia es calculada asumiendo un circuito bajoamortiguado. [4]

$$R_f \geq \sqrt{\frac{4L_f}{C_f}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Debe hacerse notar el parecido de la Ecuación 12 y la Ecuación 18, la diferencia estriba en el termino de la inductancia, es decir la Ecuación 12 hace referencia a la inductancia del cable, mientras que la Ecuación 18 hace referencia a la inductancia del filtro, esto es por que en el caso de un filtro RC serie, la inductancia predominante es la del cable, y en el caso RLC la inductancia se instala en serie con el cable y esta es mucho mayor que la del cable, es por eso que solamente se toma en cuenta la inductancia del filtro para definir la condición de un circuito bajo amortiguado.

Para resolver la problemática de nuestro caso en particular, se decidió instalar un filtro de sobrevoltajes de la KLR Series de Trans-coil, en su modelo KLR200BCB, para la determinación adecuada de los parámetros de este filtro, fue necesario especificar solamente la corriente a plena carga del motor, ya que este diseño no es dependiente de las características del cableado. [6]

Dentro de la parte de simulación, se decidió utilizar los valores de reactancia, inductancia y resistencia que utiliza este tipo de filtro (5mH, 100Ω y 22μF) y con estos valores realizar la simulación, una de las ventajas de realizar la simulación, es el observar a detalle lo que sucede en tiempos tan cortos como una décima de microsegundo, el realizar este tipo de estudios a tan detalle con un instrumento de medición en campo, requeriría un equipo muy rápido y por consecuencia costoso para realizar la toma de muestras en esos tiempos de conmutación tan cortos, las graficas obtenidas en dicha simulación se pueden observar en la Figura 1. 21.

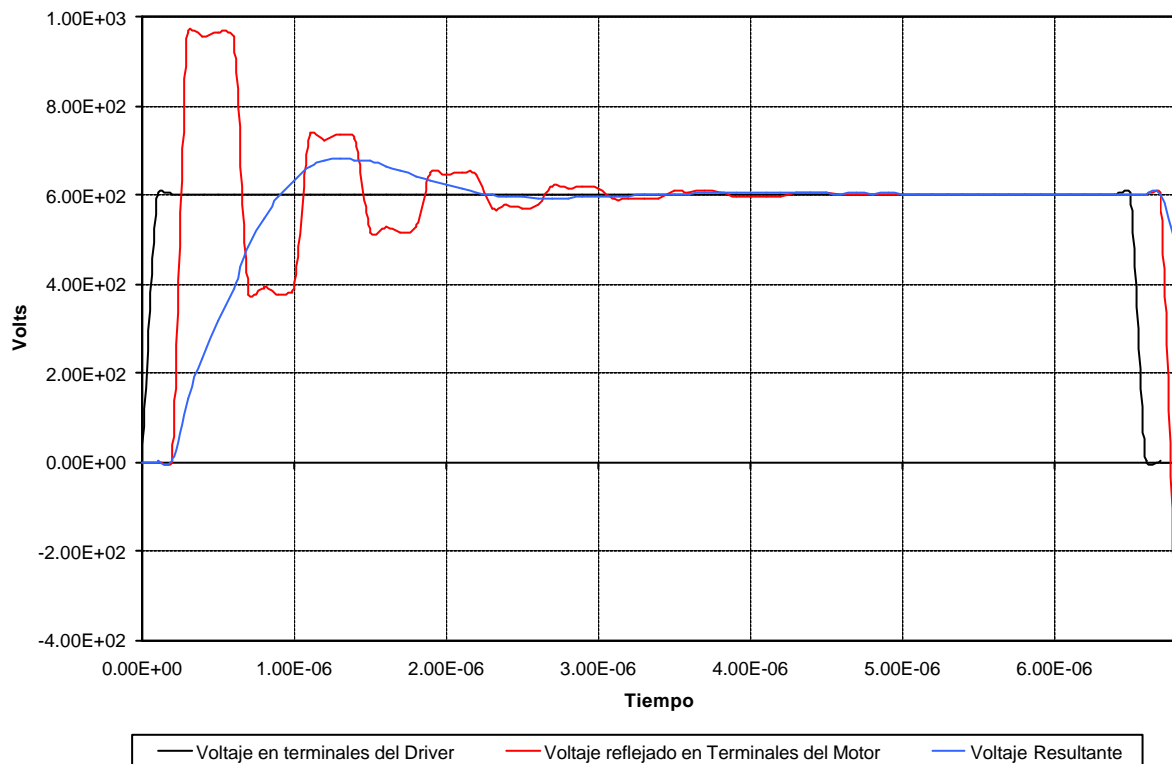


Figura 1. 21 Comparación de formas de Onda Voltaje Reflejado y Voltaje Resultante en simulación

Se puede apreciar el efecto que produce este filtro sobre nuestro sistema simulado, que es una combinación de las ventajas que ofrece el efecto de instalar un reactor y el efecto de la combinación RC serie, estas ventajas son el cambio de dV/dt y su rápido amortiguamiento respectivamente.

1.5 CONCLUSIONES

Se han evaluado cuatro alternativas para la mitigación de sobrevoltajes debido a las grandes distancias que generalmente existen entre el drive y el motor, de manera comercial se encontraron diversos fabricantes que ofrecían su producto como la mejor solución a este problema, en este trabajo se puede observar la eficiencia de cada técnica, cabe hacer mención que el filtro RLC es la mejor opción técnica, pues no depende de la distancia del cable al motor, sino de la frecuencia de operación del drive, no es la mas económicamente factible, por otra parte, la mayoría de las técnicas investigadas dependen de conocer los parámetros de inductancia, resistencia y capacitancia del cable, los cuales pueden variar dependiendo del tipo de conducto por el que viajen, así también requieren de conocer la impedancia equivalente del motor, el obtener estos valores puede ser un tanto laborioso y los filtros obtenidos bajo esta filosofía solamente pueden ser utilizados para el caso bajo estudio.

Como se ha mencionado anteriormente, la solución final para nuestro caso ha sido el instalar un filtro RLC, la Figura 1. 22 muestra las nuevas condiciones de operación del motor después de haberse instalado el filtro.

