

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA EL MEJORADOR DE CRUDOS DE PDVSA PETROPIAR EN EL COMPLEJO CRIOGENICO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI.

Realizado Por:

JESUS GUILLERMO FRANCO ARVELAEZ

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad De Oriente como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

BARCELONA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA EL MEJORADOR DE CRUDOS DE PDVSA PETROPIAR EN EL COMPLEJO CRIOGENICO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI.

ASESORES:

Ing. Verena Mercado
Asesor Académico

Firma

Ing. Pablo Meléndez
Asesor Industrial

Firma

BARCELONA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE REGULADORES DE CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA EL MEJORADOR DE CRUDOS DE PDVSA PETROPIAR EN EL COMPLEJO CRIOGENICO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI.

JURADO:

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Ing. Verena Mercado
Asesor Académico

Ing. Luís Suarez
Jurado Principal

Ing. Lenin Natera
Jurado Principal

BARCELONA, ABRIL DE 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Haber llevado a cabo esta meta, no hubiera sido posible sin la ayuda de todas aquellas personas que de alguna u otra manera me brindaron su apoyo en todo momento en mi carrera universitaria, a ellos mil gracias:

A Dios Todopoderoso por guiarme a lo largo de mi camino.

A mis padres, Sheila del Carmen y Carlos Gerónimo, por su gran comprensión, confianza, paciencia y apoyo brindado, les dedico este triunfo, el fruto de sus esfuerzos.

A mi hermana, Kharla Kheila Bendita, por su apoyo siempre incondicional en los momentos en los que lo necesité.

A mis abuelos, Esperanza, Rafaela, Guillermo y Jesús, que siempre estuvieron ahí, guiándome por el buen camino y siempre dándome claridad en la mente.

¡Para Ustedes!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a toda mi familia y en especial a mis padres, Sheila y Carlos. Gracias de verdad por creer en mí y brindarme siempre su apoyo incondicional en todas las metas que me he trazado. A mis tíos que siempre me estuvieron apoyando; Mario, Jorge, Juan, Chicho y Pachi. Y a mi primo Juan Miguel, que es mi hermano.

A la Universidad de Oriente, y en especial al Departamento de Electricidad, por haber sido la base de mi formación profesional. A los profesores Santiago Escalante y Luis Parraguez por enseñarme que la honestidad y el profesionalismo siempre tienen que estar por delante. Y al profesor Enrique Serrano que me enseñó que el estudio, el esfuerzo y la dedicación no son suficientes para alcanzar el éxito.

A mi asesora Verena Mercado, por su ayuda y ser consecuente con mi persona.

A mis compañeros, José Javier, Daniel Indriago, Vicente, Juan Francisco, Carlos Dos Santos, Jesús Lara, Julio Cesar, Raúl, Juan José, Reivis, La Chiqui, Eduardo, Antonio, Edraz, Carlos Salazar, Fred y a todos los que compartieron conmigo en clases.

A Eimmy Mendoza, por siempre haber estado allí apoyándome, entendiéndome, acompañándome y queriéndome durante gran parte de mi carrera. Gracias de verdad, sin ti esto no hubiese sido posible.

¡Gracias de Verdad!

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiv
CAPÍTULO I	16

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA, PROBLEMA Y METODOLOGIA	16
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.	16
1.1.1. Ubicación Geográfica.	16
1.1.2. Reseña Histórica.	17
1.1.3 Visión del Mejorador PDVSA-PETROPIAR.	19
1.1.4 Misión del Mejorador PDVSA-PETROPIAR.	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
1.3 OBJETIVOS.	21
1.3.1 Objetivo General:	21
1.3.2 Objetivos Específicos:	21
1.4 METODOLOGIA.	22
1.4.1 El Tipo de Investigación	22
1.4.2 El Diseño de la Investigación	23
1.4.3 La Población	23
1.4.4 Las Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	24
1.4.5 Los Procedimientos y el Análisis de los Datos	25
CAPÍTULO II	27
MARCO TEÓRICO	27
2.1 INTRODUCCIÓN	27
2.2 ANTECEDENTES	27
2.3 FUNDAMENTOS TEORICOS	28
2.3.1 Sistema Eléctrico	28
2.3.2 La Calidad de la Energía	29
2.3.3 Parámetros de calidad de energía	31
2.3.4 Normas que rigen la calidad de la energía.	59
2.3.5 Cargas Críticas y Sensibles	61
2.3.6 Subestación Electrica	62
2.3.7 Medidor de Calidad de Energía (RELE MULTILIN).	62
2.3.8 Ride Through	62
2.3.9 Sistemas DC	64
2.3.10 Generadores de Emergencia	64
2.3.11 Black-Out	64
2.3.12 Mantenimiento Preventivo Basado en Condición (MBC)	65
2.3.13 Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	65
2.3.14 Mantenimiento Detectivo o búsqueda de fallas (bf)	65
2.3.15 Categorías de consecuencias	65
2.3.16 Configuración Secundario Selectivo	65

CAPITULO III	67
DESCRIPCION DEL SISTEMA Y ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y RESPALDO CON LOS QUE CUENTA LA EMPRESA	67
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PDVSA PETROPIAR.	67
3.1.1 Subestación Eléctrica 10A.	68
3.1.2 Medidor de Calidad de Energía (Relé Multilin EPM).	70
3.2 ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y RESPALDO CON LOS QUE CUENTA LA EMPRESA.	73
3.2.1 Relé Multilin EPM.	73
3.2.2 Sistema de Energía Ininterrumpida (UPS).	76
3.2.3 Sistemas DC.	81
3.2.4 Ride Through.	85
3.2.5 Generadores de Emergencia Diesel.	89
CAPITULO IV	94
DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS Y PERTURBACIONES	94
4.1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO, BASADO EN LA DATA EXISTENTE PROPORCIONADA POR EL RELÉ.	94
4.1.1 Introducción	94
4.1.2 Parámetros Medidos	94
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS	95
4.2.1 Mediciones y observaciones en el año 2004	95
4.2.2 Mediciones y observaciones en el año 2005	101
4.2.3 Mediciones y observaciones en el año 2006	110
4.2.4 Mediciones y observaciones en el año 2007	119
4.3 IDENTIFICACIÓN FALLAS Y PERTURBACIONES POR CAUSA DE LA DEFICIENCIA EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.	121
4.3.1 Identificación de Depresiones de Tensión (Sag)	121
4.3.2 Identificación de Crestas de Tensión (Swell)	130
CAPITULO V	147
PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	147
5.1 INTRODUCCIÓN	147
5.2 ANALISIS DEI INDICADOR RELÉ MULTILIN EPM	147
5.3 PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES	148

5.4 PROPUESTA DE UN NUEVO SISTEMA DE INDICADORES PARA LA MEDICIÓN, REGISTRO Y MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA.	150
5.4.1 Relé EPM 9650	150
CONCLUSIONES	148
RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFÍA	161
8.1 Bibliografía Citada	161
8.2 Bibliografía Adicional	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	163
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación Geográfica del Mejorador PETROPIAR.....	16
Figura 1.2 Ubicación Geográfica del Campo Ayacucho en la Faja.....	17
Figura 1.3 Mejorador Petropiar, Complejo Industrial José, Venezuela...	18
Figura 1.4. Diagrama de Bloques del Mejorador de Crudo	19

PETROPIAR.....	
Fig.2.1. Clasificación de las Variaciones de Tensión.....	35
Fig.2.2. Circuito Equivalente (Unifilar).....	36
Fig.2.3. Diagrama Fasorial.....	37
Fig.2.4. Ejemplo de Fluctuación de Tensión Eficaz.....	38
Fig. 2.5. Efecto de un cambio de tensión sobre el flujo luminoso de una lámpara incandescente.....	41
Fig. 2.6. Hueco o Sag de tensión.....	42
Fig. 2.7. Cresta o Swell de tensión.....	43
Fig. 2.8. Interrupción de Suministro.....	44
Fig. 2.9. Sobretenión en un sistema.....	46
Fig.2.10. Representación Gráfica de las Componentes Simétricas.....	49
Fig.2.11. Descomposición gráfica. (las contribuciones respectivas a las tres fases indicadas con U,V,W se añaden como fasores para obtener el sistema desequilibrado real).....	49
Fig. 2.12. Características de velocidad de par (deslizamiento) de una máquina de inducción en condiciones de alimentación desequilibrada....	54
Fig. 2.13. Esquema de conexión para la alimentación de un motor de inducción con un componente algo desequilibrado.....	55
Fig. 2.14 Onda fundamental con 3era y 5ta armónica.....	57
Fig. 2.15. Forma de onda de corriente distorsionada.....	58
Fig. 2.16. Espectro armónico de puente de seis pulsos.....	61
Fig. 2.17. Filtro pasivo de armónicos en paralelo con la carga.....	63
Fig. 2.19. Compensador activo de armónico.....	65
Fig. 2.20. Transitorio tipo Impulso.....	66
Fig. 2.21. Transitorio tipo oscilatorio de alta frecuencia.....	67
Fig. 2.22. Transitorio tipo oscilatorio de baja frecuencia.....	68
Fig. 2.23. Configuración Secundario Selectivo.....	78
Figura 3.1 Diagrama de la Subestación Eléctrica Jose de Edelca y TAEJ.....	80
Figura 3.2 Diagrama de la Subestación TAEJ y 10A.....	81
Figura 3.3 Diagrama de la Ramificación de las 12 Subestaciones.....	82
Figura 3.4 Plan de Mantenimiento del Relé Multilin EPM.....	87
Figura 3.5 Plan de Mantenimiento del Relé Multilin EPM.....	88
Figura 3.6 Inspección Visual de celda donde se Localiza el Relé.....	89
Figura 3.7 Plan de Mantenimiento para el UPS Battery Rack.....	92
Figura 3.8 Plan de Mantenimiento para el UPS Fused Panel (Panel de	93

Fusibles).....	95
Figura 3.9 Plan de Mantenimiento para el UPS Unit Charger.....	95
Figura 3.10 Plan de Mantenimiento para los Battery Bank (Banco de Baterias).....	98
Figura 3.11 Plan de Mantenimiento para el Rectificador del Sistema DC.....	100
Figura 3.12 Plan de Mantenimiento para el Ride Through.....	105
Figura 3.13 Plan de Mantenimiento de Generadores de Emergencia Diesel.....	109
Figura 3.14 Plan de Mantenimientos Panel de Generador de Emergencia.....	110
Figura 4.1 Perfil de la Frecuencia en el Año 2004 proporcionada por Relé Multilin EPM.....	119
Figura 4.2 Perfil de la Frecuencia en el Año 2005 proporcionada por Relé Multilin EPM.....	126
Figura 4.3 Perfil de la Frecuencia en el Año 2006 proporcionada por Relé Multilin EPM.....	132
Figura 4.4 de la Frecuencia en el Año 2007 proporcionada por Relé Multilin EPM.....	134
Figura 4.5 Perfil de los Sags en el Año 2004.....	138
Figura 4.6 Perfil de los Sags en el Año 2005.....	141
Figura 4.7 Perfil de los Sags en el Año 2006.....	144
Figura 4.8 Perfil de los Swell en el Año 2005.....	145
Figura 5.1. Relé EPM 9650.....	151
Figura 5.2. Relé EPM 9650.....	152
Figura 5.3. Informes de Análisis de Formas de onda.....	154
Figura 5.4. Integridad del sistema de Análisis de Información.....	155
Figura 5.5. Pantalla LCD del Relé EPM 9650.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Normas ANSI sobre variaciones de larga duración.....	45
Tabla 2.2. Norma IEEE STD 519. Límites de Distorsión Armónica.....	70
Tabla 2.3. Norma IEEE 1159.1995.....	71
Tabla 4.1. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilín EPM.....	115
Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilín EPM.....	120
Tabla 4.3. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilín EPM.....	128
Tabla 4.4. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilín EPM.....	134
Tabla 4.5. Sag Presentados para 2004.....	136
Tabla 4.6. Sag Presentados para 2005.....	140
Tabla 4.7. Sag Presentados para 2006.....	142
Tabla 4.8. Swell Presentados para 2005.....	145
Tabla 5.1 Requisitos para el Sistema de Indicadores de Calidad de Energía.....	149

RESUMEN

En la actualidad en el mejorador de PDVSA Petropiar existe un alto nivel de incertidumbre respecto a la condición operativa de los equipos y componentes del sistema eléctrico ante perturbaciones del sistema eléctrico nacional, debido a que no existe un sistema de indicadores que arroje un diagnóstico integral de la calidad del servicio eléctrico que llega a dicho mejorador; viéndose afectado por constantes fallas que se presentan en el sistema, tales como, flickers, sags, fluctuaciones de tensión, etc., ocasionando el mal funcionamiento de equipos y maquinarias, debilitamiento de aislamiento, sobrecalentamiento en transformadores, pérdidas materiales y posibles pérdidas humanas.

Solo se cuenta con un relé de tipo EPM para el muestreo de la calidad de servicio. Y en el caso de presentarse alguna falla o perturbación se contaría con un sistema Ride Through como medida de mitigación, además de sistemas UPS, sistemas DC y sistemas de generación de energía.

Tampoco existe un sistema automatizado que permita recopilar la data actual e histórica de las perturbaciones del sistema eléctrico donde se pueda promediar, caracterizar y realizar cálculos para tratar de anticipar posibles eventos que pudieran presentarse en el mismo.

Por esto ha surgido la necesidad de realizar la propuesta de un sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica, la cual consiste en desarrollar un sistema que permita caracterizar las fallas y perturbaciones, y la recolección de datos de la calidad del suministro eléctrico. De esta forma, es posible generar consultas e informes con distintos niveles de agregación acerca del cumplimiento de los estándares del servicio prestado, así también, proponer mejoras en el sistema eléctrico para mitigar los efectos y consecuencias de dichas perturbaciones.

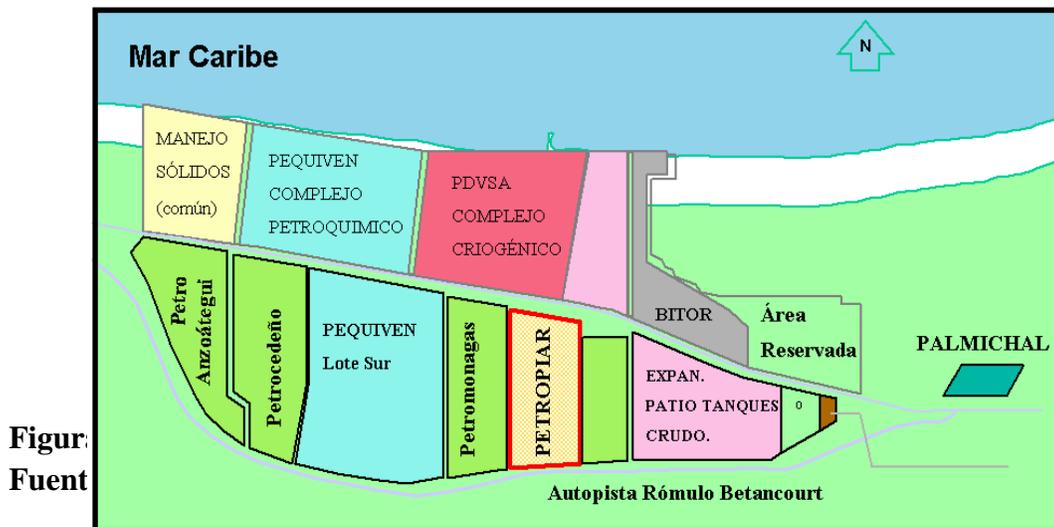
CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA, PROBLEMA Y METODOLOGIA

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.

1.1.1. Ubicación Geográfica.

PDVSA-PETROPIAR se encuentra ubicada en el Condominio Industrial José Antonio Anzoátegui, carretera de la costa entre el municipio Peñalver (Puerto Piritu) y el municipio Bolívar (Barcelona). Limita al norte con PDVSA GAS, al sur con la autopista Rómulo Betancourt, al este con una zona baldía y al oeste con PDVSA PETROMONAGAS, tal como se observa en la figura 1.1.



Figur:
Fuent

1.1.2. Reseña Histórica.

PDVSA-PETROPIAR nace en el año de 1997, siendo una de las cuatro asociaciones estratégicas que formó PDVSA para la explotación del crudo extra-pesado de la Faja del Orinoco. En esta sociedad participaron PDVSA (30%), Conoco Phillips (40%) y Chevron Texaco (30%), la cual fue llamada Proyecto Hamaca, pues así se llamó el área de la Faja donde están ubicados los yacimientos adjudicados a esta empresa. En la actualidad recibe el nombre de campo Ayacucho y cuenta con un área de 463,07 km², y se encuentra entre los campos Junín y Carabobo, como se muestra en la figura 1.2, los cuales pertenecen a las empresas PETROANZOATEGUI y PETROMONAGAS respectivamente.

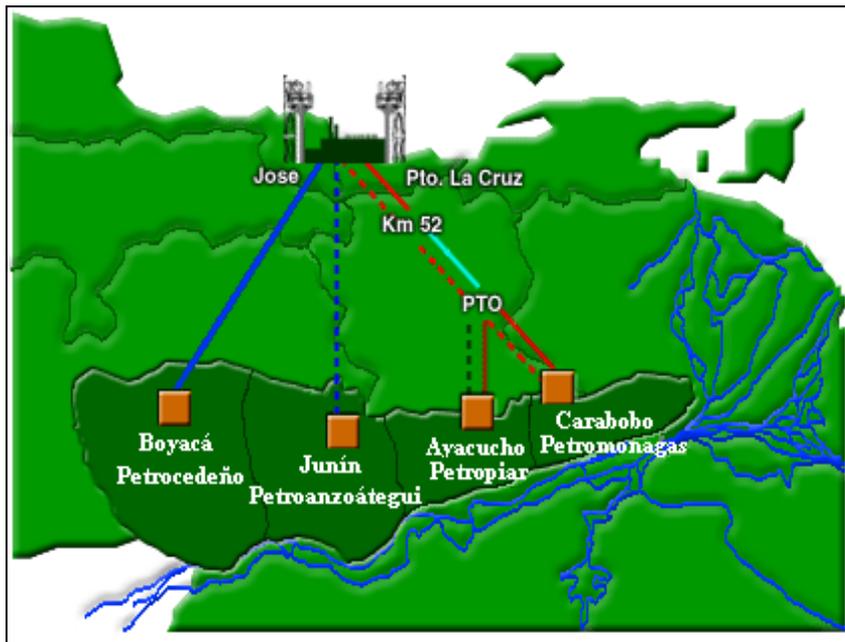


Figura 1.2 Ubicación Geográfica del Campo Ayacucho en la Faja.

Fuente: PDVSA PETROPIAR.

La firma del convenio de asociación se efectuó en julio de 1997 e inmediatamente arrancó la fase de ingeniería básica. En mayo de 1998 se comenzó con la sísmica tridimensional y a mediados del año 1999 la empresa comenzó con la licitación de los paquetes de ingeniería, procura y construcción, proceso que concluyó en agosto de 2000 con la adjudicación del mismo consorcio liderado por Flúor Daniel y la empresa venezolana Inelectra. La producción temprana se inició en 2002, y el mejoramiento se comenzó en el último trimestre de 2004.

Desde el año 2004 hasta el 2007 continua siendo Petrolera Ameriven S.A., lo cual cambio con la publicación del artículo 5200 en gaceta oficial el 26 de febrero de 2007, donde Petrolera Ameriven paso a ser empresa mixta, ahora con una asociación entre PDVSA (70%) y Chevron-Texaco (30%). El 1 de mayo de 2007, la empresa se nacionalizo y a partir del 1 de enero de 2008, paso a ser PDVSA PETROPIAR, como se observa en la figura 1.3.



Figura 1.3 Mejorador Petropiar, Complejo Industrial José, Venezuela.

Fuente: PDVSA PETROPIAR.

En el mejorador PDVSA-PETROPIAR, el crudo extra-pesado es tratado bajo procesos químicos que lo mejoran considerablemente, y es transportado por el Terminal de Almacenamiento y Embarque de Crudo en José (TAEJ), estado Anzoátegui, a través del puerto de despacho hacia las refinerías en el exterior. En dicho mejorador se procesa la mezcla de 190000 barriles estándar por día (BSPD) de crudo extra-pesado de 8.5°API (American Petroleum Institute), diluido con 58000 BSPD de nafta de 47°API, para una carga total de crudo diluido de 248000 (BSPD) de 16°API. El crudo diluido contiene los siguientes contaminantes: 3.16% de azufre (S), 1244 ppm (partes por millón) de nitrógeno básico (N), 4577 ppm de nitrógeno total, 63 ppm de níquel (Ni) y 249 ppm de vanadio (V). Al final del proceso se obtiene 180000 (BSPD) de crudo sintético entre 24 y 26°API, al cual se le ha mejorado considerablemente su calidad, con un menor contenido de contaminantes: 1.6% de azufre, 2700 ppm de nitrógeno, 49 ppm de níquel y 171 ppm de vanadio, de

1.1.4 Misión del Mejorador PDVSA-PETROPIAR.

Operar una empresa competitiva reconocida por producir un crudo de alta calidad de forma más segura, confiable, innovadora y rentable, con la mayor conciencia ambientalista y socialmente responsable.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

PDVSA Petropiar se encuentra ubicada en el Condominio Industrial de JOSE, Estado Anzoátegui, y se encarga del mejoramiento de crudo extra pesado proveniente del campo Ayacucho, en la Faja Petrolífera del Orinoco en el este de Venezuela. El campo Ayacucho se encuentra ubicado, aproximadamente, a 200 kilómetros al sur de la Costa del Caribe. Esta empresa procesa la mezcla de 190 MBDO (miles de barriles diarios de crudo), extra pesado de 8,5 °API, diluido con 58 MBDO de nafta de 47 °API, para una carga total de crudo diluido de 248 MBDO de 16 °API. Al final del proceso se obtienen 180 MBDO de crudo sintético entre 24 y 26 °API, el cual se ha mejorado considerablemente en calidad, con un menor contenido de contaminantes. Este mejorador consta de diez áreas, las cuales están conformadas por unidades, siendo un total de treinta y siete unidades agrupadas dentro del mismo.

La nacionalización de la faja petrolífera del Orinoco trajo como consecuencia que las empresas como Ameriven, Petrozuata, Sincor y Operadora Cerro Negro, dedicadas a la extracción y mejoramiento de crudo extra pesado, pasaron a formar parte de la estatal PDVSA, llamadas ahora: Petropiar, Petroanzoátegui, Petrocedeno y Petromonagas respectivamente. Esto trajo consigo, entre otras cosas, que el mantenimiento de los activos pasara directamente a manos de la empresa Petropiar.

En la actualidad en el mejorador de PDVSA Petropiar existe un alto nivel de incertidumbre respecto a la condición operativa de los equipos y componentes del sistema eléctrico, ante perturbaciones del sistema eléctrico nacional, debido a que no existe un sistema de indicadores que arroje un diagnóstico integral de la calidad del servicio eléctrico que llega a dicho mejorador; viéndose afectado por constantes fallas que se presentan en el sistema, tales como, flickers, sags, fluctuaciones de tensión, etc., ocasionando el mal funcionamiento de equipos y maquinarias, debilitamiento de aislamiento, sobrecalentamiento en transformadores, pérdidas materiales y posibles pérdidas humanas.

Solo se cuenta con un relé de tipo EPM para el muestreo de la calidad de servicio. Y en el caso de presentarse alguna falla o perturbación se contaría con un sistema Ride Through como medida de mitigación, además de sistemas UPS, sistemas DC y sistemas de generación de energía.

Tampoco existe un sistema automatizado que permita recopilar la data actual e histórica de las perturbaciones del sistema eléctrico donde se pueda promediar, caracterizar y realizar cálculos para tratar de anticipar posibles eventos que pudieran presentarse en el mismo.

Por esto ha surgido la necesidad de desarrollar un sistema que permita caracterizar las fallas y perturbaciones, y la recolección de datos de la calidad del suministro eléctrico. De esta forma, es posible generar consultas e informes con distintos niveles de agregación acerca del cumplimiento de los estándares del servicio prestado. Este trabajo plantea entonces la propuesta de un sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica, donde se proporcionarían las herramientas necesarias para mitigar los efectos y consecuencias de dichas perturbaciones en el sistema eléctrico.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General:

Proponer un sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica para el mejorador de PDVSA PETROPIAR.

1.3.2 Objetivos Específicos:

Describir el sistema de detección de fallas y perturbaciones.

Inspeccionar el estado actual de los equipos de medición y respaldo con los que cuenta la empresa.

Realizar un diagnóstico del sistema eléctrico en la subestación principal del mejorador, basado en la data existente proporcionada por el relé.

Identificar fallas y perturbaciones por causa de la deficiencia en la calidad de energía.

Formular el sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica.

1.4 METODOLOGIA.

1.4.1 El Tipo de Investigación

Este tipo de estudio dada la característica presentada se ubica dentro de una investigación de campo a nivel descriptivo, bajo el enfoque de la modalidad de proyecto factible, por cuanto se presenta una solución viable ante una problemática planteada.

En virtud de ello Narváz (1997), argumenta que la investigación descriptiva es aquella que se encarga de “describir, registrar, analizar e interpretar la naturaleza actual, la composición o los procesos de fenómenos para presentar una interpretación correcta”. (Pág. 35).

Según Sabino, (1986); define: “La investigación descriptiva, se propone conocer grupos homogéneos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento”. (Pág. 384).

Este tipo de investigación tiene el firme propósito de detallar los aspectos principales de un proceso, bajo determinados parámetros o criterios que responden a las necesidades de la investigación, permitiendo visualizar las características del fenómeno, resaltando su estructura y mostrando el efecto del mismo en todas las partes que lo componen.

Se define investigación de campo debido a que los datos se recopilaron en forma directa en el mejorador de crudo PDVSA Petropiar, lo cual permite realizar la investigación; Sabino (2000), señala que:

“El Diseño de Campo son todos aquellos de interés que se recoge en forma directa de la realidad, mediante el trabajo correcto del investigador y su equipo. Este se basa en la información o datos primarios obtenidos directamente de la realidad como al igual con datos secundarios que son recolectados de otras investigaciones”. (Pág. 93).

Para la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2001).

“La investigación de campo: “es el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlo, interpretarlo, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o producir su ocurrencia haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoque de investigación conocido o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos de forma directa de la realidad, en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios” (Pág. 5).

Para la realización de esta investigación y de acuerdo con el objetivo del tema que consiste en, proponer un sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica para el mejorador de crudo de PDVSA Petropiar en el complejo criogénico Jose Antonio Anzoátegui.

Se requiere de una serie de aspectos que complementen su contenido y que son necesarios para el desarrollo de la misma.

1.4.2 El Diseño de la Investigación

En este trabajo la metodología es: Según el propósito de la investigación, según el nivel de conocimientos es de tipo descriptivo y según la estrategia empleada es documental y de campo.

1.4.3 La Población

Mario Tamayo y Tamayo (1998), en su libro de Metodología de la Investigación, define la población como:

“La población es la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (Pág. 114).

Según Balestrini, (2002)

“Define población: “Un conjunto finito de personas, casos o elementos que presentan características comunes, de los cuales pretendemos indagar, para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”. (Pág. 137).

En esta investigación los datos que permiten la evaluación a objeto de estudio, serán la totalidad de los elementos que conforman el mejorador de crudo de PDVSA Petropiar en el complejo criogénico Jose Antonio Anzoátegui.

1.4.4 Las Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Son los recursos de los que dispone el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Dicha recolección depende en gran parte del tipo de investigador y del problema que se planteó.

Según Arias, F. (1997) “las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información”. (Pág. 35).

Para el desarrollo de toda investigación es necesario el uso de ciertos métodos que permitirán recabar información a objeto de estudio, las técnicas utilizadas para el desarrollo de la investigación fue:

Observación Directa, Participante.

Entrevista no estructurada.

Revisión Documental.

1.4.4.1 La Observación Directa, Participante

Se utiliza esta técnica para obtener los datos necesarios a fin de conocer los valores reales de tensión, corrientes, fallas, perturbaciones, etc. Que abarca el sistema de los equipos de medición y respaldo del mejorador de crudo de PDVSA Petropiar en el complejo criogénico Jose Antonio Anzoátegui.

1.4.4.2 La Entrevista No Estructurada

En este método, se obtuvo todos los datos necesarios mediante preguntas formales, en el cual las respuestas tienden a ser espontáneas o por lo menos surjan con mayor libertad.

Esta técnica fue de gran ayuda puesto que parte de la información necesaria para la investigación se obtuvo de las personas que laboran en el departamento de planificación, ingeniería y mantenimiento.

Según Hernández, Fernández y Baptistas (2003),

“Son aquellas que se fundamentan en una guía general con temas no específicos y el entrevistador tiene toda la flexibilidad para manejarlas” (Pág. 455).

1.4.4.3 La Revisión Documental

Esta técnica se aplicó con el objeto de recolectar elementos teóricos, primarios, libros, planos, manuales, informes que estén relacionados directamente con la empresa. Y elementos secundarios, como tesis que se relacionen con la investigación.

Esta técnica permitió la adquisición y autenticidad de la información específica que se investigó; la cual se consolidó en la documentación que se necesitó, para respaldar las bases teóricas del sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica.

Acevedo y otros (1990),

Define que “Se basa en el estudio de documentos, entendiendo por tales, todo aquello que bajo en forma de relativa permanencia puede servir para suministrar o conservar la información” (Pág. 118).

1.4.5 Los Procedimientos y el Análisis de los Datos

Una vez recopilada la información necesaria a través de los instrumentos diseñados para tal fin, se procedió a la cuantificación y sistematización de los resultados para luego realizar la evaluación respectiva y finalmente tabularlos.