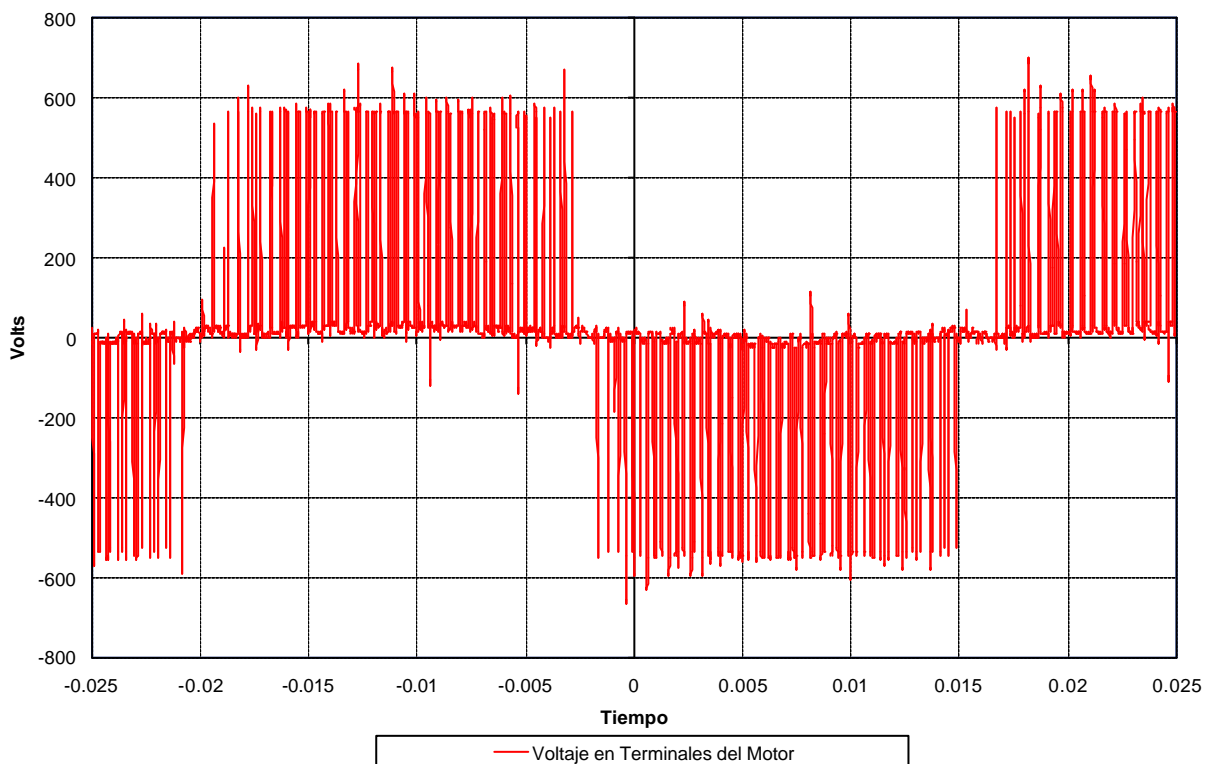


Figura 1. 22 Grafica de Voltaje en Terminales del Motor una vez Instalado el Filtro RLC.

Actualmente, el sistema se encuentra trabajando bajo las condiciones antes descritas, se logro una mitigación de voltaje de casi el 80% en relación a los datos obtenidos en la Figura 1. 9, el motor no ha vuelto a fallar y se encuentra en funcionamiento.

CAPITULO 2

IMPLEMENTACION DE SUPRESORES DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS EN EQUIPO ELECTRONICO DENTRO DE UNA CENTRAL ELECTRICA DE CICLO COMBINADO 247.5 MW

2.1 INTRODUCCION

Los disturbios transitorios son eventos eléctricos de muy poca duración (menores a un ciclo), Aunque la duración de los transitorios es sumamente pequeña, la combinación de magnitud y duración puede ser suficiente para ocasionar daño a equipo tanto eléctrico como electrónico. Un transitorio eléctrico es un fenómeno de causa y efecto, es decir para que los transitorios ocurran debe existir una causa. A continuación se enlistan algunas de las causas más comunes para los transitorios eléctricos:

- Switcheo de carga. (Entrada y Salida)
- Interrupción o fallas.
- Switcheo de líneas.
- Switcheo de bancos de capacitores.
- Fenómenos Atmosféricos. (Descargas eléctricas y electrostáticas, Disturbios geomagnéticos)

Los transitorios eléctricos ocasionados por maniobras con interruptores se deben a que el sistema debe pasar de una condición de estado estable a otra. Un ejemplo de maniobras con interruptores que dan lugar a sobrevoltajes transitorios es la conexión de capacitores. La energización de transformadores y de motores da lugar a sobrecorrientes transitorias. La desconexión de estas cargas inductivas también da lugar a sobrevoltajes transitorios.

Dentro de este tipo de fenómenos eléctricos, los más severos son los ocasionados por las descargas atmosféricas. Éstas pueden dañar el aislamiento de transformadores, motores, capacitores, cables y ocasionar fallas en líneas de transmisión por la ionización del aire. El fenómeno físico exacto de una descarga atmosférica no será tocado en este capítulo, sin embargo es suficiente saber que un fenómeno de esta naturaleza produce típicamente un voltaje de 3×10^6 V en tan solo 1 o 2 μ s, además la corriente de descarga que fluye a través de la tierra crea una diferencia de potencial entre las líneas energizadas y tierra, en casos extremos esta es una de las principales causas de falla en equipos electrónicos principalmente.

Debe de reconocerse que existen cargas eléctricas que son mas sensibles a este tipo de fenómenos que otras, se hace una clasificación de acuerdo a su importancia, Así pues, existen por lo tanto cargas críticas y cargas sensibles, las primeras se definen como toda aquella carga que al dejar de funcionar, puede poner en peligro la seguridad del personal y/o ocasionar grandes perjuicios económicos.

Por otro lado, la carga sensible es aquella que requiere un suministro con alta calidad de energía, para correcto funcionamiento, el equipo electrónico es más propenso a fallar bajo estos disturbios que el equipo eléctrico-mecánico convencional.

Como es sabido, el uso de equipo electrónico se ha incrementado de manera considerable durante los últimos años, ha sido tanto su impacto que es difícil imaginarse un hospital o una industria que no dependan de este tipo de equipo para su correcto funcionamiento. Una práctica común para proteger este tipo de equipo electrónico sensible son los supresores de sobrevoltajes transitorios, estos están diseñados para trabajar en niveles mas bajos de tensión que un apartarrayos típico Su función es la misma que un apartarrayos, es decir, limitan los sobrevoltajes transitorios a niveles adecuados para el correcto funcionamiento del equipo. Como se ha dicho el propósito de los apartarrayos es el de proteger el aislamiento de transformadores, motores y líneas de transmisión, el propósito de los supresores es el de proteger al equipo electrónico sensible.

2.1.1 SUPRESORES DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS.

La manera adecuada de protección ante estos disturbios son los supresores de voltaje los cuales pueden conectarse en paralelo o en serie, los supresores conectados en paralelo funcionan de manera muy similar a la de un apartarrayos, cuando el voltaje en terminales de éstos aumenta, la resistencia del elemento de protección disminuye, dejando pasar más corriente. La Figura 2 . 1 muestra algunas de las diferentes tecnologías de supresores. El tamaño de los supresores paralelo no depende del tamaño de la carga, sino de su cercanía a la acometida y de la corriente que pueden tolerar.

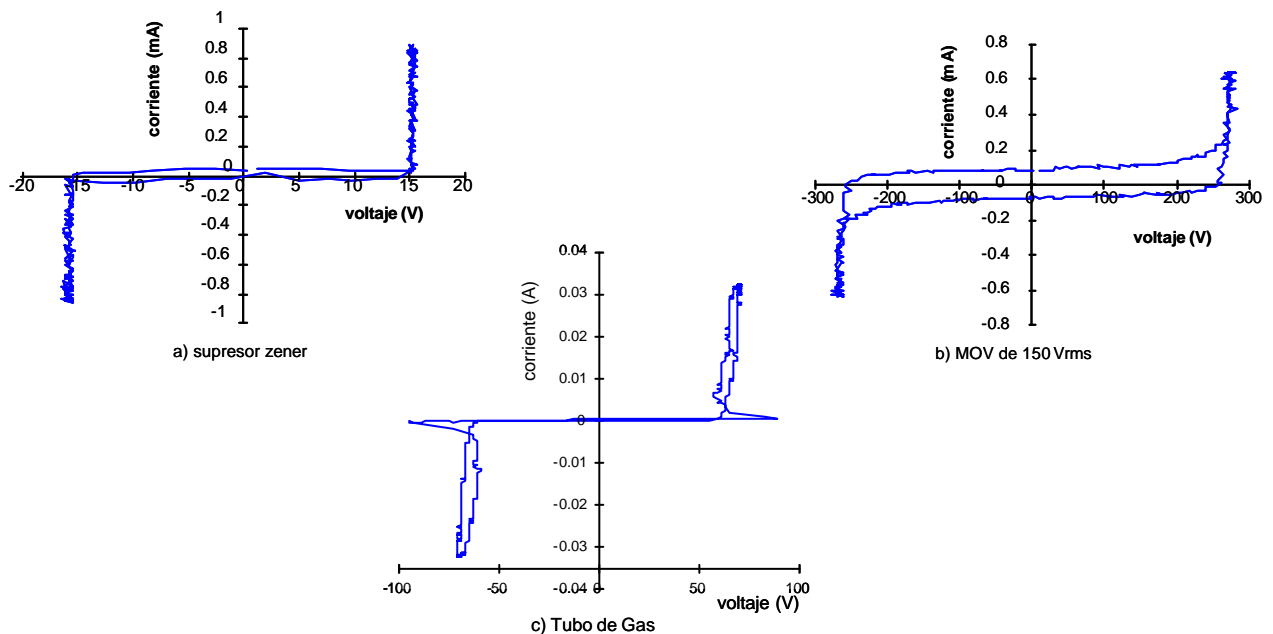


Figura 2 . 1 Característica i - v de un supresor zener bipolar, de un MOV de 150 Vrms y de un supresor tipo tubo de gas.

Los supresores serie utilizan elementos de protección como los utilizados en los protectores paralelo; pero incorporan además elementos serie como una inductancia o resistencia, debido a esto pueden limitar mucho mejor los sobrevoltajes transitorios. Los elementos serie deben ser capaces de conducir la misma corriente que la carga, de ahí que las dimensiones y el costo de éstos sean dependientes de la carga.

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 sobrevoltaje llegue al equipo sensible. 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.

2.1.2 TRANSITORIOS DE MODO COMÚN Y MODO DIFERENCIAL.

Los disturbios que pueden dañar o ocasionar malfuncionamiento en equipo eléctrico y electrónico se pueden dividir en disturbios de modo común y de modo diferencial, siendo los de modo diferencial, aquellos que se presenta entre líneas de alimentación tal y como se muestra en la Figura 2 . 2a), mientras que los de modo común son los que representan entre tierra y alguna de las líneas, como se puede apreciar en la Figura 2 . 2b). Aunque los sobrevoltajes transitorios de modo diferencial son los más comunes, se recomienda también implementar protecciones de modo común para cada línea.

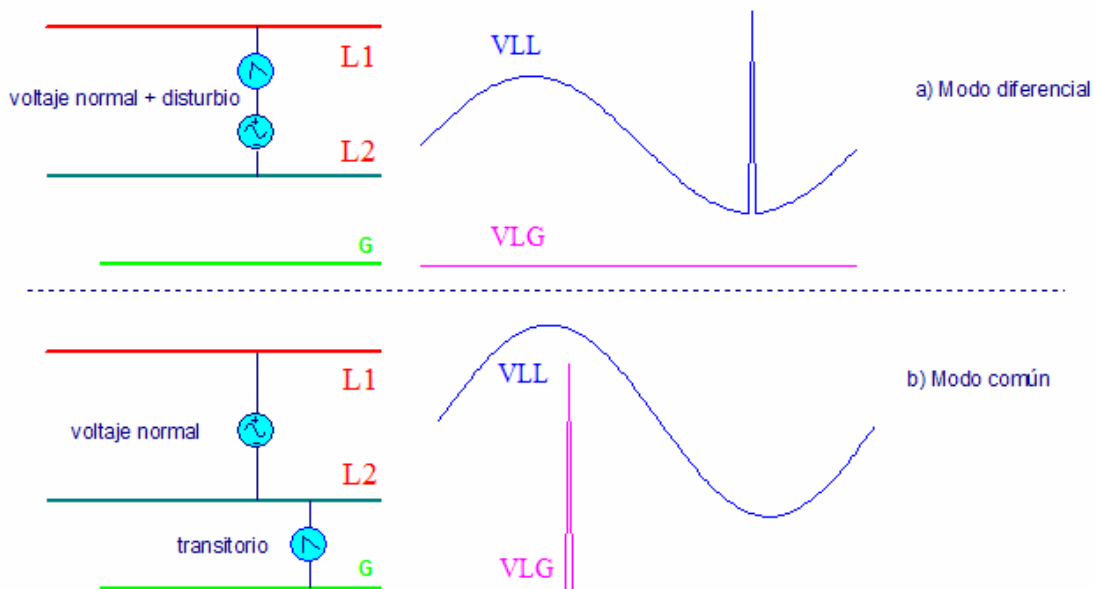


Figura 2 . 2 Transitorios de modo diferencial y de modo común

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la instalación eléctrica dentro de la central de ciclo combinado, una gran mayoría de equipo de control electrónico es alimentado por medio de voltaje de CD, el esquema de este caso puede verse en la Figura 2 . 3 donde se puede observar que el neutro del transformador de CA se encuentra aterrizado a la carcasa del mismo y este a su vez al sistema de tierras, mientras que el neutro del transformador del equipo rectificador no se encuentra puesto a tierra, sin embargo su carcasa sí lo está, además ninguna de las terminales de CD se encuentra aterrizada, debido a estas características se puede hablar de un sistema de CD no aterrizado.