Esta técnica establece reglas a través de las cuales los datos pueden representarse gráficamente, para ello, se utilizarán cuadros comparativos, también se realizó un análisis cualitativo de los datos obtenidos de las entrevistas no estructuradas aplicadas al personal a fin de obtener una visión amplia acerca del desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo este trabajo de grado es de gran importancia definir los fundamentos teóricos más resaltantes, mediante los cuales se podrá tener un total dominio del contenido a desarrollar y que nos ayudarán a un mejor entendimiento de los temas y conceptos, comenzando por la descripción del sistema eléctrico y continuando con todos los parámetros que serán objeto de estudio, determinantes en el análisis y propuesta de mejora para dicho sistema eléctrico.

2.2 ANTECEDENTES

En la etapa inicial de la revisión bibliográfica de este proyecto se indagó entre trabajos de grado del área de interés, encontrándose como precedente el estudio realizado en el 2005 por García L. Douglas D. [1], donde fueron realizados estudios del efecto de los armónicos en la calidad del servicio prestado por la empresa Eleoriente Cumaná Estado Sucre, donde se concluyó que la presencia de armónicos y otros factores en el sistema originaron una gran variedad de perturbaciones en las cuales se observaron pérdidas en el suministro de energía que presta la empresa a esta zona.

En enero de 2002 se presentó otro trabajo de grado que sirvió de orientación, presentado por Fernández O. Lilian F. [2], donde se evaluó la contaminación de los armónicos presentes en las cargas conectadas en la línea N°2 de la Subestación Morichal de PDVSA, donde se determinó que la razón fundamental de la presencia

de armónicos era la utilización de variadores de frecuencia para controlar la velocidad de los motores utilizados en el bombeo de los pozos, los cuales incorporan al sistema armónicas de 5^{to} y 7^{mo} orden en magnitudes que exceden los límites establecidos por la IEEE.

En abril de 2007 el Br. Tirso Mundarain presentó un trabajo de grado, donde llevó a cabo un estudio del comportamiento de los reactivos para mejorar los perfiles de tensión en el sistema eléctrico de la refinería puerto la cruz utilizando un programa computacional, cuyo resultado demostró la influencia importante que tiene el alto consumo de potencia reactiva en el comportamiento de un sistema eléctrico como el de la Refinería de Puerto La Cruz.

2.3 FUNDAMENTOS TEORICOS

2.3.1 Sistema Eléctrico

Se entiende por sistema eléctrico a un conjunto de dispositivos cuya función es proveer la energía necesaria para el arranque y correcto funcionamiento de los equipos eléctricos tales como luces, electrodomésticos, motores eléctricos en general y diversos instrumentos. Cuando los expertos diseñan un sistema eléctrico lo hacen pensando en cómo proveer energía aún en las peores condiciones de operación. Un sistema eléctrico puede encontrarse alrededor de nuestra vivienda como también incorporado a ciertos equipos u objetos.

La energía se genera en centrales eléctricas, dicha central eléctrica es una instalación que emplea una fuente de energía para hacer girar una turbina y así producir corriente alterna sinusoidal a voltajes intermedios, entre 6.000 y 23.000 voltios. El sistema eléctrico es el medio que se utiliza para la distribución de la energía generada; para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte se encuentren interconectadas entre sí con una estructura en forma mallada; dichas líneas son construidas habitualmente sobre grandes torres metálicas y a tensiones que superan los 66.000 voltios. Las sub-estaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras y en los alrededores de zonas de consumo de energía eléctrica; las redes de distribución son las que se establecen en áreas urbanas y rurales, las mismas puede ser aéreas o subterráneas y tienen como función proporcionar electricidad a las viviendas para que éstas alimenten sus instalaciones.

2.3.2 La Calidad de la Energía

Probablemente, en la actualidad, el tipo de energía más utilizado en las actividades industriales y comerciales del mundo desarrollado es la energía eléctrica. Se trata de un producto muy peculiar, pues debe estar a disposición de los usuarios de una manera permanente y, sin embargo, no es posible su almacenamiento previo en cantidades importantes, por lo que debe generarse según se va necesitando. Por otro lado, no puede controlarse su calidad antes de estar en disposición de ser utilizado [1].

En el caso de la energía eléctrica, la situación es similar: debe garantizarse la continuidad del suministro y deben controlarse las tolerancias o límites de variación de sus características de tal manera que no ocasionen problemas al usuario. Por otro lado se trata de un producto que presenta peculiaridades muy especiales: la electricidad se genera lejos de los lugares de consumo; se mezcla en la red de transporte y distribución con más energía procedente de otros centros de generación y llegan a los puntos de consumo después de pasar a través de varios transformadores y recorrer muchos kilómetros de líneas aéreas y, posiblemente, algunos kilómetros más de redes subterráneas. Controlar la calidad de la energía entregada a los usuarios no es una tarea fácil y no existe un procedimiento que permita retirar del sistema la energía que no cumpla las especificaciones exigidas o que ésta pueda ser devuelta por el usuario al proveedor.

Las deficiencias más evidentes en el suministro de energía eléctrica son su corte o interrupción (cuya duración puede estar comprendida desde pocos segundos a varias horas) y las oscilaciones o bajadas de tensión, también denominados huecos de tensión, en las que ésta desciende, en algunos momentos, a valores inferiores a los considerados normales. Evidentemente, las interrupciones de suministro durante cortos o largos periodos de tiempo son un problema para todos los usuarios, sobre todo para aquellos clientes que cuentan con equipos sensibles dentro de sus instalaciones.

Algunos ejemplos de estas aplicaciones son:

Actividades que se desarrollan mediante procesos continuos, en las que breves interrupciones pueden alterar los ritmos de las cadenas de producción, acumulando grandes cantidades de productos semi-elaborados desechables. Un ejemplo podría ser

la industria del papel en la que las operaciones de limpieza de las máquinas son largas y costosas.

Los procesos de producción por etapas, en las que un corte o interrupción de los mismos puede inutilizar el resultado de las operaciones anteriores. Un ejemplo de este tipo es la fabricación de semiconductores, en la que la producción de una oblea requiere docenas de etapas que duran varios días y en las que una interrupción en una fase intermedia resulta catastrófica.

El proceso de datos, donde el valor de la transacción a efectuar es alto, pero su coste es reducido, como es el caso de las operaciones en los mercados de valores o en el cambio de divisas. La interrupción de la posibilidad de operar en un momento determinado puede provocar pérdidas cuyo valor puede exceder muchas veces el coste del proceso. En un caso reciente se exigió una compensación de quince millones de euros por una interrupción de veinte minutos en el suministro de energía eléctrica.

La Calidad de la Energía Eléctrica se refiere entonces a una fuente de suministro de energía perfecta que estuviese siempre disponible, dentro de las tolerancias de tensión y frecuencia exigibles, y presentase un perfil de onda perfectamente senoidal libre de perturbaciones [2].

Los defectos de la calidad de la energía - las desviaciones de aquella perfección pueden clasificarse en cinco tipos:

Distorsión armónica.

Cortes en el suministro.

Oscilaciones de la tensión.

Caídas y picos de tensión.

Fenómenos transitorios.

Cada uno de estos problemas de calidad de la energía tiene causas diferentes. Unos son el resultado de infraestructuras comunes a varios usuarios. Por ejemplo, un fallo en la red puede ocasionar una caída de tensión que afectará a varios usuarios y cuanto mayor sea el nivel de la avería mayor será el número de clientes afectados, o un problema en la instalación de un abonado puede provocar un fenómeno transitorio que afecte a otros usuarios del mismo subsistema. Otros problemas, como los

armónicos, se generan en la propia instalación del usuario y pueden propagarse, o no, a la red de distribución y afectar a otros clientes. Los problemas de distorsión armónica se pueden resolver mediante una combinación de adecuados procedimientos de diseño y el empleo de equipos de eliminación o reducción de armónicos de eficacia probada.

2.3.3 Parámetros de calidad de energía

La definición y caracterización de los distintos tipos de perturbaciones eléctricas ha ido variando con el tiempo, así como la importancia relativa entre unos tipos y otros. Una de las primeras perturbaciones tratadas fueron los armónicos debido a que eran producidos por los generadores de corriente alterna, además de la introducción de la electrónica a gran escala. La evolución de la consideración de las perturbaciones ha tenido como gestor importante el punto de vista del consumidor, ya que muchos de estos consideran los cortes como una deficiencia inherente del suministro eléctrico. Algunas de las perturbaciones más importantes son los Flickers, Bajadas de Tensión, Desbalance de Fases y Armónicos presentes en la red [3].

2.3.3.1 Parpadeo de Tensión o Flicker

El parpadeo es la impresión de inestabilidad de la sensación visual inducida por un estímulo luminoso, cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo. Generalmente se aplica a la variación cíclica de la intensidad de la luz de las lámparas producida por la fluctuación de la tensión de alimentación [4].

El parpadeo es un síntoma de la fluctuación de la tensión, que puede ser motivada por perturbaciones introducidas durante la generación, la transmisión o la distribución de la energía, pero que generalmente son provocadas por el uso de grandes cargas fluctuantes, es decir, cargas con una demanda de potencia activa y reactiva que fluctúa rápidamente.

2.3.3.1.1 Causas de las Fluctuaciones de Tensión

La clasificación de las variaciones de la tensión eficaz se contempla en la Figura 2.1 por medio de una gráfica de la tensión relacionada con la duración de la perturbación. Las zonas rayadas corresponden a las variaciones de tensión a las que se refiere este estudio.

En cualquier línea de suministro, la tensión en el extremo de la carga es diferente de la que existe en el origen. Esto se muestra en el circuito equivalente por fase de la Figura 2.2. La relación (1) que se presenta a continuación muestra cómo el valor de la diferencia de tensión, ΔU , definido en la Figura 2.3, puede obtenerse a partir del diagrama fasorial y de reglas geométricas sencillas.

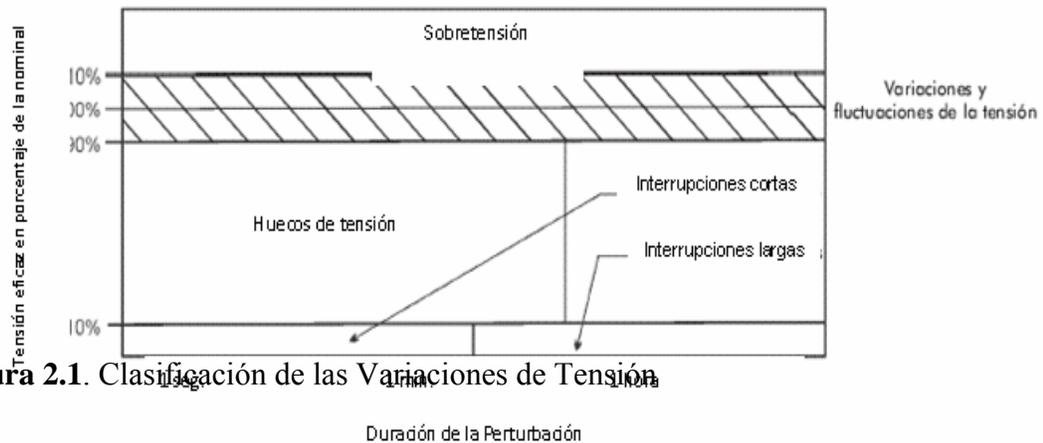


Figura 2.1. Clasificación de las Variaciones de Tensión

En cualquier línea de suministro, la tensión en el extremo de la carga es diferente de la que existe en el origen. Esto se demuestra en el circuito equivalente por fase de la figura 2.2.

La relación de la ecuación 2.1 muestra cómo el valor de la diferencia de tensión (ΔU) en la figura 2.3, puede obtenerse a partir del diagrama fasorial y de las reglas geométricas sencillas.

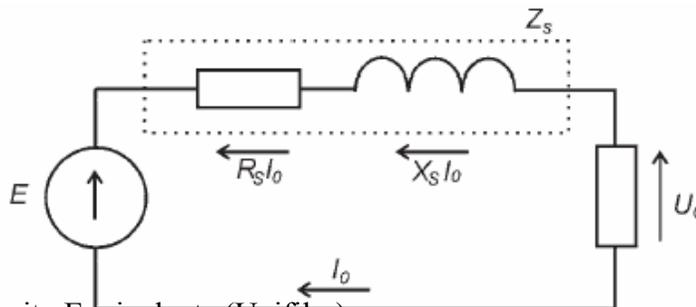


Figura 2.2. Circuito Equivalente (Unifilar)

$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_S \frac{P}{U_0^2} + X_S \frac{Q}{U_0^2} \cong R_S \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{sw}} \quad (2.1)$$

Donde:

E : tensión de la fuente

U_0 : tensión en los terminales de la carga.

I_0 : corriente.

Z_s, X_s, R_s : respectivamente impedancia, reactancia y resistencia de la línea.

P, Q : potencia activa y reactiva.

S_{ZW} : potencia de corto circuito en el punto de conexión de la carga.

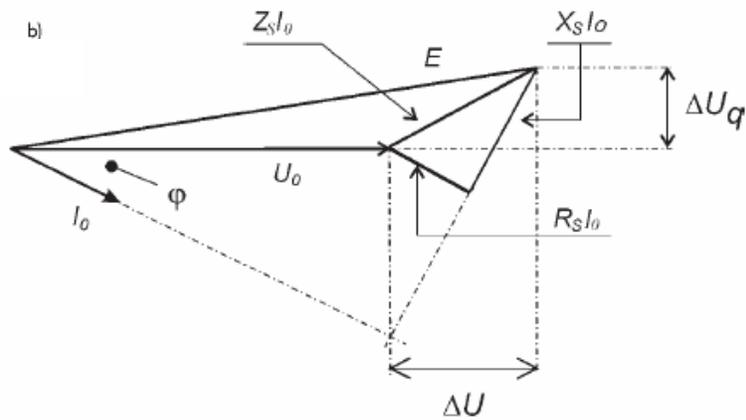


Figura 2.3. Diagrama Fasorial

Suponiendo que la resistencia equivalente de la línea es despreciablemente pequeña comparada con su reactancia ($X_s > 10R_s$), lo cual efectivamente es así en sistemas de alimentación de media y de alta tensión, la ecuación 2.2., define el valor relativo de la variación de tensión en el extremo de la línea donde se encuentra la carga:

$$\frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{ZW}} \quad (2.2)$$

Dependiendo de su causa, la variación de tensión ΔU puede tomar la forma de una caída de tensión que tiene un valor constante a lo largo de un intervalo de tiempo prolongado, de una variación de tensión lenta o rápida, o de una fluctuación de la tensión.

La fluctuación de tensión se define como una serie de cambios de la tensión eficaz o una variación cíclica de la envolvente de la forma de onda de tensión como se muestra en la figura 2.4.

Las características que definen las fluctuaciones de tensión son:

La amplitud de la variación de la tensión (diferencia entre los valores de la tensión eficaz máxima y mínima o de pico que se produce durante la perturbación).

El número de cambios de tensión a lo largo de una determinada unidad de tiempo.

Los efectos (como el parpadeo) que se producen a consecuencia de las variaciones de tensión asociadas con las perturbaciones.

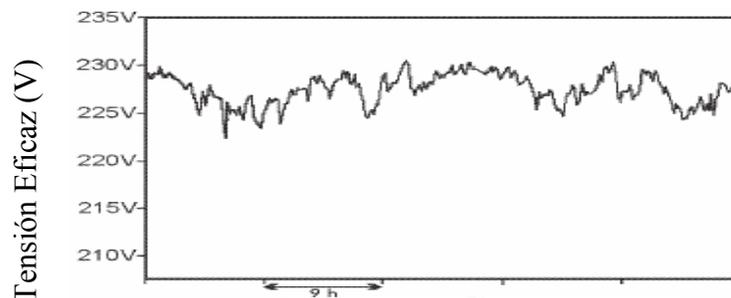


Figura 2.4. Ejemplo de Fluctuación de Tensión en horas

2.3.3.1.2 Efectos de las Fluctuaciones de Tensión

Las fluctuaciones de tensión producen en los sistemas eléctricos diversos efectos técnicos perjudiciales que pueden interrumpir procesos de producción, originando costes importantes. Sin embargo, el efecto fisiológico del parpadeo es el más importante porque afecta a la ergonomía del entorno de producción, provocando la reducción de los niveles de concentración y fatiga a los trabajadores. El funcionamiento irregular de los interruptores automáticos y de los relés también puede producir graves interrupciones en los procesos de producción.

2.3.3.1.2.1 Efectos de las fluctuaciones sobre las Máquinas Eléctricas

Las fluctuaciones de tensión en los terminales de un motor de inducción producen cambios en su par motor y deslizamiento y, en consecuencia, pueden afectar al proceso de producción. En el peor caso pueden llegar a provocar vibraciones excesivas, reduciendo la fuerza mecánica y acortando la vida útil del motor.

Las fluctuaciones de tensión en los terminales de los generadores y motores síncronos provocan un funcionamiento irregular y el desgaste prematuro de los rotores. También producen variaciones del par motor y de la potencia, además de un aumento de las pérdidas.

2.3.3.1.2.2 Efectos de las fluctuaciones sobre los Rectificadores Estáticos

El efecto normal de la fluctuación de tensión en los rectificadores de control de fase con control del parámetro en la parte de C.C. es una disminución del factor de potencia y la generación de armónicos de tercer orden característico, los cuales son ondas que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación. En el caso de frenado de motores en modo inversor, puede provocar un fallo de conmutación con los consiguientes daños para los componentes del sistema.

2.3.3.1.2.3 Efectos de las fluctuaciones sobre Cubas Electrolíticas

Tanto la vida útil como la eficacia operativa de los equipos de electrólisis pueden verse reducida en presencia de fluctuaciones de tensión. Además, los elementos de la red de alimentación de elevada intensidad de corriente pueden llegar a sufrir un importante deterioro, lo que aumentaría los costes de mantenimiento y/o de reparación.

2.3.3.1.2.4 Efectos de las fluctuaciones sobre Fuentes de luz

Cualquier variación de la magnitud de la tensión de suministro provoca una alteración del flujo luminoso de una fuente de luz. Este efecto se conoce como parpadeo. Las fuentes de luz incandescentes son especialmente sensibles a las variaciones de la tensión de alimentación, ya que el flujo luminoso (ϕ) es proporcional a la tensión aplicada según la relación $\phi \sim U$.

La Figura 2.5 muestra la variación de flujo luminoso, causada por una fluctuación de la tensión de alimentación en una lámpara incandescente de 60 W y 230 V. El parpadeo que se produce dificulta de manera notable la visión y provoca incomodidad general y fatiga.

La fisiología de este fenómeno es compleja. En términos generales puede asumirse que el parpadeo afecta al proceso de la visión y a la reacción del cerebro humano. Las fuentes de luz que parpadean pueden producir molestias y el deterioro de la calidad del trabajo en algunas situaciones puede llegar a provocar accidentes laborales.

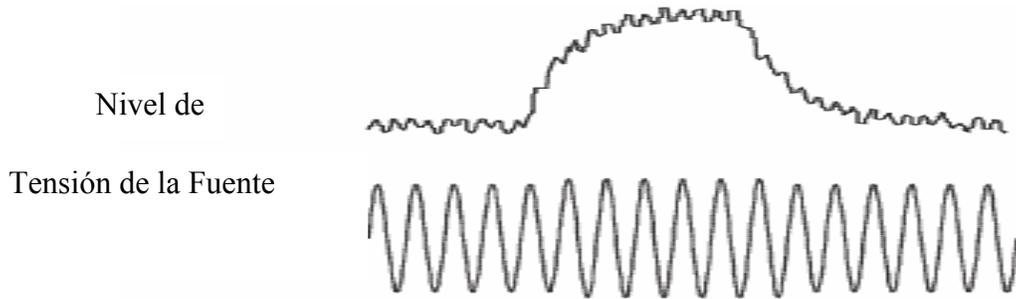


Figura 2.5. Efecto de un cambio de tensión sobre el flujo luminoso de una lámpara incandescente.

2.3.3.2 Variaciones de Tensión de Corta Duración

2.3.3.2.1 Depresiones

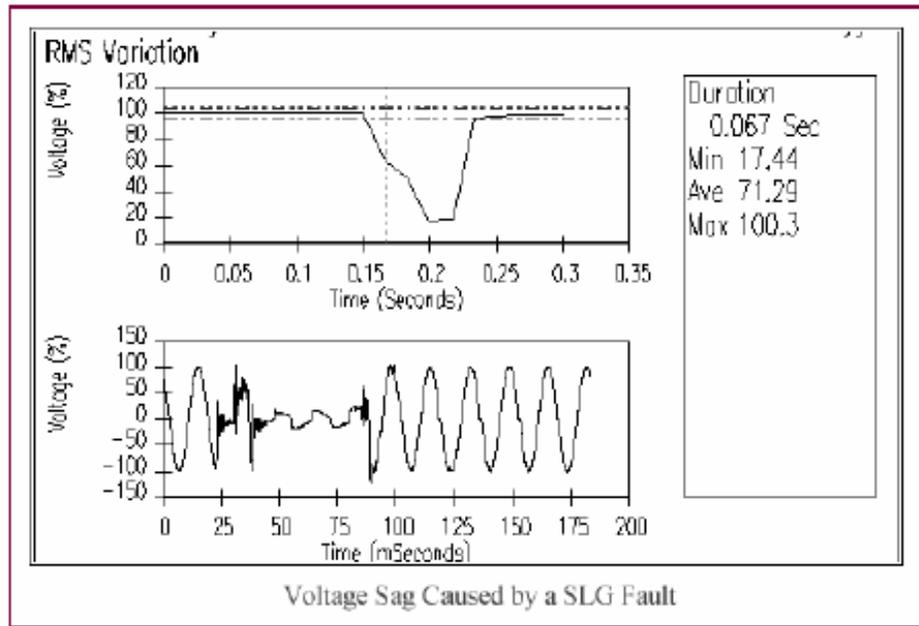
Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u., en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto [5].

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. Una de ellas consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías.

En la figura 2.6., se muestra un ejemplo claro de lo que representa un Sag, hueco o valle de tensión como se le ha denominado a este fenómeno en la actualidad.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

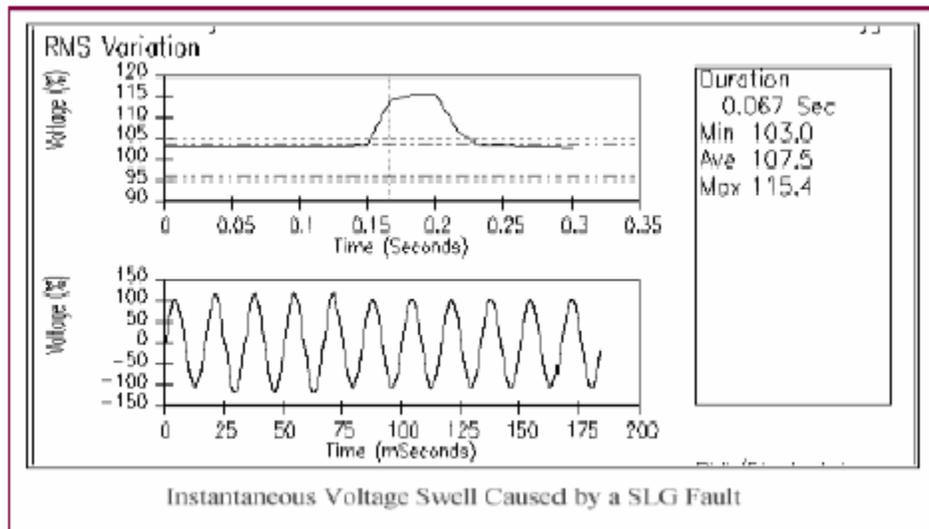
Figura 2.6. Hueco o Sag de tensión.

2.3.3.2.2 Crestas de Tensión.

Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra. También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

En la figura 2.7, se muestra un ejemplo clásico de una Cresta o Swell de tensión.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

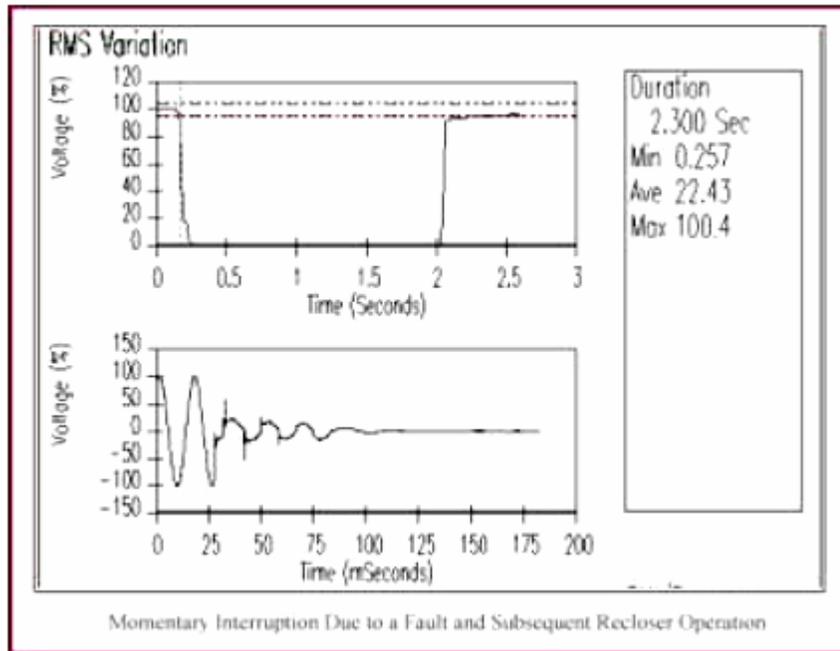
Figura 2.7. Cresta o Swell de tensión

2.3.3.2.3 Interrupciones de Suministro.

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión, es irregular.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

Figura 2.8. Interrupción de Suministro.

2.3.3.3 Variaciones De Tensión De Larga Duración

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto.

La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia. Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos, ilustrados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Normas ANSI sobre variaciones de larga duración

VALOR NOMINAL	RANGO DESEABLE	RANGO ACEPTABLE
120	126 - 114	127 - 110
208	218 - 197	220 - 191
240	252 - 228	254 - 220
277	291 - 263	293 - 254
480	504 - 456	508 - 440
2.400	2.525 - 2.340	2.540 - 2.280
4.160	4.370 - 4.050	4.400 - 3.950
4.800	5.040 - 4.680	5.080 - 4.560
13.800	14.490 - 13.460	14.520 - 13.110
34.500	36.230 - 33.640	36.510 - 32.780

Fuente: Norma ANSI C84.1.

Las variaciones de tensión se encuentran clasificadas normalmente de la siguiente manera:

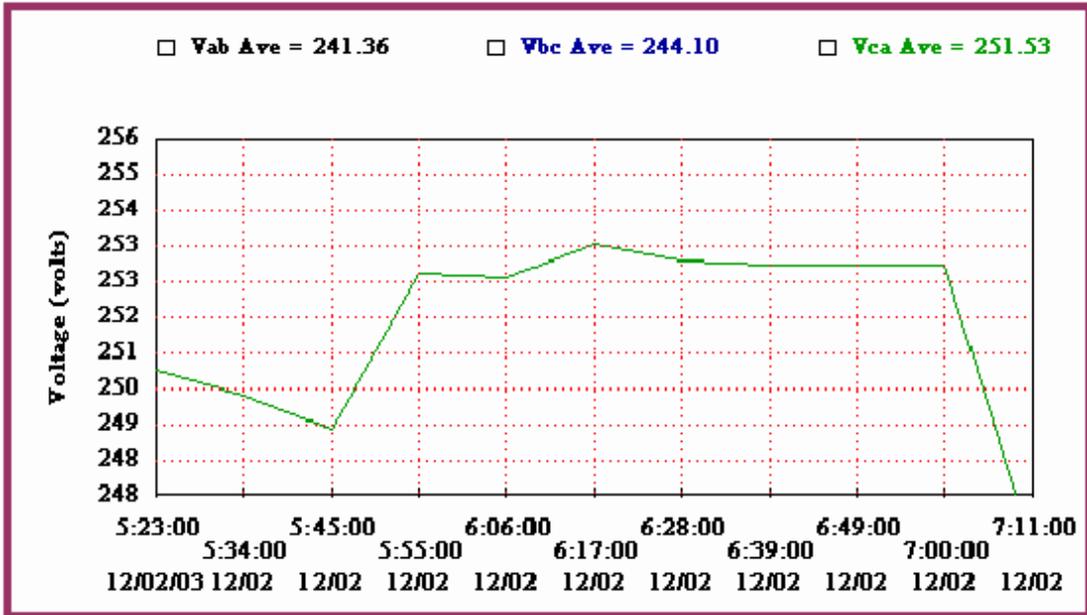
2.3.3.3.1 Sobretensión (overvoltage)

Una sobretensión es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. En la figura 2.9., se muestra un ejemplo de sobretensión para un circuito de 220.

Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado [10].

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

Figura 2.9. Sobretensión en un sistema.



2.3.3.3.2 Bajo Voltaje (undervoltage)

Se entiende por baja tensión, la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo. Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

2.3.3.3.3 Interrupción Sostenida

Se considera una interrupción sostenida cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

2.3.3.4 Desequilibrio de fases

Se dice que un sistema de energía trifásico está equilibrado o es simétrico si las tensiones y corrientes trifásicas tienen la misma amplitud y presentan un desplazamiento de fase de 120° entre ellas. Si no se cumple una o ninguna de estas condiciones, el sistema se denomina desequilibrado o asimétrico.

2.3.3.4.1 Cuantificación del desequilibrio

Para cuantificar un desequilibrio de tensión o corriente de un sistema trifásico se utilizan los llamados componentes de Fortescue o componentes simétricos. El sistema trifásico se descompone en un sistema llamado de secuencia directa o positiva, secuencia inversa o negativa y secuencia homopolar o cero, identificados por los subíndices d, i, h (en algunos textos se utilizan los subíndices 1,2,0).