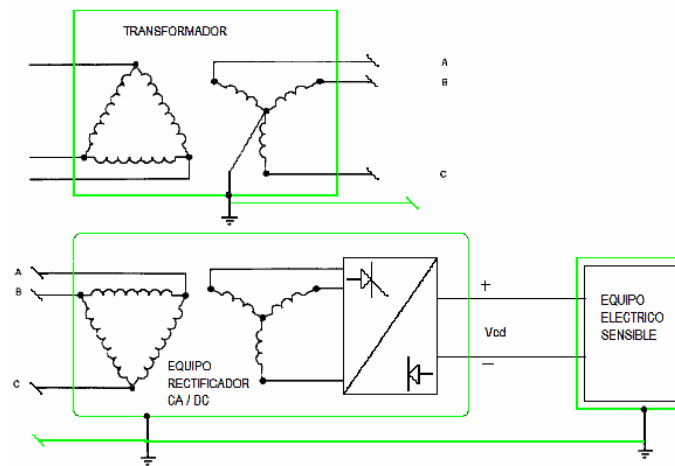


Figura 2 . 3 Alimentación de CA, cargador de baterías y alimentación de CD

Un esquema simplificado de un sistema flotado de CD es el que se muestra en la Figura 2 . 4. El voltaje entre líneas será el entregado en terminales del equipo rectificador, sin embargo, el voltaje entre línea y tierra no está determinado, bajo condiciones balanceadas es la mitad el voltaje de CD, pero dadas las diferentes variantes de la resistencia de aislamientos que existen en el cableado del sistema, puede no suceder así. Si el sistema estuviera aterrizado, por ejemplo en L2, podríamos afirmar y comprobar que el voltaje de L2 a tierra es cero y que el voltaje de L1 a tierra es V_{cd} .

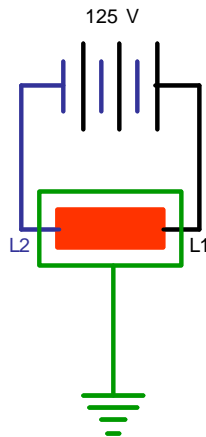


Figura 2 . 4 Sistema de CD Flotado

La razón por la cual se diseñó un sistema flotado de corriente directa es porque si alguna de las dos terminales se une a tierra de manera accidental, no se presenta corriente de corto circuito. Si se decidiera aterrizar sólidamente la terminal negativa (el sistema dejaría de ser flotado) y ocurriera un contacto accidental de la terminal positiva a tierra se tendría corriente de corto circuito lo cual pondría en riesgo la continuidad del servicio.

2.3 OBJETIVO

A continuación se destacan las principales líneas de acción tomadas para la solución de daños a tarjetas electrónicas en la central de ciclo combinado.

- Revisión del diagrama unifilar de la subestación.
- Revisión del listado de los daños en los diferentes equipos eléctricos
- Ubicación del equipo principal dañado en sus tarjetas electrónicas.
- Revisión física del sistema de tierras de la central.
- Mediciones de tendencias de voltaje en terminales del Equipo Rectificador en cuarto control de la turbina de gas, vapor y subestación.
- Análisis del reporte de reparación de equipo eléctrico fallado.

De los datos anteriores a continuación se destacan algunos de los principales hechos relacionados con las fallas en equipo de control, medición y registro en la central ciclo combinado de 247.5 MW:

- El equipo que ha presentado daño es electrónico.
- La central cuenta con un sistema robusto de tierra.
- El equipo dañado se alimenta entre 125 y 135 V de CD.
- No se han registrado variaciones de voltaje significativas en terminales del sistema de CD.

- El reporte de reparación de equipo eléctrico indica como fuente de falla a un sobrevoltaje transitorio.
- Análisis del funcionamiento básico del sistema rectificador de CA/CD.
- El sistema de CD se encuentra sin aterrizar ninguna de sus terminales, lo cual es correcto para los requerimientos del equipo al que alimentan.

Como resultado de los hechos anteriores se recomienda la implementación de un sistema de protección de modo común a base de MOV, en cada tablero general del sistema de CD, además como protección adicional se recomienda la implementación de un sistema de protección individual también a base de supresores de voltaje de CD en el sitio de ubicación física del equipo electrónico crítico.

2.4 DESARROLLO

Como se ha mencionado, el equipo que presenta daño es en su mayoría electrónico y se alimenta de una fuente de CD. También se cuenta con el reporte realizado por un experto en fallas a este tipo de equipo por parte de la compañía proveedora del electrónico Ver Referencia [1]. De acuerdo al reporte de daños y a las reparaciones realizadas al equipo etiquetado como TR-132, Se hace mención de que la fuente de poder se encuentra en buen estado, con variaciones muy pequeñas de voltaje; y sugiere la existencia de una descarga atmosférica en las inmediaciones de la instalación, la cual produciría un alto potencial entre la tierra y la fuente de poder de suficiente magnitud para causar el daño del equipo.

Analizando el reporte hecho por el especialista, el sobrevoltaje que pudo haber dañado al componente electrónico es de tipo modo común, la explicación es la siguiente: cuando ocurre un sobrevoltaje transitorio, debido por ejemplo a una descarga atmosférica, el sistema de tierras evita el desplazamiento de potencial del equipo con respecto a misma tierra, es decir, mantiene al equipo al mismo potencial, pero cuando el sistema es flotado, este desplazamiento de potencial no puede ser evitado, así pues, mientras la carcasa del equipo se encuentra al mismo potencial, no así el sistema flotado de CD, lo cual tiene como consecuencia sobrevoltajes transitorios de modo común. Estos voltajes pueden tener una magnitud tal que sean capaces de dañar al equipo electrónico si este no se encuentra debidamente protegido. Los sobrevoltajes transitorios de modo común, se presentan de manera mas grave en sistemas flotados

2.4.1 SIMULACIÓN EN MICROTRAN.

Para ilustrar el fenómeno de disturbio de modo común y la gravedad de la magnitud de los mismos al presentarse en un sistema flotado de CD, se ha simulado este mismo sistema en el programa de modelación de transitorios eléctricos MICROTRAN.

El circuito es el mostrado en la Figura 2 . 5. El disturbio consiste en la conexión de una fuente de voltaje transitorio de 2kV, el cierre del interruptor S1 resulta en el momento que ocurre el disturbio.

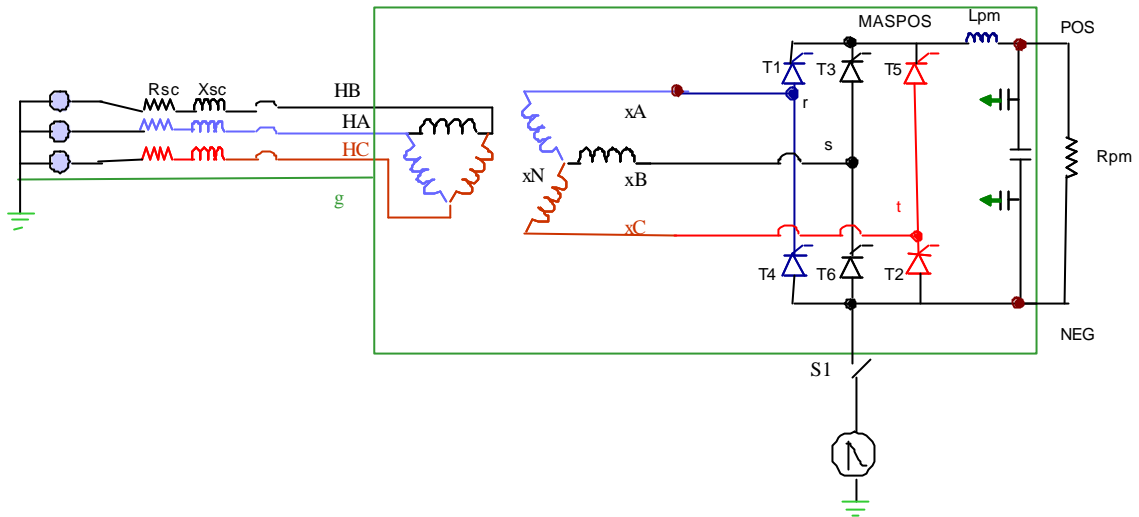


Figura 2 . 5 Diagrama simplificado de conexiones simulada en MICROTRAN.

En operación normal, la magnitud del voltaje entre las terminales positiva y negativa es 120V, que es el requerido por la carga, ver Figura 2 . 6.

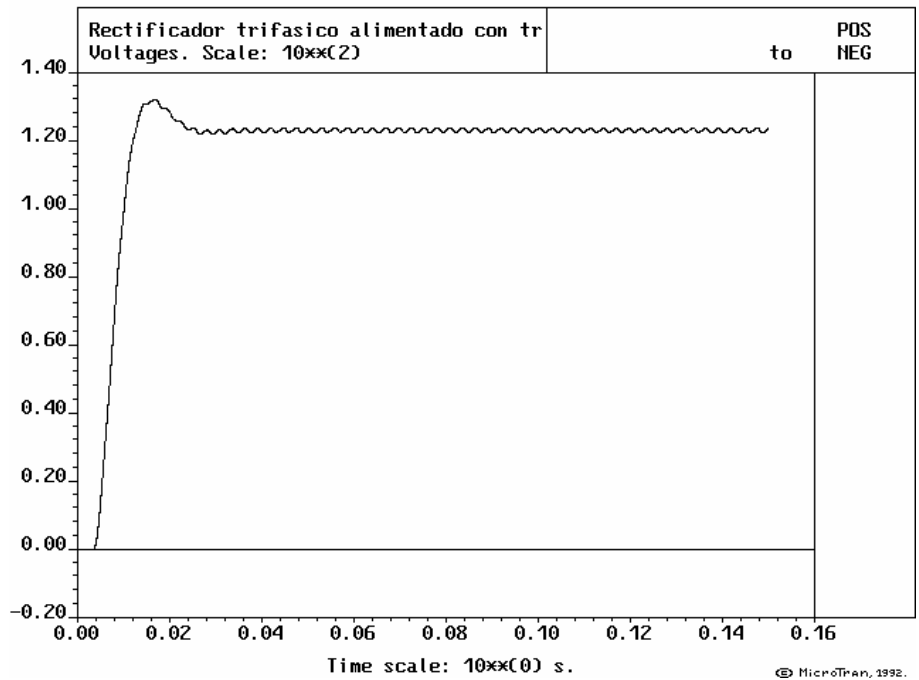


Figura 2 . 6 Forma de onda de Voltaje de CD obtenido en terminales del circuito rectificador, condiciones normales de operación.

Como ya se mencionó, para ilustrar la posibilidad de un sobrevoltaje de modo común en el sistema de alimentación de CD, se considera el efecto de un disturbio de 2kV al cerrar el switch S1. La Figura 2 . 6 comprueba que el disturbio de modo común no ocasiona disturbio en la magnitud del voltaje entre las líneas de CD, ya que se mantiene constante. Sin embargo, el potencial resultante entre las líneas y tierra será afectado de manera considerable como lo revela la Figura 2 . 7.

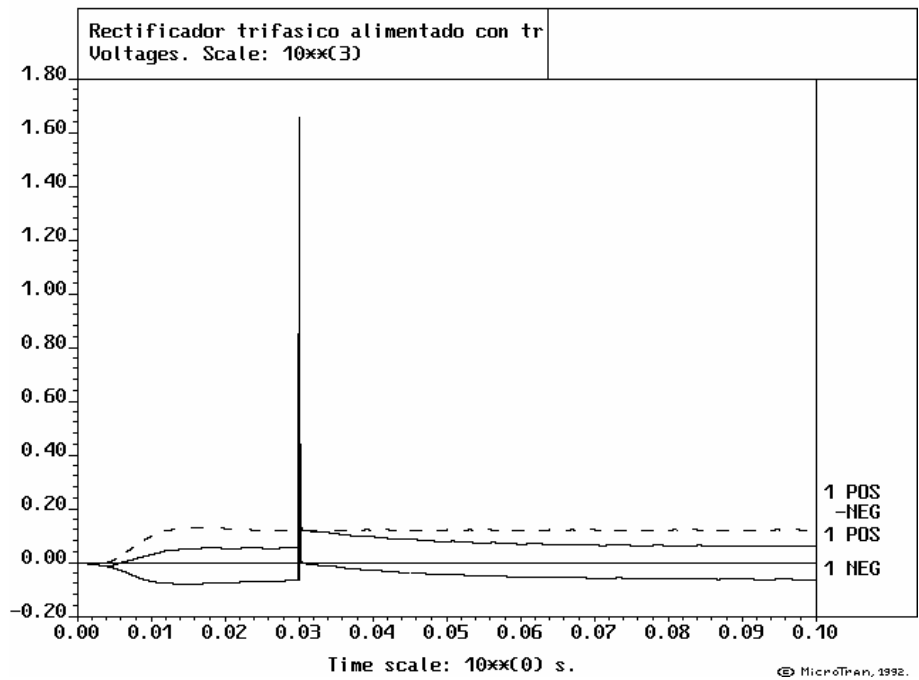


Figura 2 . 7 Forma de onda de Voltaje de CD obtenido en terminales del circuito rectificador bajo condiciones de falla.

Al apreciar la magnitud y la posibilidad de que ocurra este evento es entonces cuando se comprende la necesidad de contar con una protección adecuadamente seleccionada para garantizar la continuidad de servicio del equipo.

Como medida preventiva y correctiva para tratar esta clase de disturbios se ha implementado en la simulación, el efecto de la protección de un supresor de sobretensiones de tipo modo común tal, la forma de onda de voltaje resultante se muestra en la Figura 2 . 8, se ha reducido de manera considerable la magnitud del sobrevoltaje, y además el sistema no ha perdido el voltaje de 120 Vcd entre sus terminales positiva y negativa.