Se calculan utilizando transformaciones matriciales de las tensiones trifásicas o fasores de corriente. Los subíndices u, v, w indican las diferentes fases. (A veces se utilizan los subíndices a, b, c). Las expresiones se formulan aquí para la tensión U , pero esta variable puede sustituirse por la corriente I sin ningún problema:

$$\begin{bmatrix} U_h \\ U_d \\ U_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_u \\ U_v \\ U_w \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Donde el operador de rotación “ a ” viene dado por:

$$a = e^{j.120^\circ} \quad (2.4)$$

Estas transformaciones son invariantes respecto a la energía, de que la cantidad de energía calculada con los valores originales o transformados tendrá el mismo valor.

La transformación inversa es:

$$\begin{bmatrix} U_u \\ U_v \\ U_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_h \\ U_d \\ U_i \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

El sistema directo está asociado a un campo rotatorio en sentido positivo, mientras que el sistema inverso produce un campo que rota negativamente, como se muestra en la figura 2.10, en el caso de máquinas eléctricas de corriente alterna, ésta es una interpretación físicamente correcta para el campo magnético rotatorio.

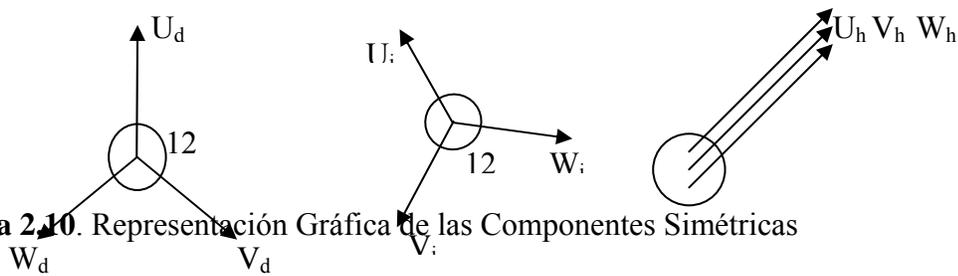


Figura 2.10. Representación Gráfica de las Componentes Simétricas

La figura 2.11. ilustra la descomposición de un sistema desequilibrado en sus componentes.

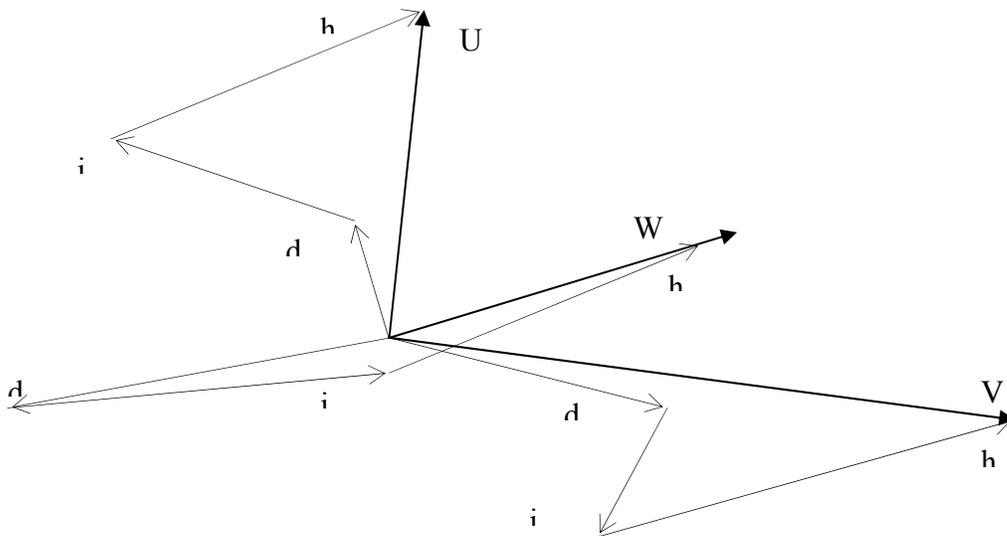


Figura 2.11. Descomposición gráfica. (las contribuciones respectivas a las tres fases indicadas con U,V,W se añaden como fasores para obtener el sistema desequilibrado real).

La medición de estos componentes en la práctica no es directa, especialmente para los componentes de secuencia positiva y negativa. Un equipo de medida digital, que efectuará la operación matemática antes citada en las tensiones y corrientes ensayadas, conduciría a una ejecución más sencilla de lo que sería posible con equipos analógicos clásicos.

Las relaciones U_U (tensión) y U_i (corriente) entre las magnitudes de las componentes de secuencia negativa y positiva, de tensión y corriente, respectivamente, son una medida del desequilibrio (en %):

$$U_u = \frac{U_i}{U_d} * 100\% \quad (2.6)$$

Estas relaciones se utilizan por ejemplo en normas que tratan de calidad de la energía como la IEC 1000-3-x.

A veces se define una relación similar, para la relación entre la magnitud homopolar y la directa, según convenga.

$$U_U \approx \frac{S_L}{S_{SC}} * 100\% \quad (2.7)$$

Esta relación sólo utiliza la potencia aparente de la carga S_L y la potencia de cortocircuito S_{SC} del circuito de alimentación.

2.3.3.4.2 Causas del Desequilibrio

El operador de un sistema intenta conseguir un sistema de tensión equilibrado en el PCC entre la red de distribución y la red interna del usuario. En condiciones normales estas tensiones vienen determinados por:

Las tensiones terminales de los generadores.
La impedancia del sistema eléctrico.

Las corrientes inducidas por las cargas en la red de transporte y distribución.

Las tensiones del sistema en un centro generador son por regla general altamente simétricas, debido a la estructura y al funcionamiento de los generadores sincrónicos utilizados en las grandes centrales de energía. Por esta razón la central de generación no contribuye normalmente al desequilibrio. Incluso con generadores de inducción (asíncronos), como lo que, por ejemplo, se utilizan en algunos tipos de turbinas eólicas, se obtiene una serie trifásica equilibrada de tensiones.

Sin embargo, donde la generación a pequeña escala, bien sea para distribución o para uso interno, instalada en la planta del usuario, se ha hecho más popular y ha absorbido una proporción importante de la producción de electricidad, la situación es diferente. Muchas de estas unidades relativamente pequeñas, como las instalaciones fotovoltaicas, están conectadas a la red de baja tensión por medio de unidades inversores monofásicos de potencia electrónicos. El punto de unión tiene una impedancia relativamente elevada (con lo que la potencia de cortocircuito es proporcionalmente baja), lo que conduce a un desequilibrio potencialmente mayor de la tensión de lo que sería el caso para enlaces con un nivel de tensión mayor.

La impedancia de los componentes de un sistema eléctrico no es exactamente la misma para cada fase. Por ejemplo, la configuración geométrica de las líneas aéreas, asimétricas con respecto a tierra, produce una diferencia en los parámetros eléctricos de la línea. En general estas diferencias son muy pequeñas y su efecto puede despreciarse cuando se adoptan suficientes precauciones, como es la transposición de líneas. En la práctica, es la asimetría de las cargas la causa principal de los desequilibrios.

En los niveles de tensiones alta y media, normalmente las cargas son trifásicas y equilibradas, si bien a veces se conectan grandes cargas a unos o dos fases, como en la tracción ferroviaria de corriente alterna u hornos de inducción (grandes sistemas de fundición de metales que emplean arcos potentes y altamente irregulares para generar calor).

Las cargas de baja tensión son generalmente monofásicas, por ejemplo, computadoras personales o sistemas de iluminación, y por tanto el equilibrio entre fases es difícil de garantizar. En el diseño de un sistema cableado eléctrico que alimenta estas cargas, los circuitos están distribuidos entre las tres fases, por ejemplo una fase para cada

piso de un edificio de apartamentos u oficinas, o bien conexiones alternativas en filas de casa de una urbanización. Aún así, el equilibrio de la carga correspondiente en el transformador central fluctúa a causa de la variación estadística de los ciclos de trabajo de las diferentes cargas individuales.

Condiciones anormales del sistema también provocan desequilibrios en las fases. Ejemplos típicos de esto son los defectos entre fase y tierra, fase y fase o la rotura de un conductor. Estos defectos provocan caídas de tensión en una o más de las fases implicadas e, indirectamente, pueden provocar sobretensiones en las otras fases. En estos casos, el comportamiento del sistema es desequilibrado por definición, pero estos fenómenos se clasifican normalmente como perturbaciones de la tensión, que se estudian en las guías de aplicación correspondientes, ya que el sistema de protección de la res de electricidad debería eliminar esta falla.

2.3.3.4.3 Consecuencias del Desequilibrio

La sensibilidad de los equipos eléctricos frente a los desequilibrios difiere de unos dispositivos a otros. A continuación se ofrece un breve resumen de los problemas más habituales:

2.3.3.4.3.1 Máquinas de inducción

Se trata de máquinas asíncronas de corriente alterna con campos magnéticos rotatorios internos inducidos. La magnitud es proporcional a la amplitud de los componentes directos y/o inversos. El sentido de rotación del campo del componente inverso se opone al del campo del componente directo. Por ese motivo, en el caso de una alimentación desequilibrada, el campo magnético rotatorio total se vuelve “elíptico” en lugar de circular.

Las máquinas eléctricas se enfrentan a tres tipos de problemas a causa del desequilibrio. En primer lugar, la máquina no puede generar todo su par ya que el campo magnético que rota en sentido inverso del sistema de secuencia negativa provoca un par de frenado negativo, que debe sustraerse del par básico ligado al campo magnético de rotación normal.

En la Figura 2.12., se muestran las diferentes características de velocidad de par de una máquina de inducción con una fuente de alimentación desequilibrada. La curva real del estado estacionario es la suma ponderada de estas curvas con las relaciones de desequilibrio al cuadrado como pesos conforme el par aumenta con el cuadrado de la carga. Puede verse que en la zona de funcionamiento normal, donde es casi recta la parte de la línea Td (la parte que comienza en la parte superior de la curva, que cruza eventualmente el eje horizontal a velocidad sincrónica), Ti y Th son ambas negativas. Estas características pueden medirse con el motor conectado según se muestra en la Figura 2.13.

En segundo lugar, los cojinetes pueden sufrir daños mecánicos a causa de los componentes del par inducido a frecuencia doble de la del sistema.

Por último el estator y, especialmente, el rotor se calientan excesivamente, lo que conducirá posiblemente a un envejecimiento térmico acelerado. Este calor está causado por la inducción de importantes corrientes a causa del campo magnético inverso en rápida rotación (en el sentido relativo), según se mira desde el rotor.

Para poder hacer frente a este calentamiento adicional, es necesario reducir el régimen del motor, lo que puede requerir la instalación de una máquina de mayor potencia nominal.

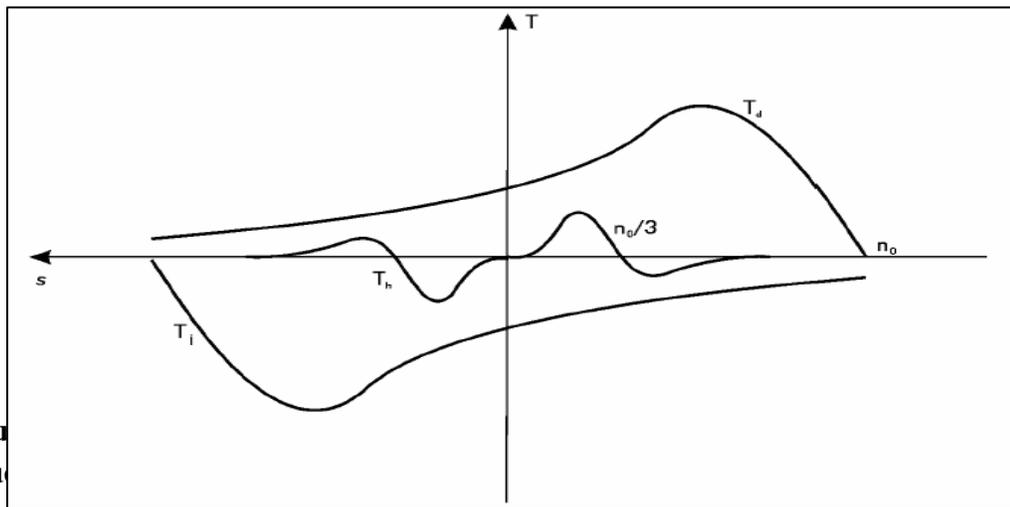


Figura 2.12. Características de velocidad de par de una máquina de inducción con alimentación desequilibrada.

de

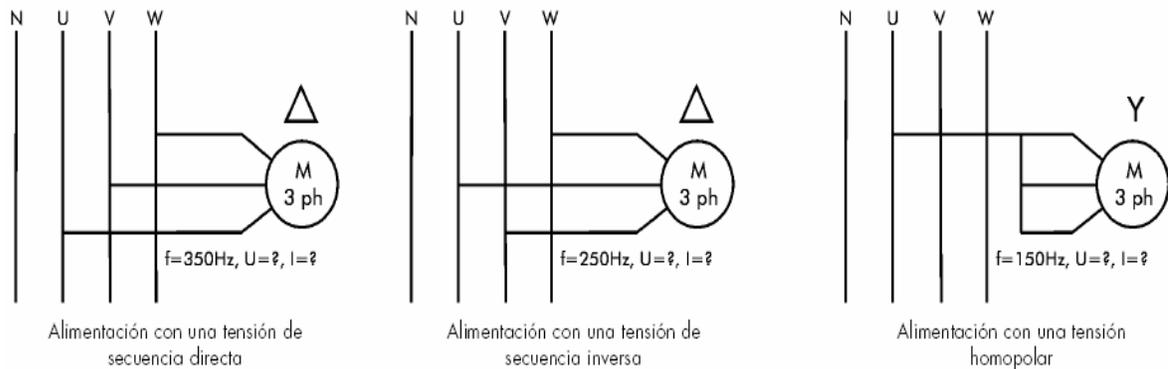


Figura 2.13. Esquema de conexión para la alimentación de un motor de inducción con un componente algo desequilibrado.

2.3.3.4.3.2 Generadores sincrónicos

Los generadores sincrónicos son también máquinas de corriente alterna, que se usan por ejemplo en generación local, tales como unidades CHP. Presentan unos fenómenos similares a los descritos para las máquinas de inducción, pero principalmente sufren un excesivo calentamiento. Debería prestarse una especial atención al diseño de devanados amortiguadores de estabilización en el rotor, en los que las corrientes son inducidas por los componentes indirectos y homopolares.

2.3.3.4.3.3 Capacidad de transformadores, cables y líneas

La capacidad de carga de los transformadores, cables y líneas se reduce a causa de los componentes de secuencia negativa. El límite operativo viene determinado por el verdadero valor eficaz de la corriente total que, parcialmente, está constituido también por corrientes secuenciales indirectas “no operativas”. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de ajustar los puntos de actuación de los dispositivos de protección, que actúan sobre la corriente total. La capacidad máxima puede expresarse mediante un factor reductor, que deberá facilitar el fabricante y que puede usarse para seleccionar un sistema mayor, capaz de soportar la carga.

2.3.3.4.3.4 Transformadores

Los transformadores sometidos a tensiones de secuencia negativa las transforman de la misma forma que las tensiones de secuencia positiva. El comportamiento con relación a las tensiones homopolares depende de las conexiones del primario y

secundario y, más específicamente, de la presencia de un conductor neutro. Si, por ejemplo, un lado tiene una conexión trifásica de cuatro hilos, podrán circular las corrientes por el neutro. Si en el otro lado el devanado está conectado en delta, la corriente homopolar se transforma en una corriente circulante, que genera calor, en el triángulo. El flujo magnético homopolar asociado pasa a través de las piezas estructurales del transformador, provocando pérdidas parásitas en piezas tales como el depósito, lo que a veces requerirá una reducción adicional de la carga.

2.3.3.4.3.5 Convertidores electrónicos de potencia

Están presentes en muchos dispositivos tales como: accionadores de velocidad variable, fuentes de alimentación para PC's, iluminación eficiente, etc. Pueden enfrentarse a armónicos adicionales, no característicos, si bien en general la distorsión armónica total sigue siendo más o menos constante.

El diseño de las bancadas de filtros pasivos que tratan estos armónicos debe tener en cuenta este fenómeno.

Los dispositivos antes tratados son obviamente cargas trifásicas. Como es natural las cargas monofásicas también pueden verse afectadas por variaciones de tensión en la alimentación, a causa de efectos del desequilibrio.

2.3.3.5. Armónicos

Las frecuencias armónicas son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de alimentación, es decir, para una frecuencia fundamental de 60 Hz, el tercer armónico tendría 180 Hz y el quinto armónico 300 Hz.

La figura 2.14., muestra una onda senoidal fundamental con su tercer y quinto armónicos.

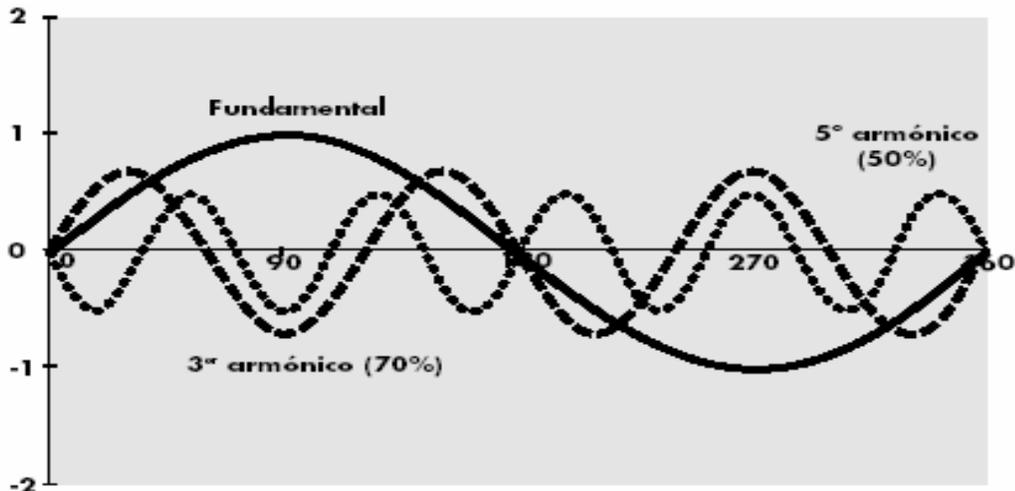
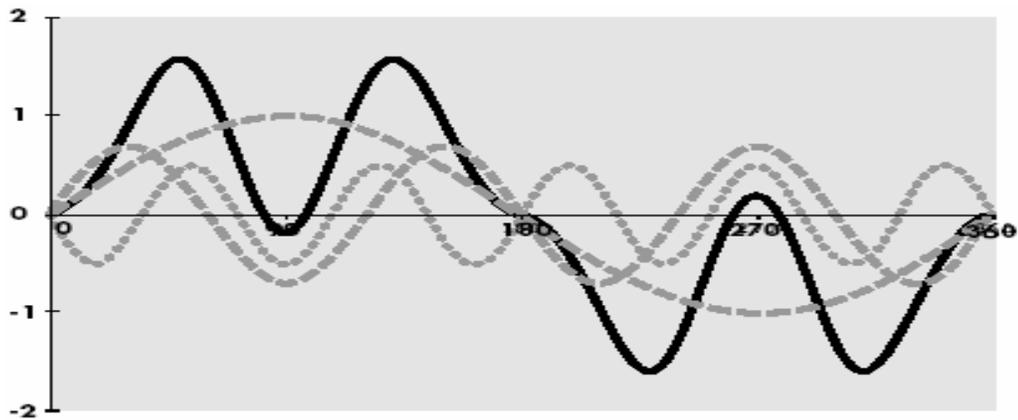


Figura 2.14. Onda fundamental con 3era y 5ta armónica

La figura 2.15 representa una frecuencia fundamental a la cual se le ha sumado el tercer armónico con una amplitud del 70% y el quinto armónico con una amplitud del 50%.

Debe tenerse en cuenta que la mayoría de las formas de onda de las corrientes distorsionadas serán mucho más complejas que la de este ejemplo, ya que contendrán muchos más armónicos con una relación de fase también más compleja.

Figura 2.15. Forma de onda de corriente distorsionada



Es evidente que esta forma de onda no es senoidal, lo que supone que los equipos de medidas normales, tales como los voltímetros previstos para dar lecturas de valor promedio, darán lecturas inexactas. Obsérvese también que, en cada ciclo, hay seis puntos de paso por cero en lugar de dos, de modo que cualquier equipo que utilizara como referencia el punto de paso por cero no funcionaría correctamente. Esta forma de onda contiene frecuencias no fundamentales y debe ser tratada en consecuencia [6].

Cuando se habla de los armónicos en las instalaciones de energía, son los armónicos de corriente los más preocupantes, puesto que los armónicos se originan como corrientes y la mayoría de sus efectos negativos se deben a estas corrientes. No se pueden sacar conclusiones útiles sin conocer el espectro de las corrientes armónicas presentes, a pesar de lo cual, es corriente trabajar únicamente con valores de las cifras correspondientes a la distorsión armónica total (THD). Cuando los armónicos se propagan por un sistema de distribución, es decir, a partes del circuito que no transportan corrientes armónicas, lo hacen en forma de tensión. Es muy importante

que se midan los valores tanto de la tensión como de la corriente y que dichos valores estén indicados claramente como valores de tensión y de corriente. Normalmente, las medidas de distorsión de la corriente se identifican mediante el sufijo "I", por ejemplo, 35% THDI, y las de distorsión de tensión con el sufijo "V", por ejemplo, 4% THDV [7].

2.3.3.5.1. Tipos de equipos que generan armónicos

Las corrientes de carga armónicas las generan las denominadas cargas no lineales. Entre ellas se incluyen:

Cargas monofásicas, por ejemplo:

Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS).

Estabilizadores electrónicos de dispositivos de iluminación fluorescente.

Pequeñas unidades de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI o UPS).

Cargas trifásicas, por ejemplo:

Motores de velocidad variable.

Grandes unidades de UPS.

Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS):

La mayoría de los modernos equipos electrónicos utilizan fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS). Se diferencian de los antiguos en que, el transformador reductor y el rectificador tradicionales, han sido reemplazados por una unidad de rectificación de control directo de la fuente de alimentación, para cargar un condensador de almacenamiento desde el cual se deriva la corriente continua hacia la carga mediante un método adecuado a la tensión y corriente de salida requeridas. La ventaja, para el fabricante del equipo, es que el tamaño, coste y peso se han reducido de una manera notable y que la unidad de potencia puede adaptarse a casi cualquier factor de forma que se requiera.

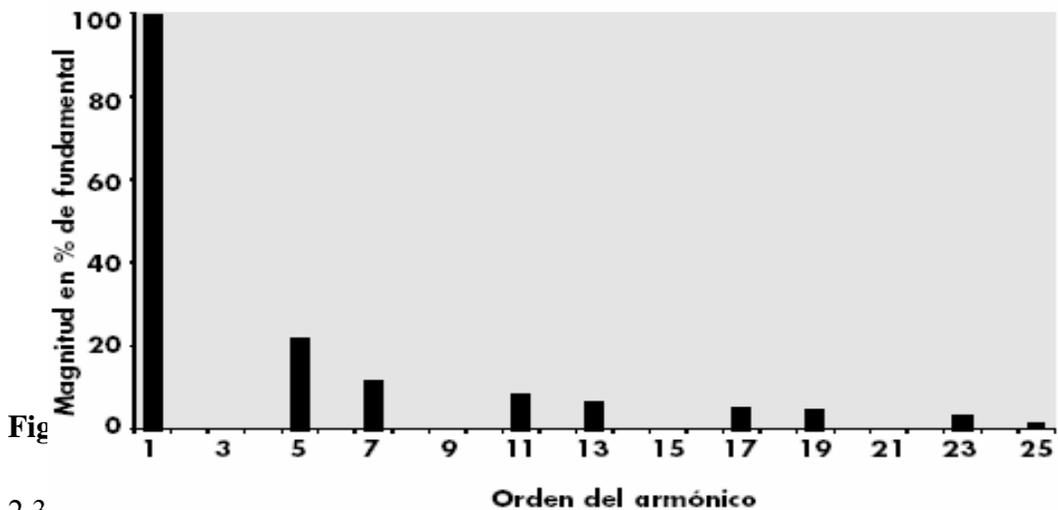
El inconveniente, para todos, es que, en lugar de obtener una corriente continua de la fuente de alimentación, el suministro de potencia genera pulsos de corriente que contienen gran cantidad de terceros armónicos y armónicos superiores, y unos importantes componentes de alta frecuencia (véase figura 2.15.). A la entrada de la fuente de alimentación se coloca un filtro sencillo para derivar a tierra los

componentes de alta frecuencia de la línea y el neutro, pero que no tiene efecto alguno sobre las corrientes armónicas que llegan de vuelta a la fuente de alimentación.

Las unidades de UPS monofásicas presentan unas características muy parecidas a las de las fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado.

Los controladores de velocidad variable, las unidades de UPS y, en general, los convertidores de corriente continua normalmente se basan en la utilización del puente trifásico, también conocido como puente de seis pulsos porque presenta seis pulsos por ciclo (uno por cada medio ciclo de cada fase) en la salida de corriente continua.

El puente trifásico produce armónicos a $6n \pm 1$, es decir, a uno más o a uno menos de cada múltiplo de seis. En teoría, la amplitud de cada armónico es la inversa de número del armónico, así habría un quinto armónico con una amplitud del 20% y un 11º armónico con una amplitud del 9%, etc. En la figura 2.16., se muestra un ejemplo del espectro típico.



2.3.3.3.2 Problemas producidos por los armónicos

Las corrientes armónicas ocasionan problemas tanto en el sistema de suministro de energía como dentro de la instalación.

Los efectos y las soluciones a estos problemas son muy distintos en cada caso y deben abordarse por separado; es posible que medidas adecuadas para controlar los efectos de los armónicos dentro de la instalación no reduzcan necesariamente la distorsión producida en el suministro y viceversa.

Existen varias áreas comunes en los problemas producidos por la distorsión armónica:

Problemas causados por las corrientes armónicas:

Sobrecarga de los conductores neutros.

Sobrecalentamiento de los transformadores.

Disparos intempestivos de los interruptores automáticos.

Sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia.

Efecto superficial.

Problemas causados por las tensiones armónicas:

Distorsión de la tensión.

Sobrecalentamiento de motores de inducción.

Ruido de paso por cero.

2.3.3.5.3 Medidas para reducir los armónicos

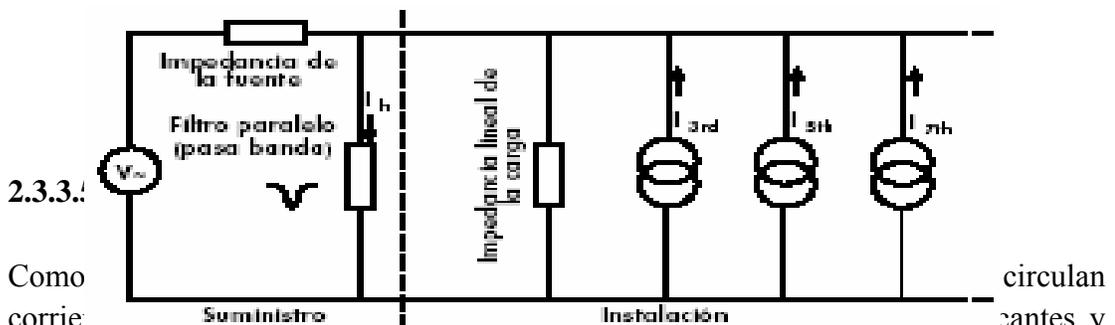
Los métodos para reducir los armónicos, de una manera genérica, se pueden clasificar en tres apartados: filtros pasivos; transformadores de aislamiento y de reducción de armónicos; y soluciones activas. Cada una de estas soluciones tiene ventajas e inconvenientes, por lo que no hay una solución que por sí sola pueda considerarse la mejor. Es muy fácil gastar una gran cantidad de dinero en una solución inadecuada e ineficaz, por lo que lo más prudente es llevar a cabo un estudio completo del problema.

2.3.3.5.3.1 Filtros pasivos

Se emplean filtros pasivos para establecer un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas de forma que circulen por el filtro y no por la fuente de alimentación (figura 2.17.). El filtro puede estar diseñado para un armónico determinado o para una banda ancha de armónicos, dependiendo de las exigencias del

sistema. A veces es preciso desarrollar un filtro más complejo para aumentar la impedancia en serie a las frecuencias armónicas y así disminuir la parte de corriente que fluye hacia la fuente de alimentación.

A veces se propone el empleo de filtros eliminadores de banda en serie, bien sobre la fase o en el neutro. Se coloca un filtro en serie para impedir el paso de las corrientes armónicas en lugar de establecer un camino controlado para ellas, con lo que se produce una gran caída de la tensión armónica a través de ellos. Esta tensión armónica aparece a través de la fuente de alimentación en el lado de la carga. Como la tensión de alimentación está muy distorsionada, ya no está dentro de los límites para los cuales está diseñado y garantizado el equipo. Algunos equipos son relativamente insensibles a esta distorsión, pero algunos son muy sensibles. Los filtros en serie pueden ser muy útiles en ciertas circunstancias, pero deben utilizarse con cuidado, por lo que no pueden recomendarse como solución de aplicación general.



armónicos triple-N de la fuente de alimentación. Puede conseguirse el mismo efecto utilizando transformadores con bobinado en "zig-zag". De hecho estos transformadores "zig-zag" son autotransformadores con configuración en estrella con una relación particular de fase entre sus bobinados que están conectados en paralelo con la fuente de alimentación.

2.3.3.5.3.3 Filtros activos

Las soluciones mencionadas hasta ahora son adecuadas solamente para determinados armónicos, el transformador de separación sólo es útil para confinar los armónicos triple-N y los filtros pasivos sólo son adecuados para las frecuencias armónicas para las que han sido diseñados. En algunas instalaciones el contenido de armónicos es impredecible.

En muchas instalaciones informáticas, por ejemplo, la combinación de equipos y su situación está cambiando constantemente, de forma que los armónicos también están en constante cambio. Una solución adecuada en estos casos es el filtro activo o compensador activo de armónicos. Como se muestra en la figura 2.19, el filtro activo es un dispositivo conectado en paralelo.

Un transformador de intensidad mide el contenido de armónicos de la corriente de carga y controla un generador de corriente que produce una réplica exacta de los mismos de signo opuesto, que es enviada a la fuente de alimentación en el ciclo siguiente. Como la corriente armónica es compensada por el filtro activo, sólo la corriente fundamental procede de la fuente de alimentación.

En la práctica, la magnitud de las corrientes armónicas se reducen en un 90% y, debido a que la impedancia de la fuente a las frecuencias armónicas es reducida, la distorsión de tensión también se reduce.

Figura 2.19. Compensador activo de armónicos

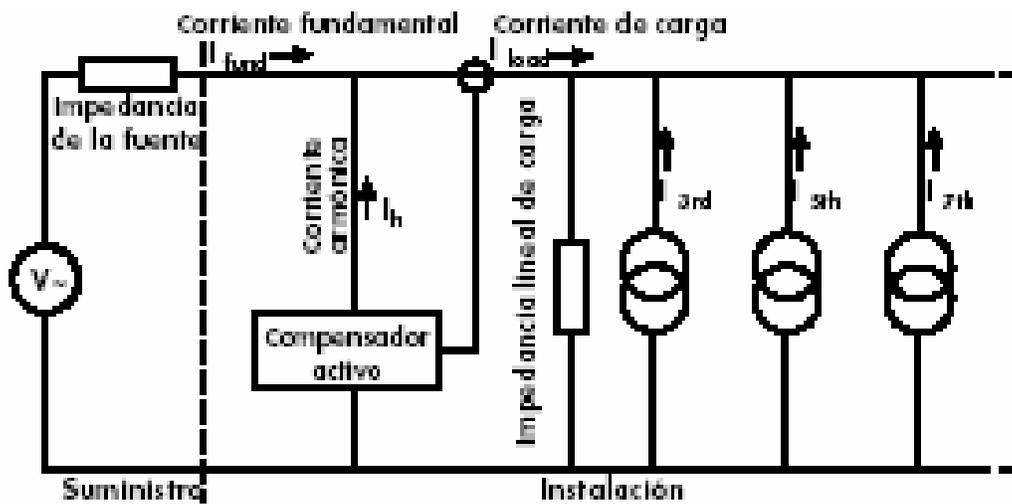


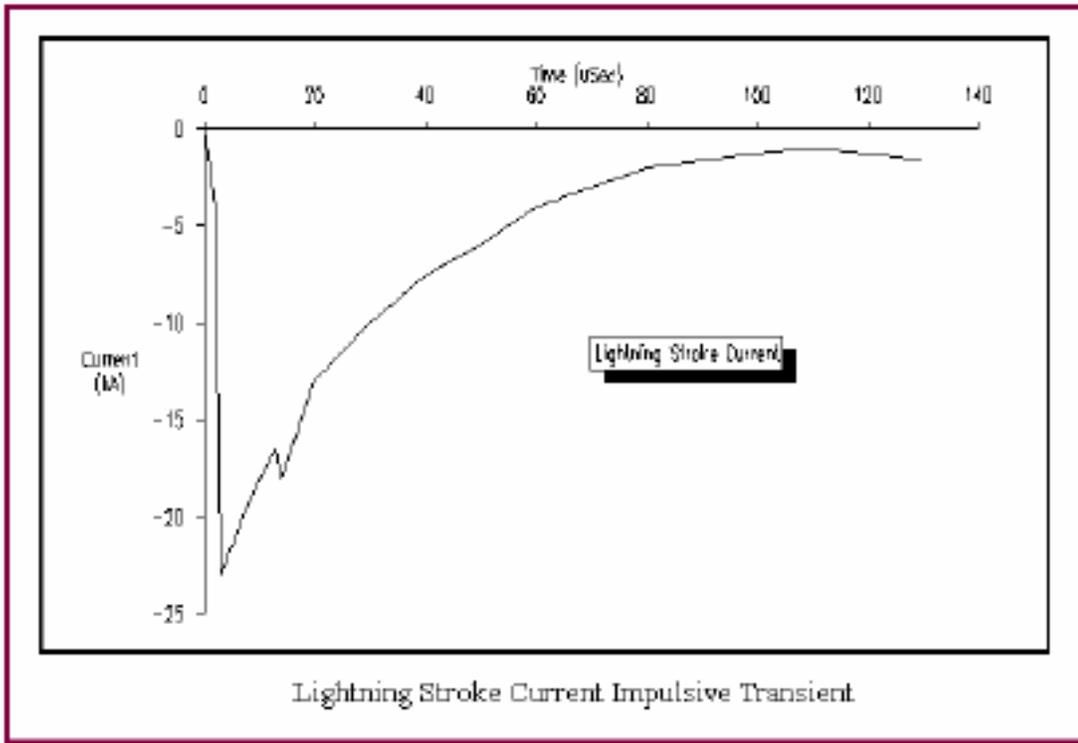
Figura 20 - Compensador activo de armónicos

2.3.3.6 Transitorios

2.3.3.6.1 Transitorio Impulsivo

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia. Son de moderada y elevada magnitud pero de corta duración medida en microsegundos.

Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μsec) y descenso (20 a 150 μsec) y por su contenido espectral. En la figura 2.20., se muestra un transitorio tipo impulso [7].



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

Figura 2.20. Transitorio tipo Impulso

2.3.3.6.2 Transitorios Oscilatorios

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema. Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifican en: transitorios de alta, media y baja frecuencia.

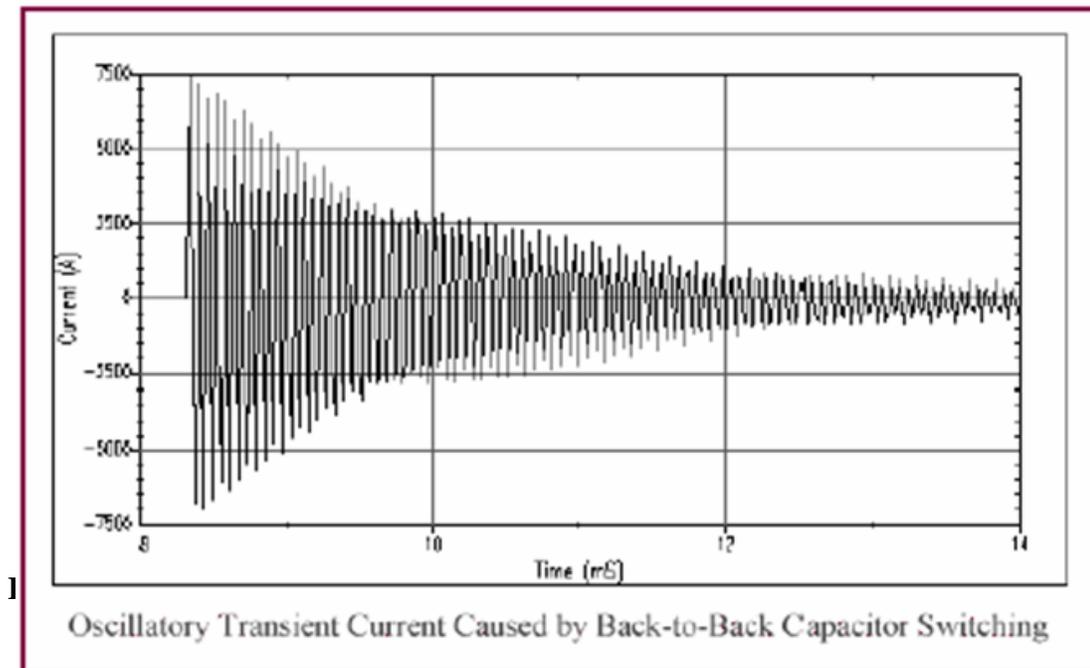
Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de **alta frecuencia** (Figura2.21).

Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de **frecuencia media**.

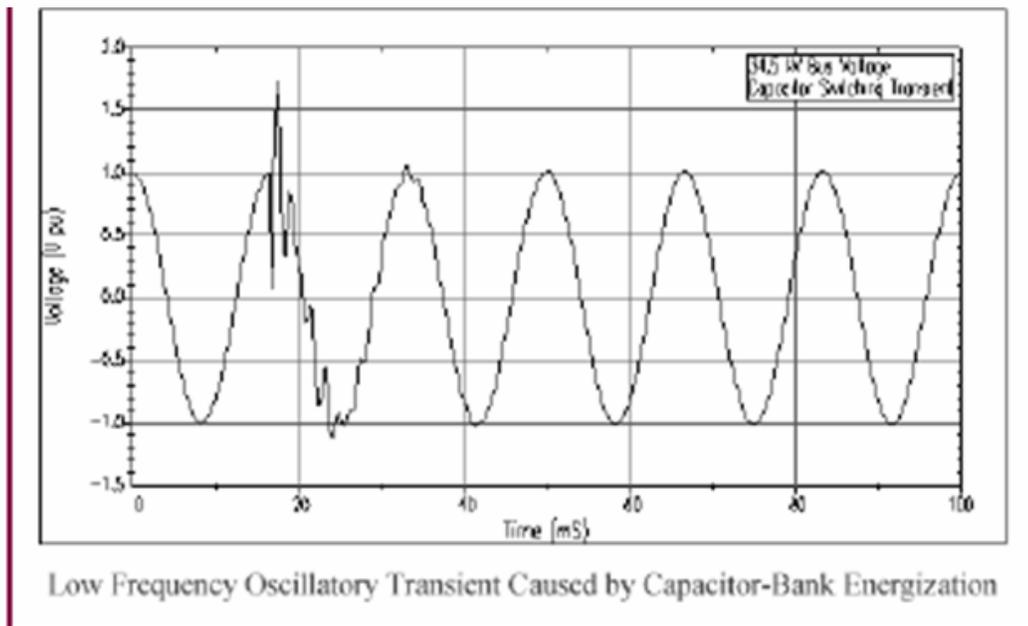
Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de **baja frecuencia** (Fig.2.22). Sucede en los niveles de

subtransmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos.

El más frecuente es la energización de bancos de capacitores que hacen oscilar la tensión con una frecuencia primaria entre 300 y 900 Hz. La magnitud pico observada normalmente es de 1,3 -1,5 p.u. con una duración entre 0,5 y 3 ciclos dependiendo del amortiguamiento del sistema.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

Figura 2.22. Transitorio tipo oscilatorio de baja frecuencia

2.3.4 Normas que rigen la calidad de la energía.

2.3.4.1 Referente al Parpadeo o Flicker

La norma IEC 61000-4-15 (2003-02), define el parámetro de Pst (Perception Short Time) como: El valor del Pst (Perception short time) se expresa en unidades de perceptibilidad (p.u.), de modo que, para valores de Pst superiores a 1, se considera que el ‘Flicker es perceptible y afecta por lo tanto a la visión. El periodo de 10 minutos en el cual se basa la evaluación de severidad del ‘Flicker’ a corto plazo es aceptable para valorar el nivel de molestia causado por fuentes de ‘Flicker’ individuales con un ciclo de trabajo corto. La norma **IEEE 1543** establece emplear los siguientes límites de los niveles de compatibilidad en los sistemas de media, alta y extra alta tensión:

Para PST: 1.0.

Para PLT (Perception Long Time): 0.8.

2.3.4.2 Referente a Variaciones de Voltaje

La norma **IEEE 1159** establece que las variaciones cortas de voltaje se caracterizan por tener una duración que va desde 0.5 ciclos a frecuencia fundamental 60 Hz hasta 1 minuto. Estas variaciones son clasificadas de acuerdo a su duración de la siguiente manera:

Variación Instantánea: desde 0.5 ciclo hasta 30 ciclos.

Variación Momentánea: desde 30 ciclos hasta 3 seg.

Variación Temporal: desde 3 seg. hasta 1 min.

La norma recomienda que dichas variaciones no sean mayores del 10 % del voltaje nominal, es decir, que el voltaje no sea menor que 90 %, ni mayor del 110 % del voltaje nominal. Además de las normas internacionales, la norma **PDVSA N-252** establece que las variaciones del perfil de tensión en condiciones de estado estable no deben ser mayores del 5 %, a diferencia de la norma **IEEE 1159** que acepta hasta un 10 % de variación.

2.3.4.3 Referente a Desbalance de Voltajes

La norma *IEC61000-2-2* al igual que la norma *IEEE 1159*, recomiendan que el índice de desbalance de un suministro eléctrico no debe superar el 2 %. La IEEE considera que un motor de inducción podría sufrir un aumento en la temperatura de operación de aproximadamente un 25 % cuando el desbalance de fases alcanza valores de 3.5 %, influyendo esto en la disminución del tiempo de vida del aislamiento de dicho motor.

2.3.4.4 Referente a Armónicos

La distorsión armónica de corriente y de voltaje debe ser según lo indicado en la norma *IEEE STD 519*. Los límites de distorsión armónica de tensión, en porcentaje se muestran en la tabla 2.2:

Tabla 2.2. Norma IEEE STD 519. Límites de Distorsión Armónica

Máximo Para	< 69 KV	69 – 161 KV	> 161 KV
Armónico Individual	3.0	1.5	1.0
Armónico Total	5.0	2.5	1.5

Fuente: Norma IEEE STD 519.

2.3.4.5 Referente al Factor de Potencia

Según la norma **PDVSA N-252** el factor de potencia de la carga de todo sistema no debe ser menor a 0.90 en atraso. Otra consideración que refleja la norma **PDVSA N-252** es que el factor de potencia de la subestación principal conectada a la red de potencia no debe ser menor a un promedio de 0.90 durante 15 minutos.

2.3.4.6 Referente a la Frecuencia

La norma PDVSA N-201 recomienda que la frecuencia fundamental se mantenga dentro de un rango de variación no mayor al 2 % respecto a 60 Hz.

2.3.4.7 Norma IEEE 1159-1995.

En la Tabla 2.3, se presenta el resumen de la norma de calidad de energía IEEE 1159-1995.

Tabla 2.3. Norma IEEE 1159.1995.

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s de elevación	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 seg	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3 seg	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3 seg	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3 seg - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 seg - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Swell		3 seg - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajo voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado Estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 - 100th H	Estado Estable	0 - 20%
5.3 Interarmónicas	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 - 2%
5.4 Muestras en el voltaje		Estado Estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado Estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7%
7.0 Variaciones en la Frecuencia		<10 seg	

Fuente:
2.3.5

Es bi
proli

ca han para controlar procesos se tienen cada vez más PLCs y computadoras. En procesos que requieren de velocidad variable se tienen cada vez más controles de frecuencia variable o controladores electrónicos de motores DC. Esto hace a los procesos de fabricación más eficientes y que el producto sea de mayor calidad, pero por lo general los controles electrónicos son más sensibles a problemas en el suministro eléctrico que otros dispositivos. Por ejemplo, un control electrónico de motores DC (“DC drive”) es más eficiente que un control que emplee un motor de CA, pero el “DC drive” es más sensible a disturbios en el suministro eléctrico.

Una Carga Crítica es aquella que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente pone en peligro la seguridad del personal y ocasiona grandes perjuicios económicos. Por ejemplo, un paro no programado en un sistema de

bombeo de un proceso de refinación es muy perjudicial, mientras que la pérdida de un centro de información y sala de cómputos o el mal funcionamiento de los sistemas de diagnóstico en un hospital pueden ser catastróficas.

Una Carga Sensible se trata de Aquella que requiere de un suministro de alta calidad, esto es, libre de disturbios. El equipo electrónico es más susceptible a los disturbios que el equipo electromecánico tradicional.

El mal funcionamiento de equipos de cómputo puede ocasionar que el mismo se detenga, se pisme. Este alto en el funcionamiento se puede manifestar como un error de paridad, un teclado bloqueado, un error de lectura / escritura o pérdida de archivos. Por otro lado, si los impulsos son de magnitud considerable, los daños pueden llegar a ser incluso hasta físicos. Frecuentemente este tipo de problemas se atribuye a problemas del software o del hardware sin tomar en cuenta que el ruido y los impulsos de voltaje son aleatorios y pueden pasar inadvertidos.

2.3.6 Subestación Eléctrica

Una Subestación eléctrica consiste en un grupo de equipos eléctricos conectados y localizados en áreas específicas, siendo la función principal transformar y distribuir la energía eléctrica.

2.3.7 Medidor de Calidad de Energía (RELE MULTILIN).

El Relé Multilin es un equipo de medición y detección de fallas, es capaz de medir voltajes, corrientes y contenido de armónicos en tiempo real y tomar fotografías para documentar y analizar. Su alta velocidad de muestreo, a 256 muestras por ciclo, proporciona una excelente fidelidad al reproducir formas de onda y capturar transientes que ocurren tan rápidamente como en 62,5 μ s.

2.3.8 Ride Through

En modo de red el sistema RT (Ride Through) actúa como un acondicionador de red y un filtro activo en combinación con la bobina de choque, eliminando breves interrupciones, picos y huecos provenientes de la red. En caso de fallo de red el sistema RT continúa suministrando potencia a la carga, sin interrupción ni perturbación. Puede suministrar potencia durante 15 segundos a plena carga y 30

segundos a media carga. De esta forma el sistema RT protege su carga ante el 95% de todos los problemas de red y puede cubrir el tiempo necesario para arrancar un grupo de emergencia.

Un modulo de potencia Ride Through (RT) consiste de un volante de inercia, un motor pony, un acople inductivo y un alternador montado sobre robusta bancada de base.

2.3.8.1 Alternador

Regula la tensión de salida y genera potencia limpia e ininterrumpida para su carga.

2.3.8.2 Acople Inductivo

Transfiere la energía cinética del volante de inercia a la carga de forma controlada.

2.3.8.3 Volante de Inercia

Gira constantemente a una velocidad de 2900 rpm. Almacena energía cinética para obtener la autonomía necesaria en caso de que el suministro de red se encuentre fuera de especificaciones o se interrumpa. En combinación con el acople inductivo, el volante de inercia es capaz de sustituir el suministro de red sin interrupción.

2.3.8.4 Bancada

Alternador, acople inductivo y volante de inercia vienen montados sobre una sólida bancada base divisible para el transporte y su instalación. Los antivibratorios montados bajo la bancada ofrecen aislamiento de vibraciones a la edificación.

2.3.8.5 Motor Pony

Acelera el volante de inercia hasta una constante velocidad de 2900 rpm.

2.3.8.6 Reactor (Bobina de Choque)

Actúa en combinación con el alternador como filtro de red y evita que perturbaciones en la red alcancen la carga.

2.3.8.7 Sistema de Control

El Sistema Ride Through (RT) funciona de forma automática y es fácil de operar gracias a un moderno sistema de control, lectura y señalización se indican de forma clara. El software de monitoreo a distancia está integrado en el sistema de control y permite integrar la funcionalidad de Autocall si el cliente así lo requiere.

2.3.8.8 Interruptores de Potencia

Los interruptores de potencia, son dispositivos utilizados para realizar la conexión del Sistema UPS a la red y a la carga, y del Sistema UPS a la carga.

2.3.9 Sistemas DC

Los sistemas DC están formados por un banco de baterías. Una batería es un dispositivo que permite almacenar energía en forma química. Una vez cargada, dicha energía química se transforma en energía eléctrica, a través de un circuito, revirtiendo el proceso. La mayoría de las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un determinado número de celdas electroquímicas. La tensión de una batería está dada por el número de celdas en serie que posea.

2.3.10 Generadores de Emergencia

Es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz (F.E.M.).

2.3.11 Black-Out

Es apagón eléctrico, es decir, la pérdida del suministro de energía eléctrica en un área.

2.3.12 Mantenimiento Preventivo Basado en Condición (MBC)

Política orientada al monitoreo del estado y condiciones de funcionamiento del equipo, que permitirá tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

2.3.13 Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)

Política de mantenimiento orientada a la restitución de condiciones normales de funcionamiento de un equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y que depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

2.3.14 Mantenimiento Detectivo o búsqueda de fallas (bf)

Política orientada a reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta. Consiste en la identificación de elementos fallidos en sistemas que por su configuración no notifican su estado anormal de falla o su incapacidad para realizar una función.

2.3.15 Categorías de consecuencias

Las categorías de consecuencias a ser consideradas en el análisis de criticidad, han sido definidas en base al requerimiento de la aplicación para la medición del impacto de un evento no deseado en el negocio de Petropiar.

2.3.16 Configuración Secundario Selectivo

El sistema secundario selectivo posee generalmente dos alimentaciones una para cada barra. También posee un interruptor de enlace entre las barras que esta generalmente en posición abierta, y se cierra automáticamente al momento de una falla en una de las dos fuentes como se ve en la figura 2.23.

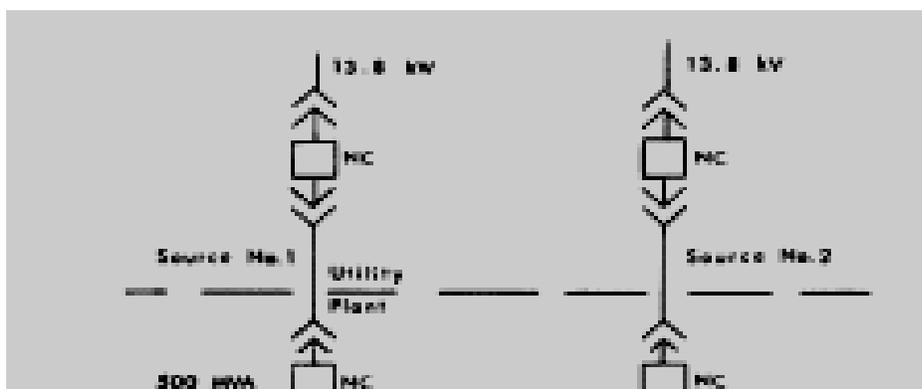


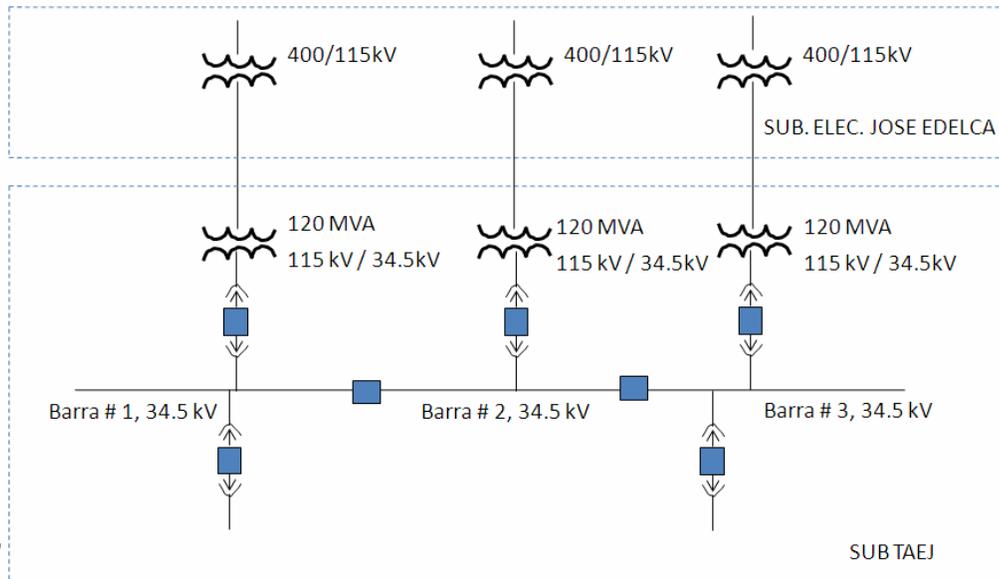
Figura 2.23. Configuración Secundario Selectivo

CAPITULO III
DESCRIPCION DEL SISTEMA Y ESTADO ACTUAL DE LOS
EQUIPOS DE MEDICIÓN Y RESPALDO CON LOS QUE
CUENTA LA EMPRESA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PDVSA PETROPIAR.

La Subestación Terminal de Almacenaje y Embarque de Jose (TAEJ) de PDVSA se alimenta en 115kV de la Subestación Eléctrica Jose de EDELCA 400/115kV. El sistema eléctrico de PDVSA PETROPIAR se nutre de la Subestación TAEJ, este sistema está compuesto por 13 subestaciones.

La subestación posee un sistema de barras de conexión dobles, unidas mediante un enlace, este sistema es conocido como equipos de interrupción (switchgear). El sistema de configuración utilizado por las subestaciones es de secundario selectivo, este sistema de configuración posee dos alimentaciones una para cada barra; también posee un interruptor de enlace entre las barras que esta generalmente en posición abierta, y se cierra automáticamente al momento de una falla en una de las dos fuentes. El consumo estimado de potencia del mejorador es de 70 MVA. En la figura 3.1, se puede se denota claramente la estructura de la Subestación Eléctrica Jose de Edelca y TAEJ.



F

Fuente: Entrenamiento en Subestaciones Eléctricas Nivel L

3.1.1 Subestación Eléctrica 10A.

La Subestación Eléctrica 10A se encuentra en el Mejorador de crudo Petropiar, a través de un sistema de cables directamente enterrados en 34.5kV. Entre los niveles de tensión que se maneja están 34500 voltios, 13800 voltios, 4160 voltios, 480/277 voltios y 208/120 voltios. Los cuales son transformados por 44 transformadores de distribución de tipo pedestal. En la figura 3.2, se muestra el diagrama de conexión entre la Subestación TAEJ y la Subestación 10 A (Ver anexo A.1)

La Subestación Electrica 10 A le distribuye energía eléctrica a doce (12) diferentes Subestaciones Eléctricas, como se muestra en la figura 3.3; las cuales están repartidas según las areas operacionales de proceso. Esta unidad de distribución eléctrica también es conocida como la unidad 72 (POWER DISTRIBUTION).

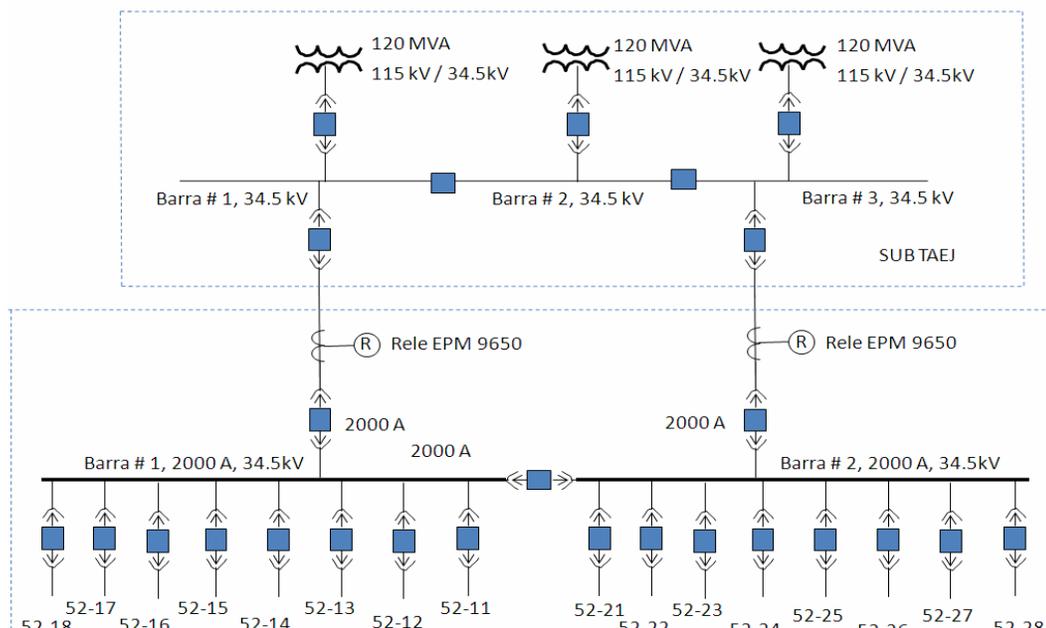
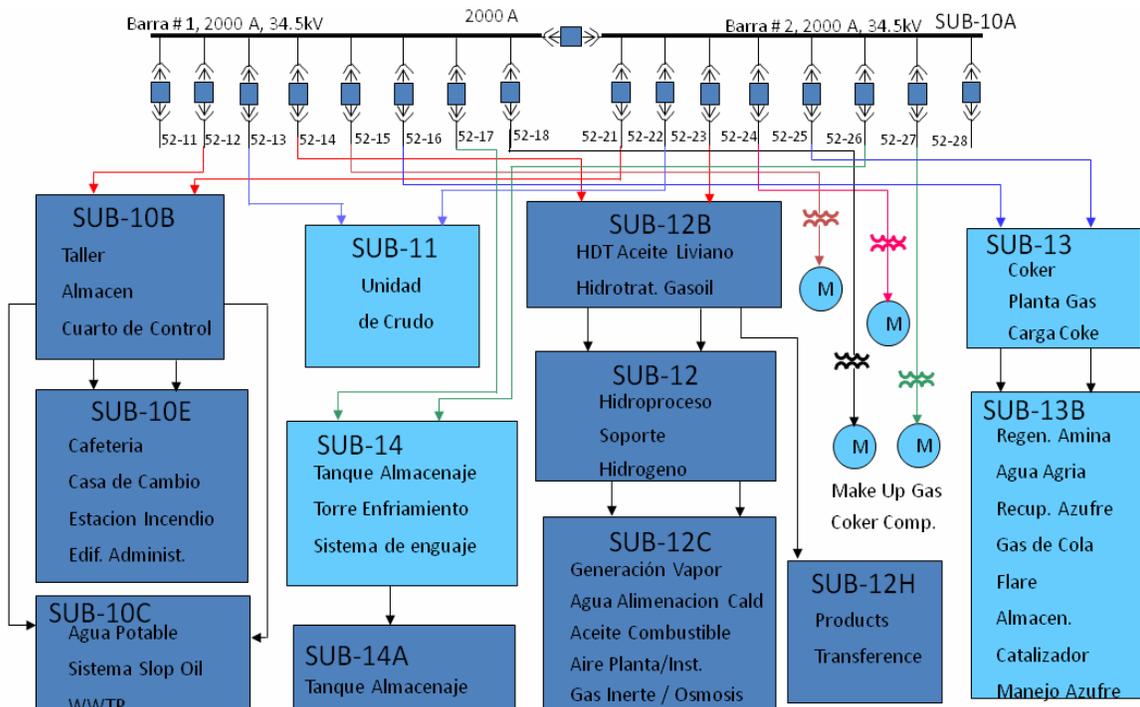


Figura 3.2 Diagrama de la Subestación TAEJ y 10A.**Fuente:** Entrenamiento en Subestaciones Eléctricas Nivel L0

A cada subestación se le asignó un nombre de identificación los cuales son:

Subestación 10B
 Subestación 10E
 Subestación 10C
 Subestación 11
 Subestación 12
 Subestación 12B
 Subestación 12C
 Subestación 13
 Subestación 13B
 Subestación 14



3.1.2 Medidor de Calidad de Energía (Relé Multilin EPM).

El Relé Multilin EPM es un equipo de medición y detección de fallas, es capaz de medir voltajes, corrientes y contenido de armónicos en tiempo real y tomar fotografías para documentar y analizar. Su alta velocidad de muestreo, a 256 muestras por ciclo, proporciona una excelente fidelidad al reproducir formas de onda y capturar transientes que ocurren tan rápidamente como en 62,5 μ s.