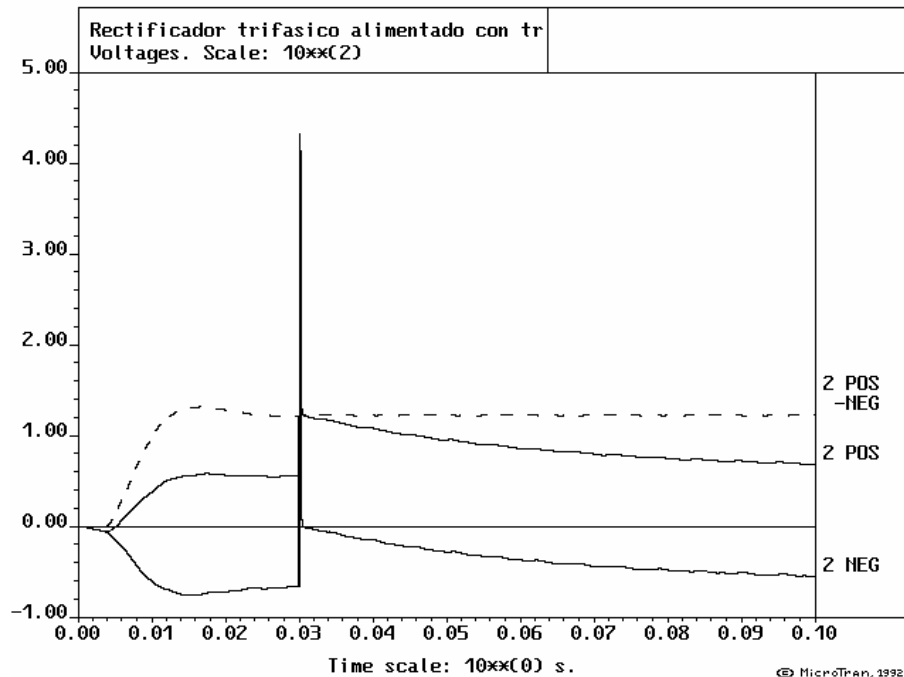


Figura 2 . 8 Forma de onda de Voltaje de CD obtenido en terminales del circuito rectificador con protección de supresor de sobrevoltajes implementado.

Esta sección expone la vulnerabilidad que tienen los sistemas flotados ante disturbios de modo común (disturbios que aparecen entre todas las terminales del circuito y tierra). Así como la magnitud y duración que puede presentarse durante un disturbio de modo común.

Se propone colocar supresores de sobrevoltajes transitorios de CD de baja tensión para la protección de transitorios de modo común. De esta forma el sistema continuara flotado, pero protegido contra dicho transitorio.

Así pues, el voltaje entre terminales L1 y L2 continuara siendo el requerido por el sistema, y el voltaje entre cualquiera de las líneas y tierra será menor al de operación del supresor, cualquier sobrevoltaje mayor al de operación será limitado por el supresor. Ver Figura 2 . 9. Un aspecto muy importante en la selección del supresor de sobrevoltaje, es la cantidad de energía a la que hará frente durante un evento de gran magnitud, una descarga atmosférica por ejemplo, a estos supresores se les conoce como “High Energy surge protectors”, dentro de la literatura comercial se ha encontrado el dispositivo protector que cumple con los requerimientos y se menciona además en la Referencia [2] con algunas de sus características técnicas.

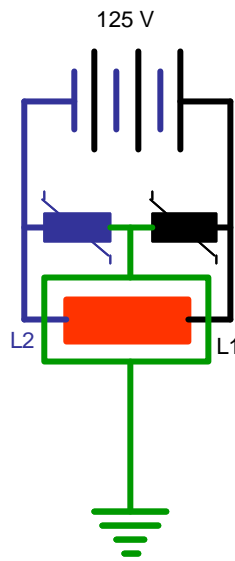


Figura 2 . 9 Esquema de Protección contra Sobrevoltajes transitorios de Modo Común.

Existen diversas recomendaciones a tener en cuenta al momento de implementar estos supresores de voltaje, a continuación se da un listado de algunas de ellas.

- 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 que los supresores aporten protección en modo diferencial y en modo común. La protección de modo común para este sistema flotado es indispensable pero no es suficiente; se requiere de protección de modo diferencial.
- 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.
- Los supresores de transitorios no realizarán su función si no se instalan en forma adecuada. Por ejemplo, no podrán proteger contra disturbios de modo común si no están conectados a un conductor de puesta a tierra, de ahí que sea indispensable seguir las instrucciones de instalación del fabricante.
- La instalación de supresores en las líneas de datos que entran y salen del edificio es de suma importancia. Los supresores de línea de datos deben ser de acuerdo a la línea de datos a proteger; esto es, se requiere de uno especial para un RS-232, de uno especial para “Ethernet” y de uno especial para “Token-Ring”; no son intercambiables.
- Los supresores tipo paralelo deben contar con un dispositivo de protección contra sobrecorriente el cual debe proveer la desconexión comúnmente se utiliza un fusible de características adecuadas.

2.5 CONCLUSIONES.

La resolución de estos tipos de problemas requieren una estrategia bien definida de acción, se ha mencionado una lista de las líneas de acción que se siguieron para estudiar este problema de manera sistemática. Después de una inspección del sistema eléctrico tanto física como esquemática, se ha aislado el problema a equipo que comparten características eléctricas similares, en este caso su alimentación de voltaje de CD.

También se contaba con el estudio realizado a un equipo reparado por parte de un especialista de la compañía que suministraba el dispositivo electrónico. Este punto fue de gran ayuda al momento de reforzar las sospechas que se tenían con respecto a una diferencia de potencial de modo común ocasionada por una descarga atmosférica.

Como se ha observado, para garantizar la continuidad en el servicio, el sistema se diseño flotado, es por esto que una opción de solución no debe ser el aterrizar el sistema, sin embargo la naturaleza de ser un sistema flotado lo hace mas susceptible a fallas de tipo de modo común, se propuso instalar entonces supresores de alta energía, de manera que el sistema siga flotado pero los supresores limitaran las excursiones de los sobrevoltajes con respecto a tierra.

Se ha hecho también un breve análisis del funcionamiento, características y diferentes tecnologías de las que pueden estar conformadas un supresor, también se analizó las diferencias y ventajas de los supresores serie y paralelo, así como una serie de recomendaciones para su instalación.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIAS

- [1] Electrical Transients in Power Systems, Greenwood A., Wiley Interscience, segunda edición, New York, 1991.
- [2] Filtering techniques to minimize the effect of long motor leads on PWM inverter fed AC motor drive systems, Jouanne A. Von, Rendusara D., Enjeti P., Gray W. Power Electronics Laboratory, Texas A&M University, 1995.
- [3] Output Filters for PWM Drivers, Transmission, Distribution & Industrial Systems Division, Kéwork Haddad, General Electric, New York, 1999
- [4] Electric Drives, Boldea Ion, Nasar S. A., Primera edición, SRC, 1999.
- [5] Eliminating motor failures due to IGBT-Based drives when connected with Long Leads, Hibbard John, Hayes Nicholas, Trains-Coil Inc., Milwaukee.
- [6] KLR Series-Brochure. Performance and Protection for drives. Trans-coil,inc. Milwaukee.
- [7] Adjustable Frequency Drives Application Guide, Publication No. TD.08H.17.T.E, Clutler-Hammer, Milwaukee, Wisconsin, 2000.
- [8] Motor Protection Filters, Form #1164C, MTE Corporation, Menomonee Falls, Wisconsin, 2001
- [9] Transient Analysis Program for power and Power Electronic Circuits, Reference Manual, Microtran Power System Analysis Corporation, Vancouver Canada, 2002.