La memoria de 6 MB del Relé Multilin EPM se encuentra convenientemente dividida para permitirle almacenar cuatro tipos diferentes de datos, sincronizados o independientes unos de otros. Se pueden almacenar hasta 12 fotos instantáneas de la pantalla, hasta 50 transientes capturados que contienen cuatro ciclos para cada entrada activa y 4096 eventos de alarma.

Consta de seis botones de acceso directo a funciones, le permiten ver rápidamente:

* Botón de Forma de onda: Presenta voltios, amperios, THD y Factor de Cresta por fase o en todas sus fases. Presenta todas las entradas de voltaje en una pantalla, fase a fase o fase a neutro. Puede presentar diagramas de fasores en tiempo real para voltios y amperios, también por fase o en todas las fases.

* Botón de Armónicos: Presenta armónicos hasta el 50^{mo} para Voltios, Amperios y V.A. los armónicos individuales se presentan como un porcentaje y en valor real. También puede presentar la dirección y la secuencia de los armónicos.

* Botón de Transientes: Ajusta, captura y presenta los transientes. Se selecciona el umbral y el número de transientes a capturar. Luego el Relé Multilin EPM captura cuatro formas de onda para cada transiente; la forma de onda de disparo como también una pre y post forma de onda de disparo. Se pueden capturar hasta 1200 formas de onda.

* Botón de Alarmas: Configura, captura y presenta hasta 4096 eventos de alarma basados en hasta 10 variables de disparo diferentes. Cada evento de alarma capturado mostrará la fase, la variable y el valor como también la hora y duración.

* Botón de Registro: Ajusta y registra datos de tendencia a velocidades seleccionables desde una muestra / segundo hasta una muestra cada 15 minutos en 22 variables diferentes para todas las fases.

* Botón de Potencia y Energía: Presenta Watts, VARs y VA por fase y total.

3.1.2.1 Características de Medidor de Calidad de Energía (Relé Multilin EPM).

Mediciones de RMS verdadero mono-, di- y tri-fásicas a 256 muestra/ciclo.

Formas de onda en color en tiempo real.

Ajustes en pantalla fáciles de usar.

Reconocimiento del sensor de corriente y ajuste de escala automáticos.

Mediciones de RMS verdaderas de voltaje y corriente.

Mide voltios, amperios y potencia.

Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el orden 50^{mo}, incluyendo dirección, en tiempo real.

Captura transientes hasta 1/256^{mo} de ciclo.

Presentación de diagrama de fasores.

Voltaje y corriente de pico.

Frecuencia nominal de 40 a 70 Hz.

VA, VAR Y W por fase y totales.

kVAh, VAR Y kWh por fase y totales.

Presentación de corriente neutra para tri-fásicas.

Factores de cresta para corriente y voltaje.

Presentación de factor K de transformador.

Presentación de Factor de Potencia, FP de desplazamiento.

Captura hasta 50 transientes.

Presentación de fluctuaciones de corta duración.

Alarmas, golpes y caída de voltaje.

Registra fecha y características de las perturbaciones.

Impresión inmediata directo a la impresora.

Función foto instantánea de la pantalla, captura formas de onda u otra información en pantalla.

Puerta de comunicación RS-232 ópticamente aislada.

Incluye software DataView, para el almacenaje de datos, muestra en tiempo real, el análisis y la generación de informe.

3.1.2.2 Aplicaciones de Medidor de Calidad de Energía (Relé Multilin EPM).

Verificación de circuitos de distribución de energía eléctrica.

Medición y registro de la calidad de los sistemas de potencia (kW, VA, VAR).

Medición de energía (kVAh, VARh, kWh).

Detección de fallas en planta de los paneles de distribución.

Monitoreo de transformadores.

Determinación de problemas de armónicos originados en la fuente o en la carga.

Monitoreo de desbalances de fases.

Determinación de factor K de transformadores.

3.1.2.3 DataView Software.

El software DataView proporciona una forma conveniente de configurar y controlar desde la computadora las pruebas de análisis de la energía eléctrica. Mediante el uso de cuadros de diálogos claros y fáciles de usar con la tecla tabuladora, se puede configurar todas las funciones del Relé Multilin EPM e iniciar las pruebas. Los resultados se pueden mostrar en tiempo real y almacenar en su computadora. Se puede imprimir informes con los comentarios y análisis del operador.

3.1.2.4 Características DataView Software.

Presenta datos en tiempo real en su PC.

Configura todas las funciones del Relé Multilin EPM desde el PC.

Personaliza visitas, plantillas e informes de acuerdo a las necesidades exactas.

Crea y almacena una biblioteca completa de configuraciones que pueden ser transferidas al Relé Multilin EPM según se necesita.

Presenta formas de onda, gráficos de tendencia, espectros de armónicos, resúmenes en texto, transientes, registros de eventos y alarmas almacenadas.

Permite imprimir informes usando plantillas estándar o personalizadas.

3.1.2.5 Requerimientos Mínimos para la Utilización de DataView Software.

Windows 95/98/2000/ME/XP o Windows NT 4.0.

32 MB de RAM (128 MB recomendados).

35 MB de espacio en disco duro (200 MB recomendados).
Lector de CD ROM.

3.2 ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y RESPALDO CON LOS QUE CUENTA LA EMPRESA.

3.2.1 Relé Multilin EPM.

La política de mantenimiento para los relés de este tipo, está soportada mayormente en el mantenimiento predictivo basado en el monitoreo de condición y en el mantenimiento preventivo basado en tiempo.

La frecuencia de las tareas está determinada de acuerdo al nivel de criticidad del instrumento, adoptando, para el caso de relés, dos posibles rangos de criticidad:

- Muy alta y alta (I-II)
- Media y baja (III-IV)

Entre las actividades realizadas para ambos rangos de criticidad se encuentran el monitoreo de la condición del equipo, análisis de tendencias de la variable medida, calibración, limpieza de tomas de proceso y del instrumento.

En la figura 3.4 se listan los planes de mantenimiento para estos equipos:

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV	
	Busqueda de Falla (BF)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)
	Frecuencia	
	Bianual	Bianual
Protection Relay	Verificar programación del rele	Limpiar contactos, ajustar terminales
	Efectuar pruebas de disparo y funcionamiento	

Figura 3.4 Plan de Mantenimiento del Relé Multilin EPM

3.2.1.1 Aplicaciones Específicas

La calibración y prueba de los relés, se debe realizar tomando como base los procedimientos o rutinas de mantenimiento para este relé.

Con respecto al Relé Multilin EPM, se consideró que por ser de tecnología muy específica, se solicitará a la empresa representante la verificación de la calibración y ejecución de tareas de detección de fallas cuando se requiera. Sin embargo, se establecieron planes de mantenimiento incluyendo tareas básicas, con la finalidad de evitar problemas de transmisión de señal.

En la figura 3.5 se muestran los planes de mantenimiento establecidos:

Nivel III-IV			
Mantenimiento Basado en Condición (MBC)	Búsqueda de Fallas (BF)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	
Frecuencia			
Diario	Bianual		
		Reapriete de tornillos de sujeción de cables de alimentación / señales del dispositivo	Verificación de conexión de aterramiento, limpieza de los puntos de aterramiento, reapriete de conexiones

Figura 3.5 Plan de Mantenimiento del Relé Multilin EPM

En la figura 3.6 se presenta un formato de inspección visual, donde se refleja el estado externo del Relé multilin EPM.

 PDVSA PETROPIAR		INSPECCIÓN VISUAL DE CELDAS		 N&V, C.A.	
<input type="checkbox"/> AS FOUND <input checked="" type="checkbox"/> AS LEFT <input type="checkbox"/> NO APLICA					
DATOS DEL EQUIPO					
LUGAR:	PETROPIAR	S/E:	10A	SISTEMA:	-----
MODELO:	ZS3.2	NIVEL DE TENSIÓN:	36 KV	BIL:	170 KV
Ic:	1250 A	V _{ac} :	34.5 KV	Isc:	31.5 KA
TABLERO:	72-SG-10A-B-01	CIRCUITO:	METERING (MT1B)	AÑO:	-----
FECHA:	17/11/2009	SERIAL:	-----	RZ:	60
				MARCA:	ABB
REVISAR Y/O VERIFICAR		ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	OBSERVACIONES	
ESTADO DE LA PINTURA Y ACABADOS		✓			
FUJACIÓN DEL EQUIPO		✓			
ESTADO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN		✓			
ESTANQUEIDAD DE LOS CUBÍCULOS Y ENTRADAS DE CABLES		✓			
CALEFACCIÓN		✓			
ESTADO DE LOS AISLADORES DE LAS BARRAS		✓			
ESTADO DEL MATERIAL AISLANTE		✓			
PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO OCASIONAL		✓			
CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA		✓			
NIVEL DE LIMPEZA		✓			
INDICACIONES DE "PELIGRO: ALTA TENSIÓN"		✓		CAMBIAR A ESPAÑOL	
ESTADO DE LA TORNERÍA		✓			
ESTADOS DE LAS LUCES DE INDICACIÓN		✓			
ESTADO DE LA METALMECÁNICA		✓			
ESTADO DE LAS PUERTAS Y BISAGRAS		✓			
VENTILACIÓN DE LOS CUBÍCULOS				N/A	
PROTECCIÓN CONTRA POLVO Y ROEDORES		✓			
ILUMINACIÓN DE LOS CUBÍCULOS		✓			
ESTADO DE LAS CONEXIONES A BORNERAS		✓			
CARBONES DEL MOTOR CARGA RESORTE				N/A	
MECANISMO DE CARGA DE RESORTE MANUAL				N/A	
INDICACIÓN DE RESORTE COMPRIMIDO/DESCOMPRIMIDO				N/A	
INDICADOR DE OPERACIONES				N/A	
PRUEBA DE APERTURA Y CIERRE MANUAL				N/A	
ESTADO DE LOS PINES DEL CONECTOR PRINCIPAL		✓			
ESTADO DE LOS POLOS DEL INTERRUPTOR				N/A	
VERIFICAR LA NO EXISTENCIA DE PUENTES Y CABLES EN LOS POLOS		✓			
ESTADO DEL LA ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN		✓			
OBSERVACIONES GENERALES					
RESULTADOS SATISFACTORIOS					
NOTA 1: CABLE SUELTO Y AISLADO EN RELÉ 87L.					
<small>ESTE FORMATO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE N&V, C.A. Y ESTÁ PROTEGIDO BAJO LAS LEYES DE DERECHO DE AUTOR. SE PROHÍBE SU UTILIZACIÓN Y REPRODUCCIÓN SIN EL CONSENTIMIENTO ESCRITO DE N&V, C.A.</small>					
ELABORADO POR N&V, C.A:		REVISADO POR INSPECTOR PETROPIAR:		APROBADO POR SUPERVISOR PETROPIAR:	
NOMBRE:	JAVIER SOTO	NOMBRE:	ISRAEL SALAZAR	NOMBRE:	LUIS LUNA
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:	
FECHA:	17/11/09	FECHA:	17/11/09	FECHA:	20/11/09
R2191-PRU-036. REV.1					

Figura 3.6 Inspección Visual de celda donde se Localiza el Relé

Esta inspección visual fue realizada con la finalidad de determinar el estado externo en el que se encuentra el Relé, haciendo énfasis en todas sus características visibles, es decir, estado de la pintura y acabados, estado del material aislante, estado de los aisladores de las barras, estado del material aislante, nivel de limpieza, estado de las conexiones a borneras, entre otros. Esta inspección se efectúa para determinar de una manera tangible que el equipo se encuentre en un estado óptimo para su operación y desempeño.

3.2.1.2 Estado actual del Relé Multilin EPM

Luego de culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el BF (Búsqueda de Fallas), donde se busca reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta. El cual se realizó con una frecuencia bianual, es decir, cada dos años; donde se efectuaron procedimientos como verificación de la programación del Relé y pruebas de disparo y funcionamiento.

También se realizó un MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, se les realiza un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Donde este se ejecuta con una frecuencia bianual, y se realizaron procedimientos como, limpieza de contactos y ajuste de terminales.

Seguido a esto, se hizo una revisión de las estadísticas de falla e inspección visual, y se obtuvo que este equipo de medición de calidad de energía, como lo es el Relé Multilin EPM, cumplió con todas las normativas necesarias y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

3.2.2 Sistema de Energía Ininterrumpida (UPS).

Este dispositivo provee y mantiene energía eléctrica de respaldo en caso de interrupciones eléctricas o eventualidades en la línea o acometida. Adicionalmente los UPS cumplen la función de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las

cargas, como el filtrado, protección de subidas (picos de tensión), bajadas de tensión (caídas), apagones y eliminación de corrientes parasitarias, interrupciones de energía, pérdida de data, etc.

Para los UPS se realizó inspección, mantenimiento preventivo y termografía anual. Los detalles de las actividades que se realizan en los diferentes componentes del sistema: Rectificador; Inversor y Conmutador Estático.

En la figura 3.7, se muestra el plan de mantenimiento para los UPS Battery Rack (Estante de Batería), y la frecuencia con que debe realizarse.

En el plan de mantenimiento para el UPS Battery Rack presentado en la figura 3.7, se muestran tipos de maniobras, tales como, la medición de voltaje en cada celda y banco y la medición de voltaje-corriente en el cargador; observándose que estas maniobras se realizaron bimensualmente, ósea cada dos meses, y se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV		
	Mantenimiento Basado en Condición (MBC)	Mantenimiento o Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	
	Frecuencia		
	Bimensual	Anual	Anual
UPS Battery Rack	Medir voltaje de cada celda y del banco	Efectuar prueba de Capacidad	Limpiar con trapo humedecido con agua
		Realizar Termografía	Inspeccionar estado físico paredes
		Verificar nivel de electrolito	Limpiar sistema de puesta a tierra.

Figura 3.7 Plan de Mantenimiento para el UPS Battery Rack

También se denota que para el caso de procedimientos como pruebas de capacidad, termografías, revisión de nivel electrolítico, ajuste de conexiones-prueba resistencia contacto, mantenimiento de terminales y sistemas de puesta tierra; se efectuaron con una regularidad de una (1) vez al año; y se les realizaron un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

En la figura 3.8, se muestra el plan de mantenimiento para los UPS Fused Panel (Panel de Fusibles), y la frecuencia con que debe realizarse.

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV	
	Mantenimiento Basado en Condición (MBC)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)
	Frecuencia	
	Anual	Anual
UPS Fused Panel	Realizar prueba eléctrica aislamiento	Limpiar interna y externamente equipo
	Inspeccionar barras.	Inspección carcasa (corrosión, encerramiento)
	Realizar Termografía	Ajustar conexiones
		Limpiar sistema de puesta a tierra.

Figura

En el plan de mantenimiento para el UPS Fused Panel presentado en la figura 3.8, se muestran tipos de maniobras, tales como, pruebas eléctricas de aislamiento, inspección de barras y termografías; observándose que estas maniobras se realizaron anualmente, ósea una (1) vez al año, y se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

También se puede notar que para el caso de procedimientos como, limpieza interna y externa del equipo, inspección de carcasa, ajustes de conexión y limpieza de puesta tierra; se efectuaron con una regularidad de una (1) vez al año; y se les realizo un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

En la figura 3.9, se muestra el plan de mantenimiento para los UPS Unit Charger (Unidad de Carga), y la frecuencia con que debe realizarse.

En el plan de mantenimiento para el UPS Unit Charger presentado en la figura 3.9, se muestran tipos de procedimientos, tales como, inspección de puente rectificador, inspección de estado del filtro de aire e inspección de parámetros operacionales; observándose que estos procedimientos se realizaron bimensualmente, ósea cada dos meses. También se realizaron procedimientos como, termografía, prueba de operabilidad y medición de parámetros; e inspección de carcasa; notándose que estos procedimientos se realizaron anualmente, ósea una (1) vez al año, y se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV			
	Mantenimiento Basado en Condición (MBC)		Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	
	Frecuencia			
	Bimensual	Anual	Bimensual	Anual
UPS Unit (Charger)	Inspeccionar puente rectificador	Realizar Termografía	Revisar sistema de enfriamiento	Limpiar interna y externamente equipo
	Inspeccionar edo. de filtro de aire	Probar operabilidad, medir parametros		Limpiar y ajustar conexiones

Figura 3.9 Plan de Mantenimiento para el UPS Unit Charger

También se puede notar que para el caso de procedimientos como, revisión del sistema de enfriamiento; se efectuaron con una regularidad bimensual, ósea cada dos meses. También se realizaron procedimientos como, limpieza interna y externa del equipo, limpieza y ajuste de conexiones y limpieza del sistema de puesta a tierra; y se le realizó un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

3.2.2.1 Estado actual del Sistema UPS

Luego de culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), donde se realiza un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

También se llevo a cabo el plan de mantenimiento MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

Inmediatamente se realizó una revisión de las estadísticas de falla y se obtuvo que este equipo de respaldo, como lo es el UPS, cumplió con todas las normativas y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

3.2.3 Sistemas DC.

Los sistemas DC son aquellos equipos que transforman la corriente alterna en continua (rectificadores, cargadores) o bien de una corriente continua a alterna (inversores). Dichos sistemas DC pueden almacenar energía en una batería de acumuladores. Pudiendo obtener una continuidad de suministro DC o bien AC (a través de un inversor), sin interrupciones.

Cuando los elementos rectificadores, cargadores e inversores están integrados en un solo equipo, éstos constituyen lo que se llama un Sistema DC, permitiendo conectar tanto cargas alimentadas en AC como en DC.

Durante la inspección de los bancos de baterías es recomendable la medición de la temperatura ambiente del área donde se encuentran instaladas las mismas ya que su vida útil depende de esta variable. También se conoce que la mayoría de las fallas en bancos de baterías pueden ser detectadas mediante inspecciones visuales, sin embargo deben ser complementadas mediante pruebas para realizar una completa evaluación del desempeño del equipo.

En el Mejorador, las baterías utilizadas son de tipo selladas o de libre mantenimiento por lo que se adoptó un esquema de mantenimiento siguiendo las recomendaciones de los fabricantes: inspección visual cada 4 meses donde se incluye medición de voltaje, Mantenimiento preventivo anual donde se realizan limpieza general de las celdas, mantenimiento a bornes y terminales y descarga completa del banco cada 3 años de acuerdo a procedimientos de mantenimiento.

En la figura 3.10, se muestra el plan de mantenimiento para los Battery Bank (Banco de Baterías), y la frecuencia con que debe realizarse.

En el plan de mantenimiento para los Battery Bank (Banco de Baterías) presentado en la figura 3.10, se muestra el procedimiento de monitorear conexiones con cámara termográfica; observándose que este procedimiento se realizo bimensualmente, ósea cada dos meses. También se realizo el procedimiento de medición de voltaje monobloque/celda y voltaje total del banco con el cargador de baterías energizado; notándose que estos procedimientos se realizaron anualmente, ósea una (1) vez al año, y se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en

Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV		
	Mantenimiento Basado en Condición (MBC)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	
	Frecuencia		
	Bimensual	Anual	Anual
Battery Bank	Monitorear conexiones con Cámara Termográfica.	Medir voltaje monobloque/celda y voltaje total del banco con el cargador de baterías energizado	Medir y registrar con micro-ohmímetro resistencia de contacto de todas las conexiones del banco Efectuar Prueba de Carga luego de mantenimiento preventivo Inspeccionar visualmente terminales de baterías, en busca de terminales corroídos o sulfatados.

Fi

T:

cc

ef

vi

se efectuaron con una regularidad anual, ósea una (1) vez al año. Se le realizó un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

ar

o,

ar

se

En la figura 3.11, se muestra el plan de mantenimiento para el Rectificador, y la frecuencia con que debe realizarse.

En el plan de mantenimiento para el Rectificador presentado en la figura 3.11, se muestra el procedimientos de monitorear conexiones interceldas con cámara termografica y medición de consumo de corriente; observándose que este procedimiento se realizo bimensualmente, ósea cada dos meses. También se realizaron procedimientos como, inspección cerramiento del equipo en busca de acumulación de polvo y contaminantes en el cargador, verificación de operación de ventiladores de enfriamiento, inspección de cargador en busca de apertura de resistores, divisores de voltaje o cortocircuito; verificación de calibración de voltímetro y amperímetro, asi como correcta operación de alarmas; notándose que estos procedimientos se realizaron anualmente, ósea una (1) vez al año, y se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

Igualmente para el mantenimiento tipo BF (Búsqueda de Fallas), donde se busca reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta. Se realizo con una frecuencia anual, es decir, una (1) vez al año; donde se efectuó el procedimiento de ejecución de prueba a plena carga al cargador.

Familia de Equipo	Nivel I-II-III y IV				
	Mantenimiento Basado en Condición (MBC)		Busqueda de Falla (BF)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)	
	Frecuencia				
	Bimensual	Anual	Anual	Bimensual	Anual
	Monitorear conexiones interceldas con	Inspeccionar cerramiento del equipo en busca de acumulación de polvo, contaminantes en cargador Verificar operacion de ventiladores de enfriamiento. Limpiar filtros de aire si aplica.	Efectuar prueba de		Inspeccion visual de conexión a tierra.

Figura 3.11 Plan de Mantenimiento para el Rectificador del Sistema DC

También se puede notar que para el caso del procedimiento de ejecución de prueba de capacidad, se efectuó con una regularidad bimensual, ósea cada dos meses. También se realizaron procedimientos como, inspección visual de conexión a tierra e inspección de puesta a tierra de equipos en busca de circuitos abiertos o no conectados; con una regularidad anual, es decir, una (1) vez al año, y se le realizó un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

3.2.3.1 Estado actual del Sistema DC

Luego de culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), donde se realiza un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

También se llevo a cabo el plan de mantenimiento MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del

mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

Igualmente se realizo el mantenimiento tipo BF (Búsqueda de Fallas), donde se busca reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta.

Inmediatamente se realizo una revisión de las estadísticas de falla y su obtuvo que este equipo de respaldo, como lo es el Sistema DC, cumplió con todas las normativas y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

3.2.4 Ride Through.

En modo de red el sistema RT (Ride Through) actúa como un acondicionador de red y un filtro activo en combinación con la bobina de choque, eliminando breves interrupciones, picos y huecos provenientes de la red. En caso de fallo de red el sistema RT continúa suministrando potencia a la carga, sin interrupción ni perturbación. Puede suministrar potencia durante 15 segundos a plena carga y 30 segundos a media carga. De esta forma el sistema RT protege su carga ante el 95% de todos los problemas de red y puede cubrir el tiempo necesario para arrancar un grupo de emergencia.

Un modulo de potencia Ride Through (RT) consiste de un volante de inercia, un motor pony, un acople inductivo y un alternador montado sobre robusta bancada de base.

Los equipos operativos asociados a las unidades de protección y respaldo, como el Ride Through, son los encargados de mitigar las perturbaciones. La mayor parte de las fallas en los Ride Through tienen origen mecánico, es por esta causa que se agregan a las actividades eléctricas las relacionadas al sistema de lubricación de estos equipos.

Fueron definidas las frecuencias de las actividades de mantenimiento para el Ride Through con un nivel de criticidad bajo. Estas quedaron como sigue:

Medición de resistencia de Aislamientos: Se realizara con una frecuencia bianual.

Monitoreo de la condición dinámica: Se realizara con una frecuencia bianual.
Medición de parámetros operacionales: Se realizara con una frecuencia semestral.

Realizar análisis espectral de vibraciones y corriente al motor Ride Through: Se realizara con una frecuencia bianual.

Arrancador: Revisión de los ajustes y pruebas de protecciones eléctricas, apriete de tornillos en conectores, limpieza de los componentes, terminaciones, contactos móviles y fijos, aplicar película lubricantes a los contactos, inspeccionar conexiones en circuito de control y potencia (contactor, Borneras) en busca de recalentamiento en cables y conexiones flojas, ajustar conexiones de acuerdo a recomendación del fabricante, reemplazar cables y terminaciones, en caso de ser necesario, verificar estados y el funcionamiento de contactos principales y auxiliares, realizar pruebas de operabilidad, efectuar prueba de operabilidad desde los diferentes puntos de control, manual y automático, así como los permisivos del proceso donde aplique y realizar pruebas de inserción. Se realizara con una frecuencia bianual.

En el plan de mantenimiento para el Ride Through presentado en la figura 3.12, se muestran procedimientos, tales como, monitorear la condición dinámica y realizar pruebas eléctricas al circuito de potencia y medir parámetros operacionales; observándose que este procedimiento se realizo semestralmente, ósea cada seis meses. También se realizo el procedimiento de inspección del motor en busca de ruidos anormales; notándose que este procedimiento se realizo anualmente, ósea una (1) vez al año. Del mismo modo se le practicaron técnicas, tales como, pruebas eléctricas de aislamiento al motor y registro de data histórica, medición de la corriente de carga, pruebas de operabilidad permisivas, pruebas de funcionamiento y operabilidad y análisis espectral de vibraciones y corriente al motor; viéndose que estas técnicas se realizaron bimensualmente, es decir, cada dos meses. Además se le realizaron maniobras de pruebas de índice de polarización al motor y pruebas de impulso al motor; con una frecuencia de quincenal, es decir, cada quince (15) días. Donde se les ejecuto un mantenimiento del tipo MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación.

En la figura 3.12, se muestra el plan de mantenimiento para el Ride Through, basado en MBC, BF MBT, y la frecuencia con que debe realizarse.

Igualmente para el mantenimiento tipo BF (Búsqueda de Fallas), donde se busca reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta. Se realiza con una frecuencia bianual, es decir, cada dos años; donde se efectuaron procedimientos inspección de interruptor de caja moldeada, inspección de contactos del contactor, verificación del funcionamiento del relé de protección y realizar pruebas al relé de protección.

Nivel III-IV							
Mantenimiento Basado en Condición (MBC)				Búsqueda de Fallas (BF)	Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT)		
Frecuencia							
Semestral	Anual	Bianual	Quinquenal	Bianual	Mensual	Anual	Bianual
Monitorear condición dinámica (análisis de vibración, temperatura).		Realizar pruebas eléctricas de aislamiento al motor, registrar y llevar data histórica.		Inspeccionar interruptor caja moldeada		Re-lubricar cojinetes. Grasa o aceite según sea requerido de acuerdo en caso que aplique	Inspeccionar caja de conexiones, conductos, cables, bornera o copas terminales
		Medir corriente de carga calentador de espacio en caso de encontrar anomalías		Inspeccionar contactos del contactor		Inspeccionar motor en busca de deterioro del bastidor	Inspeccionar botonera en busca de deterioro empacaduras / evidencias de contaminación caja conexión.
		Realizar pruebas operabilidad-permisivos		Verificar funcionamiento del relé de protección		Inspeccionar motor en busca de pemos corrodos. Limpiar	Inspeccionar ejes de motor en busca de deterioro por corrosión
				Realizar pruebas relés protección		Realizar limpieza externa al motor. Revisar pintura, inspeccionar en busca de corrosión en carcasa.	Revisar unidades y abrazaderas de fijación de conduits
Realizar pruebas eléctricas al circuito de potencia. Medir parámetros.	Inspeccionar motor en busca de ruidos anormales.	Prueba funcionamiento-operabilidad			Rotar periódicamente equipos (principal y spare)		Verificar condición física del ventilador, limpiar agujeros de la rejilla
		Prueba de inserción gaveta					Realizar limpieza componentes internos
							Inspeccionar visualmente conexión a tierra. Limpiar sistema de puesta a tierra, remover corrosión
			Realizar Prueba de impulso al motor (Baker)	Efectuar cinco maniobras de cierre y apertura comprobando funcionamiento de			

Figura 3.12 Plan de Mantenimiento para el Ride Through

También se puede notar que para el caso del procedimiento de rotar periódicamente los equipos, se efectuó con una regularidad mensual, ósea una vez al mes. También se realizaron procedimientos como, relubricación de cojinetes, grasa o aceite según sea requerido de acuerdo al caso que aplique, inspección de motor en busca de deterioro del bastidor, inspección de motor en busca de pernos corroídos, realizar limpieza externa al motor e inspección visual de la conexión a tierra y limpiar sistema de puesta a tierra; con una regularidad anual, es decir, una (1) vez al año. Del mismo modo se le realizó inspección a la caja de conexiones, conductores, cables y terminales; también a la botonera en busca de deterioro, igualmente a las empaaduras y la caja de conexión, se le hizo una verificación de la condición física del ventilador y a los componentes internos. Donde se le realizó un mantenimiento del tipo MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación.

3.2.4.1 Estado actual del Ride Through

Luego de culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), donde se realiza un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

También se llevo a cabo el plan de mantenimiento MBC (Mantenimiento Basado en Condición), es decir, monitorear el estado y las condiciones de funcionamiento del

equipo, permitiendo tomar una decisión en cuanto a la intervención oportuna del mismo para retornar su nivel de funcionamiento a las condiciones normales de operación. Donde este se ejecuto con una frecuencia anual y bimensual.

Igualmente se realizo el mantenimiento tipo BF (Búsqueda de Fallas), donde se busca reducir el riesgo de probabilidad de ocurrencia de falla múltiple por la existencia de una falla oculta.

Inmediatamente se realizo una revisión de las estadísticas de falla y su obtuvo que este equipo de respaldo, como lo es Ride Through, cumplió con todas las normativas y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

3.2.5 Generadores de Emergencia Diesel.

El Generador de Energía es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generara una fuerza electromotriz (F.E.M.).

La política de mantenimiento consiste en el arranque en carga con una frecuencia mensual, arranque en vacío así como inspección general semanal, mantenimiento preventivo anual y mantenimiento mayor durante la parada de planta del Mejorador, de acuerdo al procedimiento de mantenimiento “Mantenimiento Preventivo de Generadores”.

Para las figuras 3.14, 3.15 y 3.16, se utilizaron las siguientes abreviaciones:

1W: Frecuencia de Monitoreo Operacional semanal.

1M: Frecuencia de Mantenimiento Mensual.

1Q: Frecuencia de Mantenimiento Trimestral.

4M: Frecuencia de Mantenimiento Cuatrimestral.

2Q: Frecuencia de Mantenimiento Semestral.

1Y: Frecuencia de Mantenimiento Anual.

2Y: Frecuencia de Mantenimiento Bianual.

3Y: Frecuencia de Mantenimiento Trianual.

4Y: Frecuencia de Mantenimiento Cuatrienal.

SDW: Frecuencia de Mantenimiento en Paradas de Planta.

N/A: No Aplica.

ATC: Frecuencia de la tarea según el caso

En la figura 3.13, se muestran los Planes de Mantenimientos aplicados al Generador Diesel, y la frecuencia con que se le deben aplicar.

Familia de Equipo	Tipo	NIVELES DE CRITICIDAD	
		NIVEL: I – II – III – IV	
		Planes de Mantenimiento	Frecuencia
Generador de Emergencia	Diesel	Mantenimiento Predictivo semanal (Incluye inspección del panel de control, baterías, combustible, agua, aceite)	1W
		Prueba de arranque en vacío	1W
		Prueba de arranque en carga	1M
		Mantenimiento Predictivo Bianual	2Y
		Mantenimiento Preventivo Bianual	2Y

En el plan de mantenimiento para el Generador de Emergencia Diesel presentado en la figura 3.13, se muestra entre otros, el Mantenimiento Predictivo, este tipo de mantenimientos está basado en la determinación del estado del equipo en operación. El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo, cambiar o reparar la maquina en una parada cercana y detectar cambios anormales en las condiciones del equipo. Se le practico también una inspección del

panel de control, baterías, combustible, agua y aceite; este procedimiento se le realizó a dicho generador con una frecuencia semanal.

También se le aplicó un MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Este mantenimiento se le aplicó con una frecuencia bianual, es decir, cada dos años.

Igualmente se le realizaron pruebas de arranque en vacío y de arranque en carga semanalmente.

En la figura 3.14, se muestran los Planes de Mantenimientos aplicados al Panel de Control del Generador Diesel, y la frecuencia con que se le deben aplicar.

Familia de Equipo	Tipo	NIVELES DE CRITICIDAD	
		NIVEL: I – II – III – IV	
		Planes de Mantenimiento	Frecuencia
All Control Panel	Panel Generador Diesel	Pruebas de luces de indicación y alarmas	1W
		Mantenimiento Preventivo Semestral (Limpieza interna del panel)	2Q
		Mantenimiento Predictivo Anual (Inspección de componentes internos y pruebas funcionales)	1Y
		Mantenimiento Preventivo Anual (Ajuste de conexiones)	1Y
		Mantenimiento Predictivo Cuatrienal (Pruebas a cables de protección)	4Y
		Mantenimiento Preventivo Cuatrienal (Limpieza de instrumentos de medición y puesta a tierra)	4Y

preventivo basado en tiempo), es decir, un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro,

desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Haciendo énfasis en la limpieza interna del panel semanalmente, ajuste de conexiones anualmente y limpieza de instrumentos de medición y puesta a tierra cada cuatro años.

También se le aplicó el Mantenimiento Predictivo, este tipo de mantenimientos está basado en la determinación del estado del equipo en operación. El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo, cambiar o reparar la máquina en una parada cercana y detectar cambios anormales en las condiciones del equipo. En este procedimiento se hizo énfasis en la inspección de componentes internos y pruebas funcionales con una regularidad anual; y en las pruebas de al relé de protección cada cuatro años.

3.2.5.1 Estado actual del Generador de Emergencia Diesel

Luego de culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), donde se realiza un mantenimiento orientado a la restitución de condiciones normales de funcionamiento del equipo producto de un deterioro, desgaste o degradación constante en el tiempo y depende del tiempo de funcionamiento y de las condiciones ambientales y de operación. Donde este se ejecutó con una frecuencia semestral, anual, bianual y cuatrienal.

También se le aplicó el Mantenimiento Predictivo, este tipo de mantenimientos está basado en la determinación del estado del equipo en operación. El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo, cambiar o reparar la máquina en una parada cercana y detectar cambios anormales en las condiciones del equipo. El cual se realizó con una regularidad anual, bianual y cuatrienal.

Además se le realizaron pruebas de arranque en carga y en vacío y de luces de indicación y alarmas.

Al culminar todas las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, se obtiene que este equipo de respaldo, como lo es el generador de energía diesel, cumplió con todas las normativas y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

CAPITULO IV

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS Y PERTURBACIONES

4.1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO, BASADO EN LA DATA EXISTENTE PROPORCIONADA POR EL RELÉ.

4.1.1 Introducción

La variedad de disturbios que se generan en los sistemas eléctricos y que causan desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, pueden dar como resultado fallas de los sistemas u operaciones erráticas de los equipos. Con el fin de identificar y plantear alternativas de solución a estos tipos de inconvenientes, es necesario realizar una serie de estudios, destinados a evaluar la calidad del suministro.

Los beneficios de estos tipos de estudios radican, entre otros, aspectos en que proporcionan información acerca de las operaciones de los sistemas en condiciones normales y anormales, ayudando por ejemplo, a evitar fallas por corto circuito, ilustrar los efectos de armónicos e identificar las áreas con problemas potenciales.

4.1.2 Parámetros Medidos

Los registros utilizados para la realización del diagnóstico fueron extraídos del Relé Multilin EPM a través del software DataView. Estos registros se tomaron anualmente, los años en estudio fueron el 2004, 2005, 2006 e inicios del año 2007. Los parámetros tomados en consideración para la realización de este trabajo son los siguientes:

- Ciclos.
- Tiempo (ms).
- % Voltaje Nominal (% Vn).
- Fecha y hora.
- Semana del año.

Estos parámetros fueron los utilizados, ya que son los indicados para la detección de eventos, fallas o perturbaciones, tales como, sag, swell, sobretensiones y

subtensiones; determinados por la norma IEEE 1159-1195, la cual indica que existirá un “Sag” o “Swell” de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un intervalo que va desde 0.5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta 1 minuto, esté por debajo del 90 % para los Sag y por encima del 110 % para Swell del voltaje nominal. Y se presentará una subtensión cuando el voltaje RMS medido este por debajo del 90% por un intervalo mayor a 1 minuto, y para el caso de la sobretensión deberá estar el voltaje RMS por encima del 110% por un tiempo mayor de 1 minuto.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

4.2.1 Mediciones y observaciones en el año 2004

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el Relé Multilin EPM en el año 2004.

Tabla 4.1. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2004

Fecha & Hora	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	# Semana
1/30/04 12:47:30.968	100	90.00%	6.00	5
2/1/04 9:16:43.000	100	88.00%	6.00	6
2/12/04 14:17:40.000	100	90.00%	6.00	7
2/12/04 14:50:32.000	100	90.00%	6.00	7
2/16/04 15:52:14.987	100	88.00%	6.00	8
2/20/04 15:36:51.802	100	90.00%	6.00	8
2/26/04 12:55:53.000	68	74.50%	4.08	9
2/26/04 12:55:54.000	134	84.44%	8.04	9
2/27/04 23:08:59.617	67	81.00%	4.00	9
3/19/04 13:14:55.903	67	79.00%	4.00	12
3/24/04 4:47:15.406	67	88.91%	4.00	13
3/24/04 4:59:54.144	83	88.91%	5.00	13
3/24/04 8:00:47.353	83	86.64%	5.00	13
3/24/04 8:13:26.110	83	86.64%	5.00	13
3/25/04 5:16:43.850	67	87.63%	4.00	13
3/25/04 5:29:22.817	83	87.14%	5.00	13
3/25/04 15:44:26.738	167	91.59%	10.00	13

3/27/04 16:45:46.524	67	87.63%	4.00	13
3/27/04 18:04:28.832	167	90.82%	10.00	13
4/17/04 2:41:55.356	83	87.92%	5.00	16
4/17/04 3:48:55.935	83	87.42%	5.00	16
4/20/04 16:09:04.221	68	80.06%	4.08	17
5/6/04 15:42:35.000	150	92.30%	9.00	19
5/12/04 14:03:42.630	167	92.30%	10.00	20
5/12/04 14:03:43.000	401	93.10%	24.06	20
5/13/04 18:40:15.399	10,490	94.90%	629.40	20
5/19/04 13:13:26.230	101	89.92%	6.06	21
5/27/04 3:21:20.890	49	94.70%	2.94	22
5/27/04 20:22:59.735	67	94.04%	4.02	22
5/28/04 14:47:01.928	440	93.94%	26.40	22
5/28/04 22:31:03.418	82	94.14%	4.92	22
6/1/04 14:31:26.915	100	62.31%	6.00	23
6/5/04 15:05:14.140	33	89.22%	1.98	23
6/7/04 2:04:18.026	67	94.64%	4.02	24
6/8/04 19:32:09.922	32	92.13%	1.94	24
6/8/04 19:32:28.000	133	66.35%	8.00	24
6/8/04 19:32:56.237	50	83.98%	3.00	24
6/16/04 20:16:26.876	2,468	90.72%	148.08	25
6/17/04 13:16:30.131	116	93.63%	6.96	25
6/23/04 14:33:00.721	117	92.83%	7.02	26
7/1/04 13:36:16.337	83	93.13%	4.98	27
7/3/04 15:21:06.826	251	89.32%	15.06	27

Continuación de la Tabla 4.1. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2004

Fecha & Hora	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	# Semana
7/22/04 15:09:18.000	33	94.84%	1.98	30
7/25/04 5:26:52.000	100	94.84%	6.00	31
7/25/04 6:12:50.491	184	93.33%	11.04	31
7/25/04 6:12:50.675	100	94.04%	6.00	31
7/25/04 19:54:25.412	416	85.30%	24.96	31

7/26/04 14:39:10.575	100	94.64%	6.00	31
7/27/04 16:13:47.156	84	86.59%	5.04	31
7/27/04 16:35:41.281	733	90.42%	43.98	31
7/27/04 17:06:00.217	150	94.54%	9.00	31
7/27/04 18:39:30.952	66	93.13%	3.96	31
7/28/04 13:20:07.740	132	94.34%	7.92	31
7/28/04 18:50:54.408	166	94.84%	9.96	31
7/29/04 1:33:01.000	133	88.82%	8.00	31
8/1/04 19:03:44.483	450	86.45%	27.00	32
8/1/04 21:20:33.385	50	94.24%	3.00	32
8/3/04 15:06:37.928	165	86.37%	9.90	32
8/9/04 10:19:58.510	400	93.34%	24.00	33
8/9/04 13:52:04.282	200	85.01%	12.00	33
8/9/04 16:13:09.109	333	88.58%	20.00	33
8/11/04 13:03:04.890	250	86.50%	15.00	33
8/11/04 13:03:14.259	283	86.67%	16.98	33
8/11/04 18:37:53.534	117	78.30%	7.00	33
8/13/04 14:34:05.280	100	94.03%	6.00	33
8/16/04 0:09:07.227	267	94.83%	16.02	34
8/17/04 17:22:40.993	34	94.83%	2.04	34
8/19/04 13:16:54.161	200	80.92%	12.00	34
8/23/04 11:22:31.344	117	89.91%	7.00	35
8/23/04 15:41:02.726	133	91.11%	7.98	35
8/23/04 15:42:38.698	67	94.03%	4.02	35
8/23/04 15:50:26.600	117	90.21%	7.00	35
8/24/04 1:06:36.051	50	93.62%	3.00	35
8/28/04 11:17:24.135	117	83.18%	7.02	35
8/28/04 12:42:36.301	100	93.42%	6.00	35
8/28/04 13:55:01.668	167	92.12%	10.02	35
8/29/04 13:38:58.760	50	94.53%	3.00	36
8/31/04 14:48:10.682	216	91.62%	12.96	36
9/1/04 9:46:53.049	116	94.53%	6.96	36
9/2/04 9:02:21.335	2,082	92.32%	124.92	36
9/10/04 21:49:22.630	150	88.58%	9.00	37
9/13/04 15:54:57.487	950	92.65%	57.00	38
9/15/04 2:34:11.071	117	87.77%	7.00	38

9/16/04 14:49:29.140	783	94.95%	46.98	38
9/17/04 15:46:50.247	516	88.08%	30.96	38

Continuación de la Tabla 4.1. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2004

Fecha & Hora	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	# Semana
10/4/04 1:28:33.028	22,886,935	105.13%	1,373,216.10	41
10/4/04 1:47:20.000	233	94.53%	13.98	41
10/4/04 14:52:11.000	317	88.51%	19.00	41
10/4/04 14:52:57.116	633	93.33%	37.98	41
10/4/04 14:58:37.996	116	93.33%	6.96	41
10/6/04 13:08:35.587	16	94.53%	0.96	41
10/7/04 6:48:03.789	563,186	105.13%	33,791.16	41
10/7/04 6:48:04.000	211	105.10%	12.66	41
10/7/04 6:57:27.000	25	105.10%	1.50	41
10/7/04 20:17:07.474	5,202	94.94%	312.12	41
10/8/04 14:03:34.816	1,717	86.04%	103.02	41
10/8/04 23:56:24.315	600	94.74%	36.00	41
10/9/04 13:23:45.731	100	93.33%	6.00	41
10/9/04 16:52:28.817	616	94.84%	36.96	41
10/11/04 19:31:55.550	167	91.32%	10.02	42
10/12/04 6:04:08.030	218,787	105.03%	13,127.22	42
10/12/04 17:33:22.686	99	78.82%	5.94	42
10/13/04 6:28:48.109	818,373	105.03%	49,102.38	42
10/13/04 14:52:26.923	35	64.31%	2.10	42
10/13/04 14:52:26.958	31	54.35%	1.86	42
10/13/04 14:52:27.439	311,357	106.80%	18,681.42	42
10/16/04 11:10:42.835	217,213	105.23%	13,032.78	42
10/17/04 9:18:44.206	49	94.33%	2.94	43
10/18/04 19:52:39.021	167	67.54%	10.00	43
10/18/04 21:48:11.998	83	72.34%	5.00	43
10/19/04 6:48:41.712	117	92.33%	7.02	43
10/23/04 12:07:11.353	200	69.99%	12.00	43
10/23/04 17:34:31.939	200	77.63%	12.00	43
10/24/04 14:03:05.298	417	89.14%	25.00	44

10/24/04 14:03:05.864	283	90.14%	17.00	44
10/26/04 20:09:36.461	543	91.71%	32.59	44
10/28/04 14:57:25.244	83	93.93%	4.98	44
10/29/04 14:59:56.666	150	91.42%	9.00	44
10/29/04 15:22:46.713	166	90.02%	9.96	44
10/30/04 11:21:05.730	700	94.13%	42.00	44
10/30/04 13:08:47.441	217	93.93%	13.02	44
10/31/04 13:25:37.818	200	90.92%	12.00	45

Continuación de la Tabla 4.1. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2004

Fecha & Hora	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	# Semana
11/2/04 12:39:10.824	92057	105.03%	5,523.42	45
11/3/04 12:30:17.776	331197	105.03%	19,871.82	45
11/9/04 16:38:41.711	33	94.84%	1.98	46
11/10/04 0:47:32.263	67	89.72%	4.02	46
11/10/04 1:13:33.273	14857	94.84%	891.42	46
11/9/04 10:41:31.548	5398	94.94%	323.88	46
12/6/04 11:30:45.029	83	92.12%	5.00	50
12/7/04 6:02:39.000	67	92.99%	4.00	50
12/8/04 12:03:43.212	100	94.43%	6.00	50
12/8/04 13:16:24.467	150	91.42%	9.00	50
12/9/04 11:54:29.288	83	94.64%	4.98	50
12/19/04 12:17:53.477	34	94.74%	2.04	52
12/21/04 15:21:40.259	83	94.84%	4.98	52
12/26/04 15:42:06.788	749	94.84%	44.94	53
12/27/04 12:36:24.617	67	91.42%	4.02	53
12/28/04 1:18:23.892	195,138	105.43%	11,708.28	53
12/30/04 19:06:28.021	14,684	94.53%	881.04	53

En la tabla 4.1, se muestran los resultados extraídos del Relé Multilin EPM en el año 2004. En esta tabla se denotan los parámetros indicados anteriormente, es decir, la fecha exacta del evento o perturbación, el valor del porcentaje del voltaje nominal, duración del evento en milisegundos, semana en la que ocurrió el evento y número de ciclos, este último parámetro es de gran importancia, ya que gracias a este se puede calcular el valor de la frecuencia por medio de la ecuación 4.1.

E.C 4.1

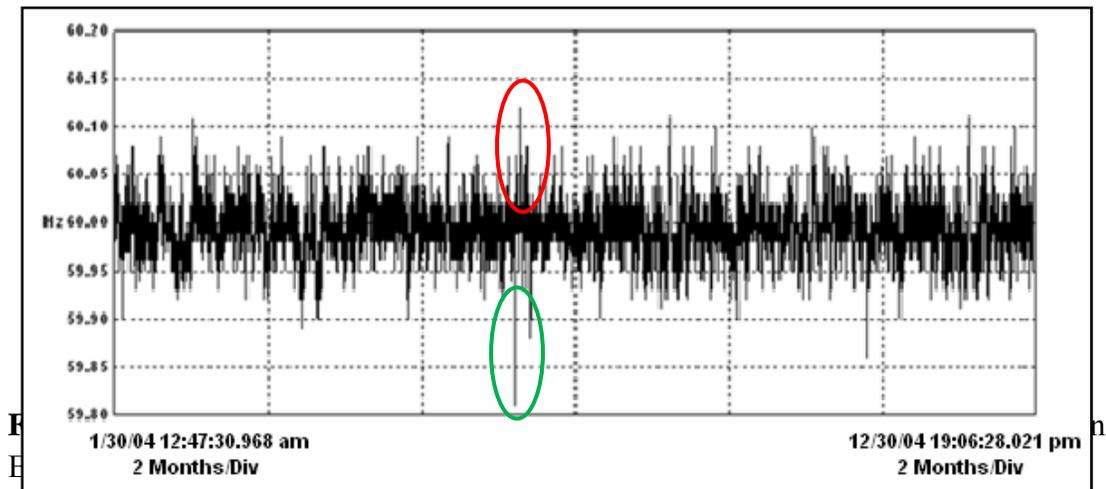
$$f = \frac{1}{T}$$

Donde:

f = Frecuencia [Hz]

T = Período: tiempo de duración de un ciclo

En la figura 4.1, se muestra el perfil de frecuencia obtenido durante un período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas. Esta figura fue proporcionada por Relé Multilin EPM.



Esta variable, es decir, la frecuencia, fue calculada en cada perturbación detectada por el relé, la norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2004 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA. En la figura 4.1 muestra el perfil de la frecuencia fundamental obteniendo medir este parámetro a lo largo de 1 año.

Los resultados de esta medición revelan que el valor promedio de frecuencia fue de 59,997 Hz, lo cual indica una variación respecto a la frecuencia fundamental de 60 Hz, de (-) 0.005 %. El valor mínimo alcanzado durante el período de medición, el cual está resaltado en color verde, fue de 59,810 Hz, lo que representa una variación de (-) 0,317 %. El valor máximo alcanzado, el cual está resaltado en color rojo, fue de 60, 120 Hz, es decir una variación de (+) 0,2 %.

4.2.2 Mediciones y observaciones en el año 2005

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el Relé Multilin EPM en el año 2005.

Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
1/2/05 4:35:11.318	50	93.53%	3.00	2	1
1/2/05 4:35:11.451	50	93.83%	3.00	2	1
1/2/05 4:49:17.967	66	94.03%	3.96	2	1
1/5/05 7:48:06.858	201	91.12%	12.06	2	1
1/5/05 8:00:01.102	84	91.12%	5.04	2	1
1/5/05 8:15:04.643	367	94.84%	22.02	2	1
1/5/05 10:04:54.090	50	94.53%	3.00	2	1
1/5/05 10:04:54.572	51	93.93%	3.06	2	1
1/5/05 10:19:32.308	67	93.53%	4.02	2	1
1/5/05 10:52:10.586	299	93.43%	17.94	2	1
1/5/05 12:06:30.753	251	93.03%	15.06	2	1
1/5/05 12:30:00.924	66	89.19%	3.96	2	1
1/7/05 12:00:15.075	61,498	95.00%	3,689.88	2	1
1/7/05 12:00:15.075	388	85.00%	23.28	2	1
1/7/05 12:00:15.075	850	67.69%	51.00	2	1
1/7/05 12:29:57.773	100,815	105.03%	6,048.90	2	1
1/11/05 19:33:18.984	5,981	94.94%	358.86	3	1
1/12/05 10:24:38.841	1,584	93.33%	95.04	3	1
1/12/05 23:01:51.344	67	94.94%	4.02	3	1
1/18/05 11:42:44.289	50	91.52%	3.00	4	1
1/24/05 19:54:59.527	8,902	94.64%	534.12	5	1
1/24/05 20:26:10.241	7,164	94.84%	429.84	5	1
1/25/05 2:26:12.917	4,800,986	105.13%	288,059.16	5	1
1/28/05 14:30:36.523	117	94.33%	7.02	5	1
1/28/05 14:40:31.760	69	90.72%	4.14	5	1
2/1/05 11:34:10.958	15,775	94.43%	946.50	6	2
2/9/05 13:15:56.793	49	94.94%	2.94	7	2

Continuación de la Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
3/12/05 13:24:04.053	50	92.23%	3.00	11	3
3/12/05 13:24:39.600	67	90.42%	4.02	11	3
3/12/05 13:24:42.490	82	91.52%	4.92	11	3
3/12/05 13:34:21.857	51	94.43%	3.06	11	3
3/12/05 13:52:31.825	50	92.13%	3.00	11	3
3/12/05 14:25:31.836	49	92.02%	2.94	11	3
3/12/05 14:25:31.528	67	92.13%	4.02	11	3
3/12/05 15:07:22.381	350	92.83%	21.00	11	3
3/12/05 15:07:23.015	50	94.43%	3.00	11	3
3/13/05 14:13:58.722	84	94.84%	5.04	12	3
3/15/05 17:58:58.691	34	93.33%	2.04	12	3
3/16/05 12:53:38.190	65	93.93%	3.90	12	3
3/16/05 13:37:06.454	67	93.23%	4.02	12	3
3/16/05 13:37:08.055	101	94.53%	6.06	12	3
3/17/05 13:15:27.998	48	92.63%	2.88	12	3
3/17/05 13:15:28.598	116	93.83%	6.96	12	3
3/17/05 13:17:59.256	50	92.13%	3.00	12	3
3/17/05 13:17:59.991	66	91.92%	3.96	12	3
3/20/05 13:32:40.492	67	94.84%	4.02	13	3
3/21/05 1:55:10.926	50	84.85%	3.00	13	3
3/22/05 11:13:24.372	116	92.63%	6.96	13	3
3/25/05 18:46:57.800	7,467	87.87%	448.00	13	3
3/26/05 13:51:40.657	50	86.50%	3.00	13	3
4/3/05 17:58:29.346	99	93.73%	5.94	15	4
4/4/05 1:08:26.222	15,214	94.94%	912.84	15	4
4/4/05 20:01:39.982	7,879	94.64%	472.74	15	4
4/7/05 12:51:45.107	168	91.92%	10.08	15	4
4/7/05 14:48:25.815	2,681	85.80%	160.86	15	4
4/9/05 12:56:21.980	50	94.53%	3.00	15	4
4/12/05 13:28:37.000	550	91.62%	33.00	16	4
4/13/05 12:30:40.475	50	91.62%	3.00	16	4

4/13/05 12:30:41.409	67	92.33%	4.02	16	4
4/13/05 13:03:16.974	132	93.13%	7.92	16	4
4/13/05 13:30:35.450	18	94.94%	1.08	16	4
4/15/05 12:19:29.786	216	94.23%	12.96	16	4
4/16/05 12:50:46.932	49	94.84%	2.94	16	4
4/16/05 13:42:28.582	33	94.33%	1.98	16	4

Continuación de la Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
4/18/05 14:42:36.000	69	94.33%	4.14	17	4
4/18/05 14:42:46.135	66	94.03%	3.96	17	4
4/19/05 2:08:28.075	4,712	74.17%	282.72	17	4
4/19/05 3:46:10.695	117	89.41%	7.02	17	4
4/20/05 6:02:43.550	49	93.63%	2.94	17	4
4/20/05 9:42:16.989	84	92.53%	5.04	17	4
5/3/05 13:45:58.000	822	86.22%	49.32	19	5
5/6/05 13:38:25.536	4,750	94.94%	285.00	19	5
5/7/05 23:31:56.647	101	87.10%	6.06	19	5
5/9/05 13:31:56.768	100	94.64%	6.00	20	5
5/9/05 13:31:57.319	83	94.84%	4.98	20	5
5/16/05 15:35:20.504	6,551	94.94%	393.06	21	5
5/17/05 15:12:41.129	83	94.53%	4.98	21	5
5/19/05 3:13:49.388	66	91.52%	3.96	21	5
5/23/05 11:20:31.504	567	94.43%	34.02	22	5
5/25/05 21:39:43.271	1,996	89.72%	119.76	22	5
5/25/05 21:39:49.307	176,984	110.05%	10,619.04	22	5
5/27/05 9:06:12.966	4,604	94.94%	276.24	22	5
5/30/05 15:18:46.508	367	93.63%	22.02	23	5
5/30/05 15:36:26.035	250	94.53%	15.00	23	5
5/31/05 18:50:51.680	50	93.33%	3.00	23	5
6/3/05 13:34:12.202	100	94.33%	6.00	23	6
6/3/05 13:59:38.578	83	94.53%	4.98	23	6
6/5/05 3:03:16.613	117	94.03%	7.02	24	6
6/5/05 16:03:00.991	83	92.93%	4.98	24	6
6/6/05 13:12:44.006	100	81.34%	6.00	24	6

6/7/05 12:47:11.066	1,534	89.92%	92.04	24	6
6/9/05 17:41:30.174	50	94.84%	3.00	24	6
6/10/05 16:39:10.574	617	73.00%	37.02	24	6
6/11/05 11:16:38.821	32	94.84%	1.92	24	6
6/11/05 11:16:39.821	33	93.13%	1.98	24	6
6/11/05 15:03:20.119	250	82.34%	15.00	24	6
6/13/05 8:01:27.480	183	93.33%	10.98	25	6
6/13/05 9:03:13.190	82	93.93%	4.92	25	6
6/13/05 11:38:32.607	49	94.94%	2.94	25	6
6/13/05 13:29:34.767	100	93.83%	6.00	25	6
6/15/05 14:29:22.694	1,400	89.72%	84.00	25	6

Continuación de la Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
6/15/05 14:29:27.010	349	89.61%	20.94	25	6
6/15/05 14:29:37.712	132	89.51%	7.92	25	6
6/15/05 14:29:41.633	184	89.82%	11.04	25	6
6/15/05 14:29:45.880	166	89.92%	9.96	25	6
6/15/05 14:29:52.160	134	89.72%	8.04	25	6
6/15/05 14:29:59.396	150	89.31%	9.00	25	6
6/15/05 14:30:03.710	166	89.82%	9.96	25	6
6/15/05 14:30:08.973	150	89.72%	9.00	25	6
6/15/05 14:30:13.201	151	91.52%	9.06	25	6
6/15/05 14:30:18.297	134	94.03%	8.04	25	6
6/16/05 19:35:22.029	100	92.53%	6.00	25	6
6/17/05 0:08:17.743	167	83.44%	10.02	25	6
6/24/05 13:31:12.339	50	94.03%	3.00	26	6
6/25/05 15:43:58.153	66	92.02%	3.96	26	6
6/25/05 21:44:35.416	103,156	105.23%	6,189.36	26	6
6/27/05 12:14:48.615	84	93.83%	5.04	27	6
6/27/05 12:46:05.271	50	94.33%	3.00	27	6
6/29/05 14:52:00.096	50	94.94%	3.00	27	6
6/29/05 16:07:04.951	51	91.32%	3.06	27	6
6/29/05 16:07:35.147	200	92.13%	12.00	27	6
6/29/05 16:08:02.567	66	92.02%	3.96	27	6