Referencia [1] Reporte de daños a tarjetas electrónicas realizado por iisamex

----- Original Message -----

From: [Fred Rowan](#)

To: [Antonio Estrada](#)

Cc: Dave Stewart

Sent: Tuesday, July 01, 2003 7:29 AM

Subject: Re: Fw: CFE SALTILLO (2) TR-132 (RMA-03193)

Antonio,

The Power Supply, Input boards, CPU and the harddrives were all fine, only the Acq cards had problems. Both Master Acq cards were bad, and caused the communication-problems and bad or no waveforms. The other ACQ boards caused other minor problems, like bad data at random times. Exactly what damaged the ACQ boards is unknown, as the Power supplies have the proper output with no spikes or AC content. **I would have to expect that the customer had a lightning strike near or close by the Sub Station. If they had enough of a ground rise potential with a large surge (spiking voltage) on the Power Supply, maybe this could have caused the problem.** It is also possible that someone tried to adjust the voltages on the ACQ card and touched two of the Ring lugs together. This would cause the same problem that I am seeing also, I have seen several customers do this. It is very easy to do, as the test points on the Acq cards are so close together. These are the only two things that I can think of that would have caused a problem like this, while not damaging other internal equipment.


Best Regards,

Fred Rowan

TRADUCCION:

Reporte de Danos

Referencia [2] Supresor comercial de CD de alta energía y algunas de sus características técnicas.



GE Capacitors, Arresters, and Power Quality Products

TRANQUELL® OEM High Energy Surge Protectors—9L10K Series

120 through 600 Volt Ratings

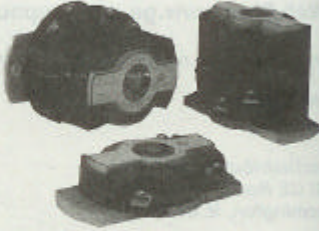
This HESP design is intended for mounting in OEM equipment or in an existing enclosure to offer protection against internally & externally generated surges. UL-1449, Second Edition Recognized Component designed and tested according to ANSI/IEEE C62.41 and C62.45.

Features:

Energy Capability Options
This high energy capability option permits survivability in demanding environments and a lower clamping level for better protection.

High Surge Current Capability
The 78mm HESP protective elements are designed and tested at 100kA per mode.

Parallel or Series Connection
Unfused protectors are suitable for series connection in circuits rated up to 100 amps continuous, and T-connection (parallel) with no limitation on continuous load current.
The ability to connect the units in the series configuration offers optimum protection. This connection keeps lead length inductive voltage to a minimum and provides the lowest protective levels for each rating.



Dependable Protection
The unique zinc oxide "valve" element inside each TRANQUELL® arrester gives you improved overvoltage protection. These tough elements can handle surge after surge with no trouble, no breakdown, no repairs. **Your TRANQUELL® arrester's protective ability will remain UNCHANGED throughout its service life.**

Common Mode Protection Option
In addition to normal mode protection (L-L and L-N), HESP offers common mode protection (L-G and N-G) for 3-phase wye and single-phase 1 or 2 pole devices. This optional protection is recommended for devices remotely located from the system neutral to ground bond.

Catalog Number ¹	Energy Rating (Joules per Phase)	Nominal Voltage and Configuration (Volts, msc)	Max. Continuous Operating Voltage (Volts, msc)	1 Second Temporary Overvoltage (Volts, msc)	Diag. Fig. page 18-3	UL-1449, Second Edition Suppressed Voltage Rating (SVR) with ² leads			
						L-N	M-G ³	L-G ³	L-L
9L10KA1112	950	120V 1 Phase 2 Wire	Line-Neutral 138V	L-N 143V	1	400	350	—	—
9L10KA132ND	2665					400	350	—	—
9L10KAG314	900	300 Wye/120V 3 Phase, 4 Wire	Line-Neutral 138V Line-Line 239V	L-N 143V L-L 317V	3,4	400	350	700	75
9L10KAG334ND	2688					400	350	700	75
9L10KAC113	1900	120/240V 1 Phase, 3 Wire	Line-Neutral 138V Line-Line 276V	L-N 143V L-L 367V	2	400	400	700	75
9L10KAC132ND	2688					400	400	700	75
9L10KAD113	1500	240/480V 1 Phase, 3 Wire	Line-Neutral 276V Line-Line 522V	L-N 287V L-L 734V	2	700	700	1300	125
9L10KAD132ND	5376					700	700	1300	125
9L10KAE112	1900	240V 1 Phase 2 Wire	Line-Neutral 276V	L-N 367V	1	700	700	—	—
9L10KAE132ND	5376					700	700	—	—
9L10KAF313	1900	240 Delta 3 Phase, 3 Wire	Line-Line 276V	L-L 367V	5,6	—	—	700	128
9L10KAF332ND	5376					—	—	700	128
9L10KAG314	1108	240 Wye/138V 3 Phase, 4 Wire	Line-Neutral 158V Line-Line 276V	L-N 211V L-L 366V	3,4	400	400	800	80
9L10KAG334ND	3102					400	400	800	80
9L10KAL112	3840	480V 1 Phase 2 Wire	Line-Neutral 552V	L-N 734V	1	1500	1500	—	—
9L10KAL132ND	10752					1500	1500	—	—
9L10KAK313	3840	480 Delta 3 Phase, 3 Wire	Line-Line 552V	L-L 734V	5,6	—	—	800	180
9L10KAK332ND	10752					—	—	800	180
9L10KAL314	2218	480 Wye/277V 3 Phase, 4 Wire	Line-Neutral 318V Line-Line 552V	L-N 424V L-L 734V	3,4	800	800	1500	170
9L10KAL334ND	6202					800	800	1500	170
9L10KAM312	4600	575 Delta 3 Phase, 3 Wire	Line-Line 661V	L-L 878V	5,6	—	—	1500	180
9L10KAM332ND	12850					—	—	1500	180
9L10KAN314	2900	575 Wye/332V 3 Phase, 4 Wire	Line-Neutral 381V Line-Line 661V	L-N 507V L-L 878V	3,4	900	900	1500	180
9L10KAN334ND	7840					900	900	1500	180

DEFINICIONES

Dentro del tema de Calidad en la Energía es necesario conocer los términos mas comunes utilizados para referirse y distinguir a los diferentes fenómenos eléctricos que se pueden presentar en la operación del sistema eléctrico, A continuación se enuncian algunos de las definiciones mas comunes de calidad de energía eléctrica:

- *Sobrevoltaje Transitorio*. Disturbio en el voltaje de alimentación que dura menos de medio ciclo y que inicialmente tiene la misma polaridad que el voltaje normal de manera que el disturbio se suma a la forma de onda nominal ya sea en su parte positiva o negativa.