6/29/05 16:11:22.932	117	90.72%	7.02	27	6
7/6/05 2:22:42.662	51	94.33%	3.06	28	7
7/6/05 4:51:24.131	50	94.43%	3.00	28	7
7/10/05 8:56:08.322	33	94.94%	1.98	29	7
7/10/05 11:50:48.274	299	94.94%	17.94	29	7
7/14/05 12:41:36.511	66	94.03%	3.96	29	7
7/14/05 15:14:30.280	66	93.03%	3.96	29	7
7/18/05 13:14:43.324	51	84.85%	3.06	30	7
7/19/05 13:15:55.315	5,249	93.83%	314.94	30	7
7/23/05 15:42:21.128	167	80.93%	10.00	30	7
7/30/05 22:29:32.000	114	94.84%	6.84	31	7
8/2/05 11:15:50.000	123	94.84%	7.38	31	8
8/10/05 6:58:35.000	571	91.52%	34.26	32	8
8/18/05 10:10:19.000	149	89.01%	8.94	33	8
8/18/05 17:35:55.000	166	87.10%	9.96	33	8
8/19/05 19:44:07.000	100	94.84%	6.00	33	8

Continuación de la Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

8/20/05 10:48:36.000	84	94.33%	5.04	33	8
8/25/05 15:07:42.000	150	90.42%	9.00	34	8
8/29/05 11:38:23.000	51	89.41%	3.06	35	8
8/29/05 13:01:05.000	167	92.93%	10.02	35	8
8/31/05 12:31:38.000	68	92.63%	4.08	35	8
8/31/05 14:08:50.000	100	89.92%	6.00	35	8
9/1/05 9:27:44.000	84	92.13%	5.04	35	9
9/1/05 11:05:52.000	65	94.53%	3.90	35	9
9/2/05 13:05:47.000	286	88.31%	17.16	35	9
9/3/05	133	92.83%	7.98	35	9

11:44:55.000					
9/5/05 11:18:04.000	51	92.13%	3.06	36	9
9/7/05 12:21:13.000	33	94.94%	1.98	36	9
9/8/05 13:33:31.000	101	94.43%	6.06	36	9
9/12/05 15:09:58.000	50	92.83%	3.00	37	9
9/12/05 15:10:08.000	50	93.13%	3.00	37	9
9/12/05 15:17:05.000	50	93.23%	3.00	37	9
9/17/05 4:52:01.000	100	94.03%	6.00	37	9
9/17/05 16:57:50.000	184	85.25%	11.04	37	9
9/17/05 16:57:50.000	367	94.64%	22.02	37	9
9/17/05 17:00:19.000	50	86.80%	3.00	37	9
9/19/05 19:34:45.000	83	94.43%	4.98	38	9
9/20/05 12:48:14.000	184	91.92%	11.04	38	9
9/20/05 16:15:38.000	201	94.13%	12.06	38	9
9/20/05 16:29:25.000	66	94.53%	3.96	38	9
9/21/05 14:08:01.000	133	93.23%	7.98	38	9
9/25/05 6:40:02.000	51	94.74%	3.06	38	9
9/27/05 9:50:14.000	117	93.63%	7.02	38	9
9/30/05	66	93.13%	3.96	39	9

7:34:35.000					
9/30/05 13:46:12.000	116	90.62%	6.96	39	9
9/30/05 14:42:17.000	66	92.63%	3.96	39	9
9/30/05 14:42:19.000	67	93.23%	4.02	39	9
9/30/05 18:53:10.000	7,317	94.84%	439.02	39	9
10/2/05 0:09:05.000	50	94.64%	3.00	39	10
10/5/05 13:55:06.000	66	94.84%	3.96	40	10
10/6/05 9:29:15.000	50	94.53%	3.00	40	10
10/7/05 3:35:16.000	50	84.04%	3.00	40	10
10/7/05 11:06:49.000	32	94.74%	1.92	40	10
10/7/05 20:41:25.000	68	93.23%	4.08	40	10

Continuación de la Tabla 4.2. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2005

10/20/05 13:16:20.000	350	90.42%	21.00	41	10
10/20/05 20:14:08.000	185	93.33%	11.10	41	10
10/21/05 15:02:06.000	51	94.64%	3.06	41	10
10/24/05 15:38:48.000	183	94.03%	10.98	41	10
10/25/05 13:09:48.000	250	91.82%	15.00	42	10
10/29/05 12:28:53.000	67	94.33%	4.02	42	10
10/31/05	66	94.64%	3.96	42	10

12:46:06.000					
11/3/05 13:01:28.000	65	83.44%	3.90	43	11
11/7/05 14:17:34.000	167	93.83%	10.02	43	11
11/9/05 10:58:03.000	133	90.22%	7.98	44	11
11/10/05 14:26:56.000	83	94.94%	4.98	44	11
11/10/05 17:55:04.000	50	94.13%	3.00	44	11
11/15/05 11:40:41.000	68	93.33%	4.08	44	11
11/22/05 20:39:15.000	83	93.63%	4.98	45	11
11/22/05 23:49:28.000	66	94.64%	3.96	45	11
11/23/05 11:00:17.000	50	92.02%	3.00	45	11
11/24/05 13:12:33.000	200	90.32%	12.00	45	11
11/25/05 7:47:26.000	383	94.84%	22.98	45	11
11/25/05 9:27:27.000	83	94.03%	4.98	45	11
12/1/05 11:53:49.000	100	94.03%	6.00	46	12
12/3/05 18:58:12.000	83	91.02%	4.98	46	12
12/4/05 20:03:01.000	333	87.61%	19.98	46	12
12/13/05 11:24:32.000	85	94.64%	5.10	47	12
12/16/05 14:42:33.000	66	91.72%	3.96	47	12
12/16/05	51	86.10%	3.06	47	12

22:33:51.000					
12/17/05 12:06:47.000	34	94.64%	2.04	47	12
12/26/05 12:39:12.000	133	94.84%	7.98	49	12
10/20/05 13:16:20.000	350	90.42%	21.00	41	10
10/20/05 20:14:08.000	185	93.33%	11.10	41	10
10/21/05 15:02:06.000	51	94.64%	3.06	41	10
10/24/05 15:38:48.000	183	94.03%	10.98	41	10
10/25/05 13:09:48.000	250	91.82%	15.00	42	10
10/29/05 12:28:53.000	67	94.33%	4.02	42	10
10/31/05 12:46:06.000	66	94.64%	3.96	42	10

En la tabla 4.2, se muestran los resultados extraídos del Relé Multilin EPM en el año 2005. En esta tabla se denotan los parámetros indicados anteriormente, es decir, la fecha exacta del evento o perturbación, el valor del porcentaje del voltaje nominal, duración del evento en milisegundos, semana en la que ocurrió el evento y número de ciclos, este último parámetro es de gran importancia, ya que gracias a este se puede calcular el valor de la frecuencia por medio de la ecuación 4.1.

En la figura 4.2, se muestra el perfil de frecuencia obtenido durante un período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas. Esta figura fue proporcionada por Relé Multilin EPM.

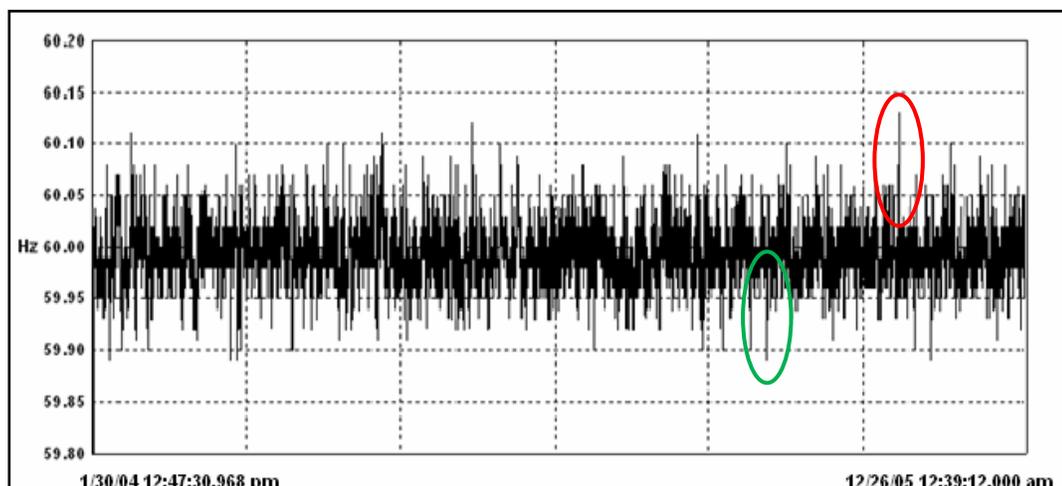


Figura 4.2 Perfil de la Frecuencia en el Año 2005 proporcionada por Relé Multilin EPM

Esta variable, es decir, la frecuencia, fue calculada en cada perturbación detectada por el relé, la norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2005 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA. En la figura 4.2 muestra el perfil de la frecuencia fundamental obteniendo medir este parámetro a lo largo de 1 año.

Los resultados de esta medición revelan que el valor promedio de frecuencia promedio fue de 59,992 Hz, lo cual indica una variación respecto a la fundamental de 0,013 %. El valor mínimo alcanzado durante el período de medición, el cual esta resaltado en color verde, fue de 59,825 Hz, lo que representa una variación de 0,292 %. El valor máximo alcanzado, el cual esta resaltado color en rojo, fue de 60,113 Hz, es decir una variación de 0,188 %.

La norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Claramente se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2005 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA.

Con respecto a los resultados de la medición de tensión, se muestra que los valores mínimos obtenidos durante el año 2005, estuvieron por debajo del 10 % del voltaje nominal, por lo tanto se considera que si hubo una variación significativa del voltaje para determinar algunos Sag de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un intervalo que va desde 0,5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta 1 minuto, estuvo por debajo del 90 % del voltaje nominal. No obstante, los valores máximos obtenidos sobrepasaron el 110 % del voltaje nominal pero en una sola ocasión, es decir se presento un Swell.

4.2.3 Mediciones y observaciones en el año 2006

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el Relé Multilin EPM en el año 2006.

Tabla 4.3. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2006

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
1/2/06 21:37:21.000	83	93.43%	4.98	1	1
1/5/06 0:14:06.000	82	94.84%	4.92	1	1
1/9/06 11:49:01.000	466	93.73%	27.96	2	1
1/10/06 12:08:46.000	33	94.64%	1.98	2	1
1/15/06 16:29:49.000	32	93.33%	1.92	2	1
1/17/06 11:31:12.000	50	94.74%	3.00	3	1
1/21/06 12:43:11.000	100	92.83%	6.00	3	1
1/22/06 13:59:02.000	100	94.94%	6.00	3	1
1/22/06 21:18:58.000	83	94.53%	4.98	3	1
1/24/06 13:43:09.000	83	92.33%	4.98	4	1
1/24/06 13:47:09.000	82	93.33%	4.92	4	1
1/31/06 13:21:31.000	134	94.53%	8.04	5	1
2/10/06 9:26:23.000	83	94.94%	4.98	2	2
2/11/06 13:23:38.000	99	94.84%	5.94	2	2

2/11/06 15:19:43.000	117	94.03%	7.02	2	2
2/12/06 14:34:54.000	84	88.21%	5.04	2	2
2/15/06 20:18:23.000	368	94.23%	22.08	3	2
2/16/06 12:20:44.000	67	94.74%	4.02	3	2
2/16/06 12:35:26.000	67	94.23%	4.02	3	2
2/18/06 13:43:09.000	783	94.74%	46.98	3	2
2/23/06 18:22:09.000	50	91.42%	3.00	4	2
3/9/06 11:25:43.000	67	94.74%	4.02	2	3
3/13/06 14:22:52.000	116	94.33%	6.96	3	3
3/13/06 14:23:53.000	649	91.62%	38.94	3	3
3/13/06 14:23:56.000	315	93.13%	18.90	3	3
3/13/06 14:50:08.000	67	92.53%	4.02	3	3
3/13/06 14:50:10.000	67	92.43%	4.02	3	3
3/13/06 16:13:19.000	50	92.83%	3.00	3	3
3/13/06 16:13:23.000	51	90.52%	3.06	3	3
3/15/06 1:13:53.000	34	94.53%	2.04	3	3
3/16/06 20:47:51.000	49	93.23%	2.94	3	3
3/23/06 12:54:40.000	666	94.94%	39.96	4	3

3/24/06 11:56:25.000	149	89.92%	8.94	4	3
3/24/06 13:29:11.000	66	94.74%	3.96	4	3
3/25/06 15:57:02.000	100	94.84%	6.00	4	3

Continuación de la Tabla 4.3. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2006

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
4/22/06 13:03:01.000	116	93.43%	6.96	3	4
4/22/06 13:17:46.000	166	92.83%	9.96	3	4
4/22/06 13:17:51.000	66	94.03%	3.96	3	4
4/24/06 11:21:42.000	33	94.53%	1.98	4	4
4/24/06 12:11:04.000	84	94.64%	5.04	4	4
4/24/06 15:29:33.000	34	92.02%	2.04	4	4
5/2/06 11:55:05.000	49	94.94%	2.94	1	5
5/2/06 19:51:07.000	50	91.32%	3.00	1	5
5/10/06 14:26:23.000	51	93.73%	3.06	2	5
5/10/06 14:26:23.000	67	92.93%	4.02	2	5
5/10/06 14:26:26.000	84	89.01%	5.04	2	5
5/10/06 14:26:27.000	865	91.22%	51.90	2	5
5/11/06 0:43:25.000	99	93.63%	5.94	2	5
5/16/06 8:53:56.000	7,499	94.84%	449.94	3	5
5/17/06 10:13:57.000	306,499	94.43%	18,389.94	3	5
5/22/06 17:33:54.000	50	89.51%	3.00	4	5
5/22/06 17:37:16.000	51	88.01%	3.06	4	5
6/4/06 17:53:09.000	67	89.72%	4.02	1	6
6/13/06 13:24:48.000	1,216	94.43%	72.96	2	6
6/13/06 17:11:30.000	67	81.23%	4.02	2	6
6/14/06 16:40:01.000	200	92.63%	12.00	2	6
6/19/06 13:58:17.000	3,685	90.42%	221.10	3	6
6/19/06 13:58:17.000	33	82.64%	1.98	3	6
6/22/06 8:32:24.000	116	92.93%	6.96	3	6
6/22/06 8:32:24.000	83	92.63%	4.98	3	6

6/22/06 8:45:23.000	1,132	94.64%	67.92	3	6
6/23/06 7:17:00.000	50	86.90%	3.00	3	6
6/23/06 9:19:37.000	449	94.33%	26.94	3	6
6/23/06 9:25:11.000	117	93.93%	7.02	3	6
6/23/06 9:25:20.000	167	93.83%	10.02	3	6
6/23/06 9:27:07.000	99	93.83%	5.94	3	6
6/23/06 9:27:07.000	117	87.81%	7.02	3	6
6/24/06 12:57:33.000	183	93.03%	10.98	3	6
6/29/06 10:33:18.000	116	93.43%	6.96	4	6
6/29/06 11:44:44.000	266	94.94%	15.96	4	6
6/30/06 19:46:32.000	66	93.43%	3.96	4	6
6/30/06 19:47:50.000	67	94.84%	4.02	4	6

Continuación de la Tabla 4.3. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2006

Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
7/1/06 19:58:27.000	34	94.94%	2.04	1	7
7/3/06 14:39:40.000	3,598	91.12%	215.88	1	7
7/10/06 19:52:53.000	68	89.21%	4.08	2	7
7/14/06 12:17:13.000	499	90.92%	29.94	2	7
7/31/06 14:06:59.000	66	85.80%	3.96	5	7
7/31/06 14:08:54.000	51	89.72%	3.06	5	7
8/1/06 13:10:06.000	67	86.50%	4.02	1	8
8/3/06 18:25:28.000	199	87.31%	11.94	1	8
8/14/06 17:09:46.000	49	94.43%	2.94	3	8
8/15/06 17:33:58.000	65	93.83%	3.90	3	8
8/17/06 13:00:16.000	16	94.94%	0.96	3	8
8/17/06 13:28:20.000	66	94.64%	3.96	3	8

8/17/06 17:39:52.000	83	91.42%	4.98	3	8
8/18/06 12:31:22.000	50	94.74%	3.00	3	8
8/19/06 13:58:17.000	83	93.93%	4.98	3	8
8/20/06 16:01:47.000	51	94.74%	3.06	4	8
8/24/06 20:34:23.000	50	94.13%	3.00	4	8
8/28/06 16:01:47.000	51	94.43%	3.06	5	8
9/4/06 15:41:31.000	333	94.74%	19.98	1	9
9/6/06 5:30:02.000	83	90.92%	4.98	1	9
9/11/06 15:55:48.000	17	89.72%	1.02	2	9
9/11/06 15:55:49.000	17	90.02%	1.02	2	9
9/11/06 16:03:18.000	201	88.31%	12.06	2	9
9/11/06 16:04:00.000	17	89.72%	1.02	2	9
9/14/06 13:02:50.000	182	88.91%	10.92	2	9
9/20/06 13:05:59.000	51	89.51%	3.06	3	9
9/27/06 11:46:03.000	67	89.92%	4.02	4	9
9/30/06 22:12:15.000	33	94.94%	1.98	4	9
10/1/06 13:21:34.000	685	89.51%	41.10	1	10
10/2/06 12:57:45.000	33	93.83%	1.98	1	10
10/4/06 15:26:07.000	83	92.83%	4.98	1	10

10/5/06 9:23:56.000	83	94.84%	4.98	1	10
10/7/06 14:06:36.000	50	94.53%	3.00	1	10
10/8/06 22:19:09.000	84	94.94%	5.04	2	10
10/8/06 22:28:22.000	33	92.63%	1.98	2	10
10/8/06 22:32:40.000	34	91.92%	2.04	2	10
10/12/06 9:02:27.000	685	93.83%	41.10	2	10

Continuación de la Tabla 4.3. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2006

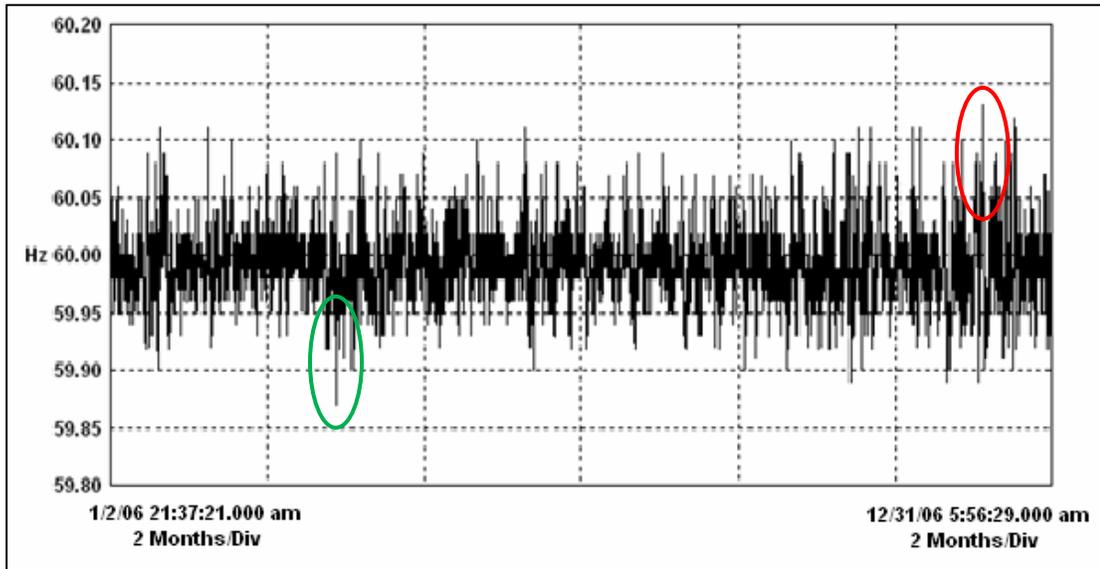
Date & Time	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana	Mes
10/12/06 12:55:33.000	84	91.32%	5.04	2	10
10/16/06 16:46:11.000	50	94.53%	3.00	3	10
10/16/06 16:49:12.000	385	94.64%	23.10	3	10
10/17/06 23:33:16.000	50	92.63%	3.00	3	10
10/18/06 15:20:08.000	315	94.84%	18.90	3	10
10/20/06 18:53:18.000	66	90.22%	3.96	3	10
10/21/06 2:52:02.000	49	91.92%	2.94	3	10
10/23/06 17:28:41.000	266	93.43%	15.96	4	10
10/27/06 8:37:39.000	118	94.74%	7.08	4	10
10/30/06 14:10:21.000	51	94.53%	3.06	5	10
11/8/06	67	84.54%	4.02	2	11

12:33:13.000					
11/23/06 15:34:17.000	84	94.94%	5.04	4	11
11/28/06 11:22:10.000	66	94.53%	3.96	5	11
11/30/06 22:58:54.000	1,865	93.13%	111.90	5	11
12/5/06 11:34:38.000	135	89.72%	8.10	1	12
12/9/06 11:50:46.000	99	94.33%	5.94	2	12
12/19/06 13:10:22.000	33	94.84%	1.98	3	12
12/19/06 18:26:15.000	883	94.84%	52.98	3	12
12/24/06 2:36:46.000	66	94.74%	3.96	4	12
12/31/06 5:56:29.000	49	86.10%	2.94	5	12

En la tabla 4.3, se muestran los resultados extraídos del Relé Multilin EPM en el año 2006. En esta tabla se denotan los parámetros indicados anteriormente, es decir, la fecha exacta del evento o perturbación, el valor del porcentaje del voltaje nominal, duración del evento en milisegundos, semana en la que ocurrió el evento y número de ciclos, este último parámetro es de gran importancia, ya que gracias a este se puede calcular el valor de la frecuencia por medio de la ecuación 4.1.

El área de la tabla sombreada en rojo, en la tabla 4.3, muestra una perturbación en el sistema eléctrico que impactó levemente el mejorador, ya provocó un desbalance de fase que sacó de servicio los motores de baja tensión, sin embargo, el impacto fue bajo debido a que el mejorador estaba a baja carga. Esta fue la única perturbación que se presentó este año.

En la figura 4.3, se muestra el perfil de frecuencia obtenido durante un período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas. Esta figura fue proporcionada por Relé Multilin EPM.



Esta variable, es decir, la frecuencia, fue calculada en cada perturbación detectada por el relé, la norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2006 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA. En la figura 4.3 muestra el perfil de la frecuencia fundamental obteniendo medir este parámetro a lo largo de 1 año.

Los resultados de esta medición revelan que el valor promedio de frecuencia promedio fue de 59,993 Hz, lo cual indica una variación respecto a la fundamental de (-) 0,0116 %. El valor mínimo alcanzado durante el período de medición, el cual esta resaltado en verde, fue 59,870 Hz, lo que representa una variación de 0,217 %. El valor máximo alcanzado, resaltado en color rojo fue de 60,130 Hz, es decir una variación de 0,217 %.

La norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Claramente se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2006 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA.

Con respecto a los resultados de la medición de tensión, se muestra que los valores mínimos obtenidos durante el año 2006, estuvieron por debajo del 10 % del voltaje nominal, por lo tanto se considera que si hubo una variación significativa del voltaje para determinar algunos Sag de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un

intervalo que va desde 0,5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta 1 minuto, estuvo por debajo del 90 % del voltaje nominal. No obstante, los valores máximos obtenidos no sobrepasaron el 110 % del voltaje nominal, es decir no se presento ningún Swell.

4.2.4 Mediciones y observaciones en el año 2007

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el Relé Multilin EPM en el año 2007, cabe aclarar que se registraron 6 mediciones durante este año.

Tabla 4.4. Resultados de la Recolección de Data Suministrada por el Relé Multilin EPM, año 2007

Fecha & Hora	Duración (ms)	%Vn	Ciclos	Semana
1/1/07 12:49:03.000	34	94.84%	2.04	1
1/2/07 16:16:06.000	49	94.03%	2.94	1
1/2/07 22:51:02.000	1,399	92.53%	83.94	1
1/4/07 12:31:53.000	883	91.32%	52.98	1
1/5/07 14:56:18.000	66	92.93%	3.96	1
1/5/07 14:56:21.000	51	93.13%	3.06	1

En la tabla 4.4, se muestran los resultados extraídos del Relé Multilin EPM en el año 2007. En esta tabla se denotan los parámetros indicando la fecha exacta del evento o perturbación, el valor del porcentaje del voltaje nominal, duración del evento en milisegundos, semana en la que ocurrió el evento y numero de ciclos, este ultimo parámetro es de gran importancia, ya que gracias a este se puede calcular el valor de la frecuencia por medio de la ecuación 4.1.

En la figura 4.4, se muestra el perfil de frecuencia obtenido durante un período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas. Esta figura fue proporcionada por Relé Multilin EPM.

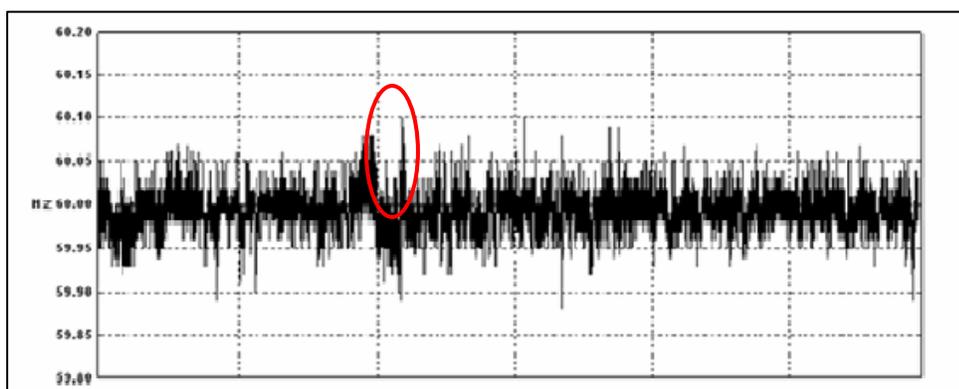




Figura 4.4 de la Frecuencia en el Año 2007 proporcionada por Relé Multilin EPM. Esta variable, es decir, la frecuencia, fue calculada en cada perturbación detectada por el relé, la norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2007 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA. En la figura 4.4 muestra el perfil de la frecuencia fundamental obteniendo medir este parámetro a lo largo de 1 año.

Los resultados de esta medición revelan que el valor promedio de frecuencia promedio fue de 59,9927 Hz, lo cual indica una variación respecto a la fundamental de 0,0122 %. El valor mínimo alcanzado durante el período de medición fue 59,880 Hz, el cual está resaltado en color verde, lo que representa una variación de 0,20 %. El valor máximo alcanzado fue de 60,100 Hz, el cual está resaltado en color rojo, es decir una variación de 0,167 %.

La norma PDVSA N-201, establece que la máxima variación de frecuencia fundamental permitida es de 2 %. Claramente se puede observar que los niveles de variación de frecuencia en el año 2007 no alcanzan los límites impuestos por la norma N-201 de PDVSA.

Con respecto a los resultados de la medición de tensión, se muestra que los valores máximos y mínimos obtenidos durante 6 días aproximadamente en el año 2007, no sobrepasan el ± 10 % del voltaje nominal, por lo tanto se considera que no existe variación significativa del voltaje para determinar algún Sag o Swell de tensión. Esta condición la establece la norma IEEE 1159-1195, la cual indica que existirá un Sag o Swell de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un intervalo que va desde 0,5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta un minuto, esté por debajo del 90 % para los Sag y por encima del 110 % para los Swell del voltaje nominal.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS Y PERTURBACIONES POR CAUSA DE LA DEFICIENCIA EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

4.3.1 Identificación de Depresiones de Tensión (Sag)

4.3.1.1 Identificación de Depresiones de Tensión (Sag), año 2004

En la tabla 4.5, se muestran los Sag que se presentaron en el año 2004, indicando el momento exacto y el porcentaje del valor del voltaje nominal que se obtuvo.