Los disturbios son ocasionados principalmente por maniobras de switcheo y descargas atmosféricas.

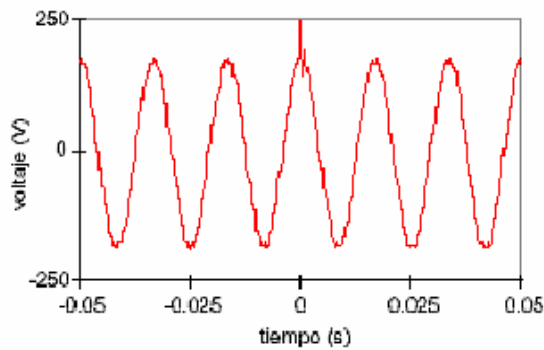


Ilustración 1 Sobrevoltaje Transitorio Típico.

- *Hendidura de voltaje (notchs)* Disturbio en el voltaje de alimentación que dura menos de medio ciclo y que inicialmente tiene polaridad opuesta al voltaje normal de manera que el disturbio se resta a la forma de onda nominal. Comúnmente ocasionado por la conmutación de equipo eléctrico.

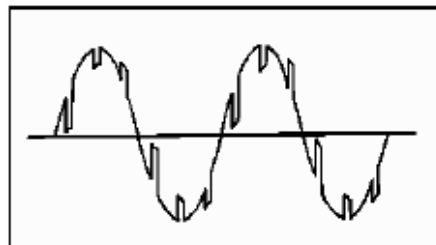


Ilustración 2 Hendidura de Voltaje Típica.

- *Depresión de voltaje (sags)* Es un decremento momentáneo de varios ciclos de duración en el nivel de voltaje, desde medio ciclo hasta 3600 ciclos (8.33ms a 1min). Comúnmente ocasionado por la conexión de grandes cargas, y fallas en la red eléctrica.

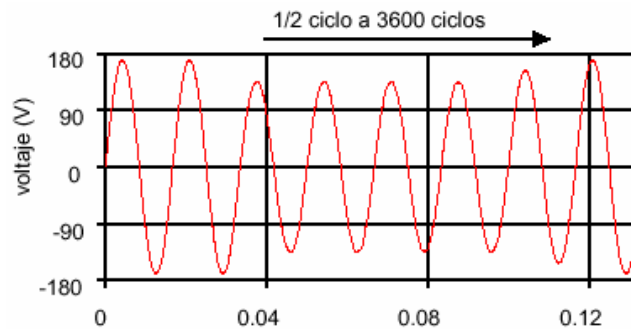


Ilustración 3 Depresión de Voltaje Típica.

- *Dilatación de voltaje (swells)* Es un incremento momentáneo de varios ciclos de duración en el nivel de voltaje desde medio ciclo hasta 3600 ciclos (8.33ms a 1min). Comúnmente ocasionado por la desconexión de grandes cargas y no llega a ser un sobrevoltaje.

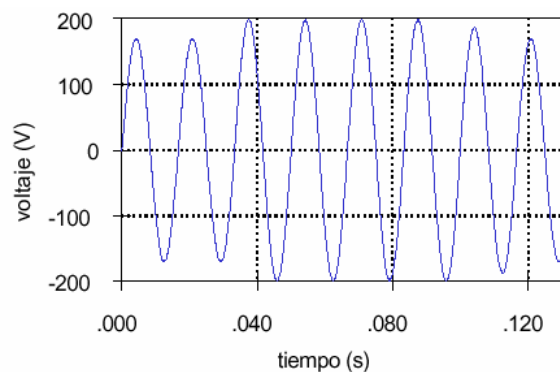


Ilustración 4 Dilatación de Voltaje.

- *Bajo voltaje (Undervoltage)* Es un decremento sostenido del nivel de voltaje de operación, de duración mayor a 1 minuto. Este fenómeno es causado por circuitos sobrecargados principalmente y/o una pobre regulación de voltaje.
- *Sobrevoltaje (Overvoltage)* Es un incremento sostenido del nivel de voltaje de operación, de duración mayor a 1 minuto. Este fenómeno es causado por una pobre regulación de voltaje y/o por la compañía suministradora.

- *Parpadeo (flickers)* Son fluctuaciones en el nivel de voltaje, este efecto se observa fácilmente en cambio de intensidad de fuentes luminosas y ruido acelerado y desacelerado de motores, comúnmente ocasionada por la operación de cargas cíclicas como arcos eléctricos.
- *Interrupción de energía* Es la pérdida total de potencia, se considera interrupción cuando el voltaje ha decrecido un 15% de valor nominal o menos. Comúnmente ocasionado por la apertura de líneas, daño de equipo eléctrico u operación de los sistemas de protección de la red.
- *Ruido eléctrico* Es la distorsión (no necesariamente periódica) de la forma senoidal del voltaje. Comúnmente ocasionado por switcheo, transmisiones de radio y equipo industrial de arco eléctrico.

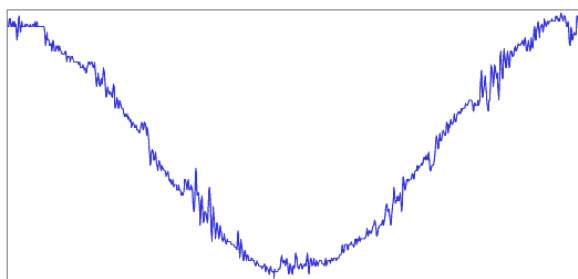


Ilustración 5 Ruido Electrico en la Señal de Voltaje.

- *Distorsión armónica* Es la distorsión periódica de la forma de onda senoidal del voltaje y la corriente, causada principalmente por la operación de equipos no lineales y hornos de arco eléctrico, este es un fenómeno de estado estable.

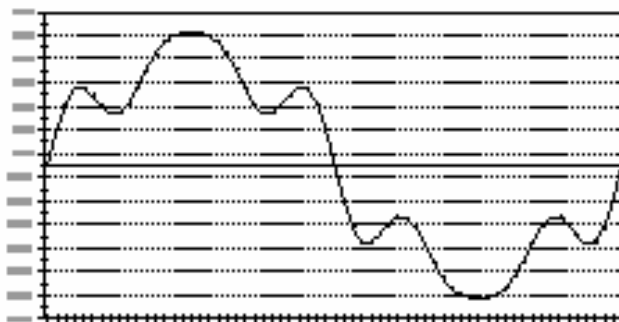


Ilustración 6 Forma de onda Fundamental y Tercera Armonica.