Tabla 4.5. Sag Presentados para 2004

Date & Time	%Vn
2/1/04 9:16:43.000	88.00%
2/16/04 15:52:14.987	88.00%
2/26/04 12:55:53.000	74.50%
2/26/04 12:55:54.000	84.44%
2/27/04 23:08:59.617	81.00%
3/19/04 13:14:55.903	79.00%
3/24/04 4:47:15.406	88.91%
3/24/04 4:59:54.144	88.91%
3/24/04 8:00:47.353	86.64%
3/24/04 8:13:26.110	86.64%
3/25/04 5:16:43.850	87.63%
3/25/04 5:29:22.817	87.14%
3/27/04 16:45:46.524	87.63%
4/17/04 2:41:55.356	87.92%
4/17/04 3:48:55.935	87.42%
4/20/04 16:09:04.221	80.06%
5/19/04 13:13:26.230	89.92%
6/1/04 14:31:26.915	62.31%
6/5/04 15:05:14.140	89.22%
6/8/04 19:32:28.000	66.35%
6/8/04 19:32:56.237	83.98%

Continuación de la tabla 4.5. Sag Presentados para 2004

Date & Time	%Vn
-------------	-----

7/3/04 15:21:06.826	89.32%
7/4/04 19:24:17.254	68.54%
7/5/04 0:32:30.262	88.11%
7/6/04 15:03:39.987	89.92%
7/17/04 12:38:51.575	85.48%
7/17/04 12:47:03.867	77.07%
7/22/04 14:22:37.620	85.88%
7/25/04 19:54:25.412	85.30%
7/27/04 16:13:47.156	86.59%
8/1/04 19:03:44.483	86.45%
8/3/04 15:06:37.928	86.37%
8/9/04 13:52:04.282	85.01%
8/9/04 16:13:09.109	88.58%
8/11/04 13:03:04.890	86.50%
8/11/04 13:03:14.259	86.67%
8/11/04 18:37:53.534	78.30%
8/19/04 13:16:54.161	80.92%
8/23/04 11:22:31.344	89.91%
8/28/04 11:17:24.135	83.18%
9/10/04 21:49:22.630	88.58%
9/15/04 2:34:11.071	87.77%
9/17/04 15:46:50.247	88.08%
9/17/04 16:20:06.833	85.04%
9/17/04 16:24:01.569	88.49%
9/18/04 12:58:09.654	88.93%
9/20/04 12:06:45.436	82.42%
9/20/04 12:53:34.810	80.04%
9/20/04 14:20:19.527	83.40%
9/27/04 16:16:04.428	87.00%
10/4/04 14:52:11.000	88.51%
10/8/04 14:03:34.816	86.04%
10/12/04 17:33:22.686	78.82%
10/13/04 14:52:26.923	64.31%
10/13/04 14:52:26.958	54.35%

Continuación de la tabla 4.5. Sag Presentados para 2004

Date & Time	%Vn
10/18/04 19:52:39.021	67.54%
10/18/04 21:48:11.998	72.34%
10/23/04 12:07:11.353	69.99%
10/23/04 17:34:31.939	77.63%
10/24/04 14:03:05.298	89.14%
11/10/04 0:47:32.263	89.72%
11/11/04 19:48:26.103	82.75%
11/16/04 12:40:49.444	81.88%

En la figura 4.5, se muestra el perfil de los Sags obtenidos durante el período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas.

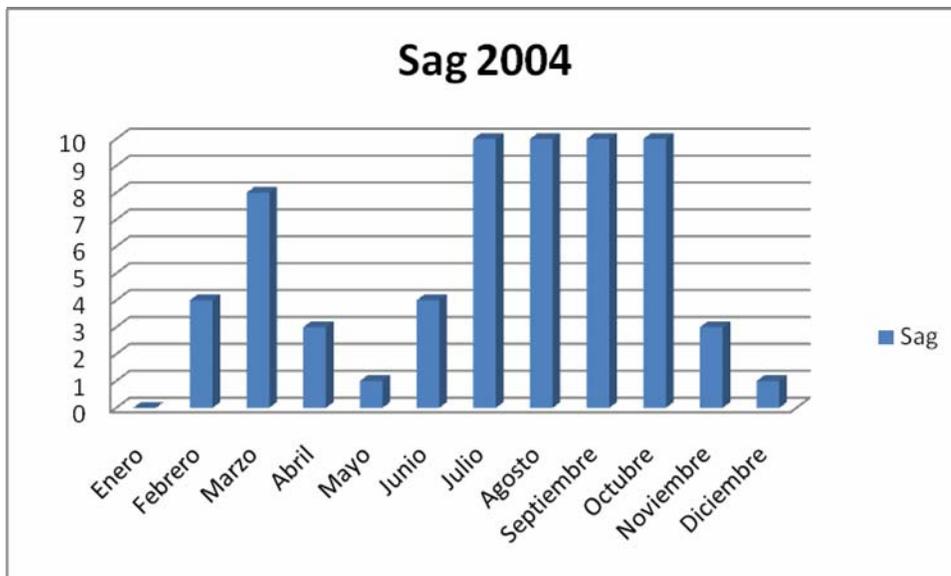


Figura 4.5 Perfil de los Sags en el Año 2004

Se puede denotar claramente la cantidad de perturbaciones del tipo Sag que se presentaron en el año 2004; la norma IEEE 1159-1195 establece que, se considerara un sag, valles o huecos de tensión; a los valores entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión con una duración que vaya desde 0,5 ciclos a un minuto, según lo establece.

Notándose también, que en la figura 4.5, en los meses de enero, mayo y diciembre; fue donde se registraron menos perturbaciones. No obstante, para los meses de marzo, julio, agosto, septiembre y octubre fueron los meses donde se presentaron más perturbaciones.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También, presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

4.3.1.2 Identificación de Depresiones de Tensión (Sag), año 2005

En la tabla 4.6, se muestran los Sag que se presentaron en el año 2005, indicando el momento exacto y el porcentaje del valor del voltaje nominal que se obtuvo.

Tabla 4.6. Sag Presentados para 2005

Date & Time	%Vn
1/5/05 12:30:00.924	89.19%
1/7/05 12:00:15.075	85.00%
1/7/05 12:00:15.075	67.69%
2/14/05 13:21:01.319	85.83%
2/23/05 4:55:01.284	80.77%
2/23/05 14:03:36.996	87.67%
3/21/05 1:55:10.926	84.85%
3/25/05 18:46:57.800	87.87%
3/26/05 13:51:40.657	86.50%

4/7/05 14:48:25.815	85.80%
4/19/05 2:08:28.075	74.17%
4/19/05 3:46:10.695	89.41%
4/24/05 22:18:51.967	89.41%
5/3/05 13:45:58.000	86.22%
5/25/05 21:39:43.271	89.72%
6/6/05 13:12:44.006	81.34%
6/7/05 12:47:11.066	89.92%
6/10/05 16:39:10.574	73.00%
6/11/05 15:03:20.119	82.34%
6/15/05 14:29:22.694	89.72%
6/15/05 14:29:27.010	89.61%
6/15/05 14:29:37.712	89.51%
6/15/05 14:29:41.633	89.82%
6/15/05 14:29:45.880	89.92%
6/15/05 14:29:52.160	89.72%
6/15/05 14:29:59.396	89.31%
6/15/05 14:30:03.710	89.82%
6/15/05 14:30:08.973	89.72%
6/17/05 0:08:17.743	83.44%
7/18/05 13:14:43.324	84.85%
7/23/05	80.93%

15:42:21.128	
8/18/05	
10:10:19.000	89.01%
8/18/05	
17:35:55.000	87.10%

Continuación de la tabla 4.6. Sag Presentados para 2005

Date & Time	%Vn
8/29/05 11:38:23.000	89.41%
8/31/05 14:08:50.000	89.92%
9/2/05 13:05:47.000	88.31%
9/17/05 16:57:50.000	85.25%
9/17/05 17:00:19.000	86.80%
9/17/05 17:08:32.000	87.41%
10/7/05 3:35:16.000	84.04%
11/3/05 13:01:28.000	83.44%
12/4/05 20:03:01.000	87.61%
12/16/05	
22:33:51.000	86.10%
12/26/05	
14:34:09.000	89.41%

En la figura 4.6, se muestra el perfil de los Sags obtenidos durante el período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas.

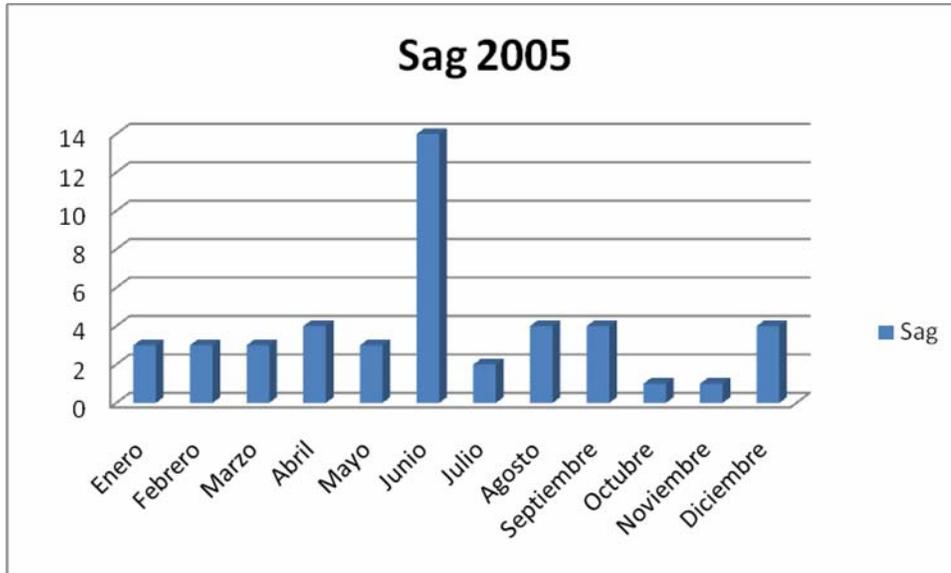


Figura 4.6 Perfil de los Sags en el Año 2005

Se puede denotar claramente la cantidad de perturbaciones del tipo Sag que se presentaron en el año 2005; la norma IEEE 1159-1195 establece que, se considerara un sag, valles o huecos de tensión; a los valores entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión con una duración que vaya desde 0,5 ciclos a un minuto, según lo establece.

Se observa que en la figura 4.6, que en los meses de julio, octubre y noviembre; fue donde se registraron menos perturbaciones. No obstante, para el mes de junio fue el mes donde se presentaron más perturbaciones (14). Para los meses restantes, es decir enero, febrero, marzo, abril, mayo, agosto septiembre y diciembre tuvieron un promedio de tres perturbaciones en cada mes.

4.3.1.3 Identificación de Depresiones de Tensión (Sag), año 2006

En la tabla 4.7, se muestran los Sag que se presentaron en el año 2006, indicando el momento exacto y el porcentaje del valor del voltaje nominal que se obtuvo.

Tabla 4.7. Sag Presentados para 2006

Date & Time	%Vn
2/12/06	
14:34:54.000	88.21%

3/11/06 20:14:42.000	80.83%
3/24/06 11:56:25.000	89.92%
3/29/06 10:18:29.000	87.91%
4/8/06 22:12:16.000	87.41%
4/18/06 9:35:46.000	84.34%
4/18/06 9:50:13.000	81.93%
4/20/06 14:03:09.000	89.11%
5/10/06 14:26:26.000	89.01%
5/22/06 17:33:54.000	89.51%
5/22/06 17:37:16.000	88.01%
6/4/06 17:53:09.000	89.72%

Continuación de la tabla 4.7. Sag Presentados para 2006

Date & Time	%Vn
6/13/06 17:11:30.000	81.23%
6/19/06 13:58:17.000	82.64%
6/23/06 7:17:00.000	86.90%
6/23/06 9:27:07.000	87.81%
7/10/06 19:52:53.000	89.21%
7/23/06	88.81%

17:06:46.000	
7/29/06 14:41:47.000	87.81%
7/31/06 12:15:54.000	89.72%
7/31/06 13:25:30.000	89.92%
7/31/06 14:08:54.000	89.72%
8/1/06 13:10:06.000	86.50%
8/3/06 18:25:28.000	87.31%
9/11/06 15:55:48.000	89.72%
9/11/06 16:03:18.000	88.31%
9/11/06 16:04:00.000	89.72%
9/14/06 13:02:50.000	88.91%
9/20/06 13:05:59.000	89.51%
9/27/06 11:46:03.000	89.92%
10/1/06 13:21:34.000	89.51%
11/8/06 12:33:13.000	84.54%
12/5/06 11:34:38.000	89.72%
12/31/06 5:56:29.000	86.10%

En la figura 4.7, se muestra el perfil de los Sags obtenidos durante el período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas.

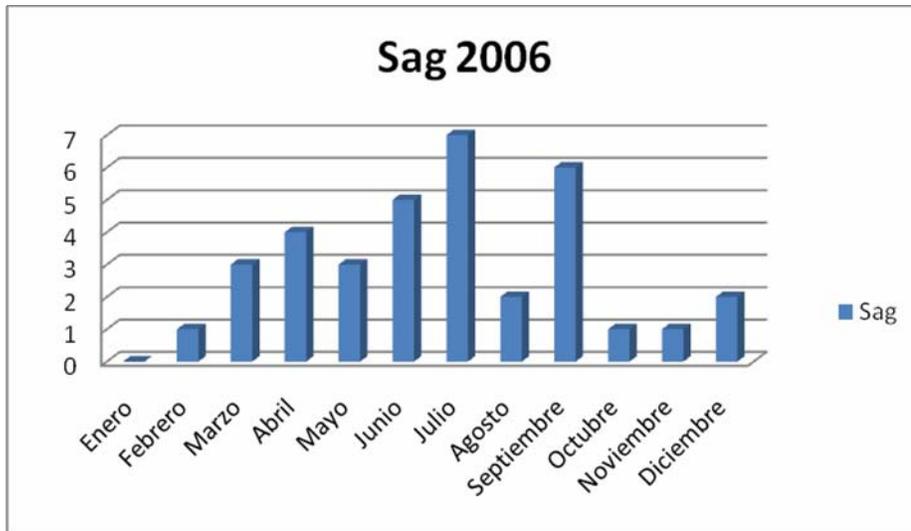


Figura 4.7 Perfil de los Sags en el Año 2006

Se puede denotar claramente la cantidad de perturbaciones del tipo Sag que se presentaron en el año 2006; la norma IEEE 1159-1195 establece que, se considerara un sag, valles o huecos de tensión; a los valores entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión con una duración que vaya desde 0,5 ciclos a un minuto, según lo establece.

Se observa en la figura 4.7, que en los meses de enero, octubre y noviembre; fue donde se registraron menos perturbaciones. No obstante, para los meses de julio y septiembre fueron los meses donde se presentaron más perturbaciones.

El incremento de bajadas de tensión está relacionado con las condiciones climáticas asociadas a la temporada de tormentas tropicales que inicia en junio.

4.3.2 Identificación de Crestas de Tensión (Swell)

4.3.2.1 Identificación de Crestas de Tensión (Swell), año 2005

En la tabla 4.8, se muestra el único Swell que se presentó en el inicio del año 2005, indicando el momento exacto y el porcentaje del valor del voltaje nominal que se obtuvo.

Tabla 4.8. Swell Presentados para 2005

5/25/05	
21:39:49.307	110.05%

En la figura 4.8, se muestra el perfil de los Swell obtenidos durante el período de un año de medición, en el cual se pueden observar los detalles de las variaciones registradas.

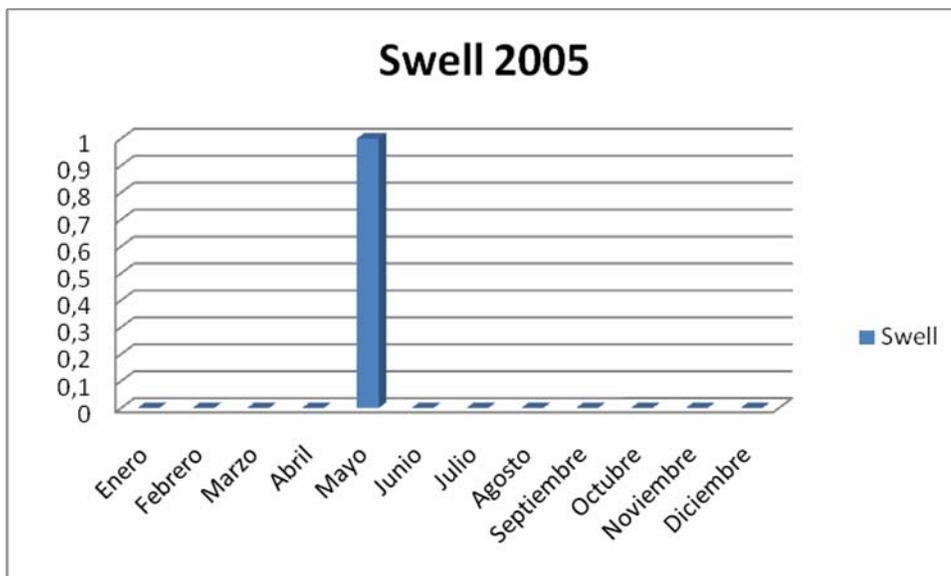


Figura 4.8 Perfil de los Swell en el Año 2005

Se puede denotar claramente que en el año 2005 solo se presentó una perturbación del tipo Swell, ya que según la norma IEEE 1159-1195 indica que existirá un Swell de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un intervalo que va desde 0.5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta 1 minuto, esté por encima del 110 % del voltaje nominal.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

CAPITULO V

PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

5.1 INTRODUCCIÓN

La propuesta del sistema de indicadores de calidad de energía consiste en plantear un nuevo sistema de indicadores, uno que proporcione mayor eficiencia para obtener una solución a los problemas encontrados en la instalación, teniendo en cuenta las evaluaciones realizadas de acuerdo a las normas y a las exigencias establecidas de la empresa.

De los parámetros medidos, tales como, frecuencia, voltaje y flickers; solo resultaron fuera de sus valores normales el voltaje y la frecuencia. Cabe destacar que todo el sistema eléctrico se encuentra instalado de forma correcta, y no se encontró ninguna tipo de anomalía.

5.2 ANALISIS DEI INDICADOR RELÉ MULTILIN EPM

El Relé Multilin EPM es un equipo de medición y detección de fallas, capaz de medir voltajes, corrientes y contenido de armónicos en tiempo real así como tomar fotografías para documentar y analizar. Posee una velocidad de muestreo, a 256 muestras por ciclo, proporciona una excelente fidelidad al reproducir formas de onda y capturar transientes que ocurren tan rápidamente como en 62,5 μ s.

A continuación se presentan un listado de los diversos tipos de indicadores con los que cuenta el Relé Multilin EPM:

Indicador de mediciones de RMS verdadero mono-, di- y tri-fásicas.
 Indicador de formas de onda en color en tiempo real.
 Reconocimiento del sensor de corriente y ajuste de escala automáticos.
 Indicador de mediciones de RMS verdaderas de voltaje y corriente.
 Indicador de voltios, amperios y potencia.
 Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el orden 50^{mo}, incluyendo dirección, en tiempo real.
 Captura transientes hasta 1/256^{mo} de ciclo.
 Indicador de voltaje y corriente de pico.
 Frecuencia nominal de 40 a 70 Hz.
 VA, VAR Y W por fase y totales.
 kVAh, VAR Y kWh por fase y totales.
 Presentación de corriente neutra para tri-fásicas.
 Factores de cresta para corriente y voltaje.
 Presentación de factor K de transformador.
 Presentación de Factor de Potencia, FP de desplazamiento.
 Captura hasta 50 transientes.
 Presentación de fluctuaciones de corta duración.
 Alarmas, golpes y caída de voltaje.
 Registra fecha y características de las perturbaciones.

A pesar de que este equipo y la lista de indicadores antes mencionada se consideran efectivos para su utilización dentro de la empresa, se determinaron una serie de detalles en contra del mismo, los cuales se mencionan a continuación:

La vetustez del equipo.
 Solo toma 256 muestras por ciclo.
 Poca capacidad de memoria.
 Dificultad para la obtención de repuestos en el mercado, debido a la antigüedad del equipo.
 Actualmente en el mercado ya se encuentra una nueva versión de este equipo, trayendo como consecuencia la discontinuidad del mismo.

5.3 PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES

La necesidad de reemplazar el medidor de calidad de energía existente, es decir el Relé Multilin EPM, surgió de acuerdo a los nuevos requerimientos de la empresa,

donde se exige que el sistema de medición de calidad de energía cumpla con algunos requisitos indispensables considerados para el óptimo desempeño de los equipos y maquinarias existentes en la empresa.

Estos requisitos indispensables se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Requisitos para el Sistema de Indicadores de Calidad de Energía

Indicador	Parámetro	Valor	Norma
Sag	Voltaje RMS medido durante un intervalo de 8 ms a 1 minuto por debajo del 90% de su valor nominal	Voltaje: 90% Vn Tiempo: (8 ms a 1 minuto)	IEEE 1159-1195
Swell	Voltaje RMS medido durante un intervalo de 8 ms a 1 minuto por encima del 110% de su valor nominal	Voltaje: 110% Vn Tiempo: (8 ms a 1 minuto)	IEEE 1159-1195
Sobretensión	Voltaje RMS medido por encima del 110% en un tiempo mayor a 1 minuto	Voltaje: 110% Vn Tiempo: (mayor a 1 minuto)	IEEE 1159-1195
Subtensión	Voltaje RMS medido por debajo del 90% en un tiempo mayor a 1 minuto	Voltaje: 90% Vn Tiempo: (menor a 1 minuto)	IEEE 1159-1195
Frecuencia	Frecuencia permitida en un rango de $\pm 2\%$	(58.8 - 61.2)Hz	PDVSA-N-201
Potencia Reactiva	30% de la potencia activa total o menor	30% P	IEC 831-1 NMX-. J-203 ANCE 1996 IEEE 18-262
Factor de Potencia	El factor de potencia casi resistivo	Mayor a 0.95	PDVSA-N-252

Debido a estas exigencias solicitadas por la empresa es que nace la propuesta de un nuevo sistema de indicadores de calidad de energía, ya que cumpliendo con dichos requerimientos se podrá obtener un registro de datos más exactos, y con esto un mejor análisis y así anticipar cualquier evento o perturbación que ocasione daños a los equipos.

5.4 PROPUESTA DE UN NUEVO SISTEMA DE MEDICIÓN, REGISTRO Y MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA.

Debido a la necesidad de un nuevo sistema de medición de calidad de energía, se realizó una exhaustiva búsqueda para encontrar un nuevo sistema de medición que cumpliera con los requerimientos exigidos por la empresa. En la realización de esta búsqueda se ejecutaron diversas consultas en el ámbito comercial, con la finalidad de conocer, y obtener datos específicos de los equipos de medición que podrían estar aptos y que cumplieran con todas las exigencias requeridas por la empresa.

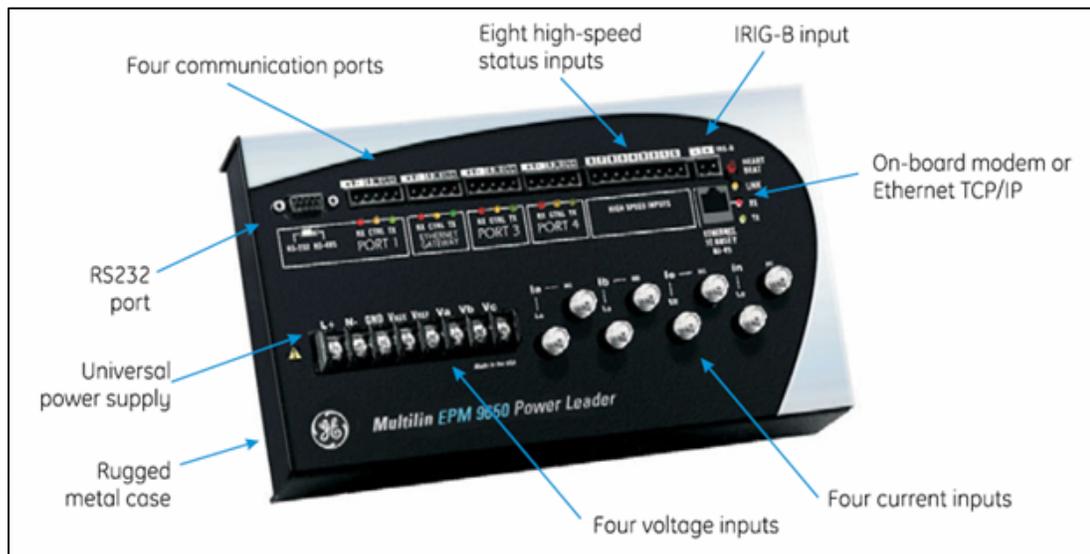
En el proceso de búsqueda se encontraron varios equipos que cumplían con dichos requisitos, como el Monitor de Circuitos Squared D, el Analizador PQube, el Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásica PowerPad® Modelo 3945-B y el Relé EPM 9650; donde el analizador de calidad de energía elegido fue el Relé EPM 9650, ya que este equipo a parte de cumplir, supera todos los requisitos exigidos.

5.4.1 Relé EPM 9650

El Relé EPM 9650 es un sistema de medición de calidad avanzado, combina los ingresos de medición de alta gama con un sofisticado análisis de poder de calidad. Sus capacidades avanzadas de monitoreo proporcionan imágenes detalladas y precisas de cualquier punto medido dentro de una red de distribución. Una variedad de pantallas y un extenso trabajo en la capacidad de salida, está disponible en relación con todas las funciones de medición. El EPM 9650 cuenta con un software opcional de GE Communicator EXT que permite a un usuario recopilar datos de varios

medidores instalados en ubicaciones locales o remotas, consta de una memoria que permite que el EPM 9650 recupere y almacene registros múltiples. El módem interno (o red), ofrece la opción de conectar a un PC a través de línea telefónica estándar (o Modbus / TCP) y una conexión en cadena a través de una conexión RS485.

En la figura 5.1, se muestra el Relé EPM 9650.



El EPM 9650 es un producto de control avanzado, que proporciona la imagen total del uso de energía y calidad de energía para cualquier punto medido dentro de una red de distribución de energía, permite a los usuarios el poder de tomar decisiones con rapidez y eficacia.

5.4.1.1 Opciones de Comunicación del Relé EPM 9650

El EPM 9650 ha avanzado en funciones de comunicación. El diseño multi-puerto permite múltiples conexiones simultáneas. El EPM 9650 proporciona un enlace digital directa a los clientes, lo que les permite recoger datos seleccionados sin afectar el medidor o sus datos. Todas las funciones avanzadas de la EPM 9650 están disponibles a través de la industria estándar de Modbus, DNP 3.0 protocolos.

5.4.1.2 Características Estándar de Comunicaciones

El Relé EPM 9650, presenta las siguientes características:

- Cuatro puertos de comunicación aislados de alta velocidad: El Relé EPM 9650 ofrece cuatro puertos integrados de comunicación. Cada puerto puede comunicarse de forma independiente usando protocolos soportados. Los protocolos estándares incluyen Modbus RTU/ASCII, DNP 3.0. Registros y eventos de forma de onda, están disponibles en formato Modbus. Los Puertos 3 y 4 se pueden utilizar como un maestro Modbus para módulos de entrada/salida. Como se muestra en la figura 5.2.

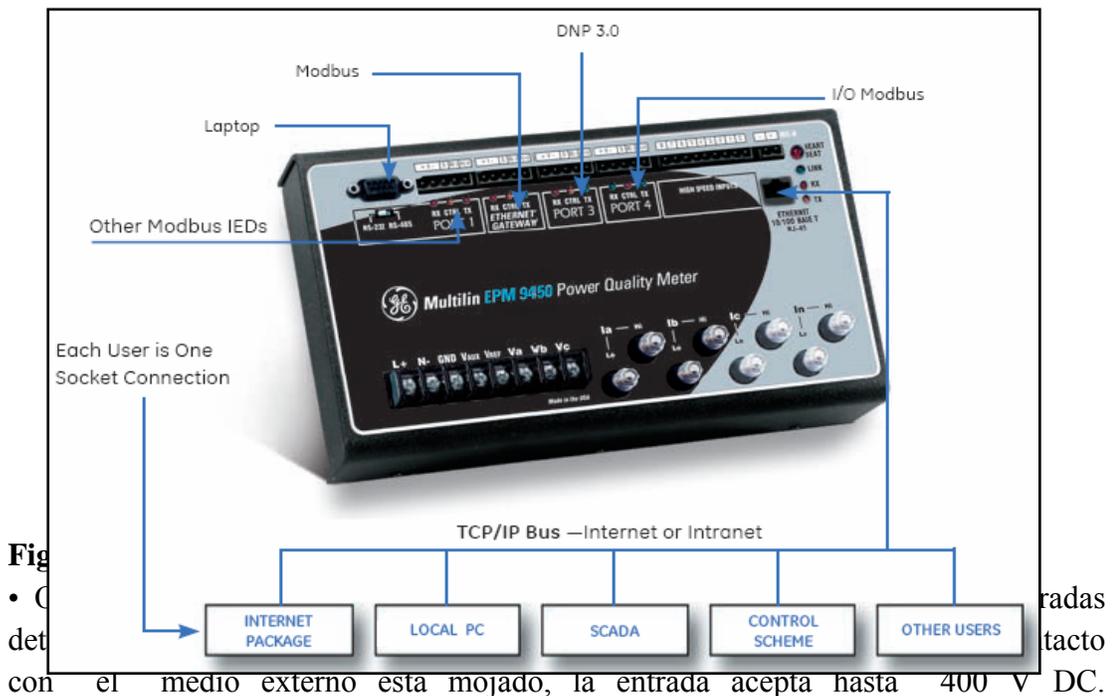


Fig.

- Cada puerto de comunicación tiene un aislamiento de modo que cada usuario puede estar en contacto con el medio externo esta mojado, la entrada acepta hasta 400 V DC.

- Alta velocidad de salidas de transductores con fines de control: EPM 9650 ofrece actualizaciones en 50 ms para todas las lecturas instantáneas. La unidad puede ser un transductor de alta velocidad para el control de la generación de energía o la sincronización de la línea de transmisión y sistemas de control.

- Hasta 136 medidas (64 entradas binarias, 8 contadores binarios, 64 entradas analógicas) se pueden asignar a los puntos DNP estática (más de 3000) en el mapa DNP personalizable punto.

- Informe por el procesamiento de excepciones (eventos DNP) deadbands se puede establecer en función de cada punto.

5.4.1.3 Características de la Medición de Calidad de energía

- 16-bit de forma de onda y grabador de errores: El EPM 9650 captura hasta 512 muestras por ciclo para un evento. El voltaje y la corriente se registran con pre-post-análisis de eventos. El hardware y el software disponen de disparadores para activar la lectura de forma de onda.

- Medir y registrar armónicos: El EPM 9650 realiza la medida y el registro de armónicos para cada canal de voltaje y corriente. El porcentaje de distorsión armónica total y el factor K también se calculan. El análisis armónico permite a los usuarios realizar análisis de calidad de potencia en el extremo superior del espectro armónico.

En la figura 5.3, se presenta un análisis de formas de voltaje y corriente en valores RMS.

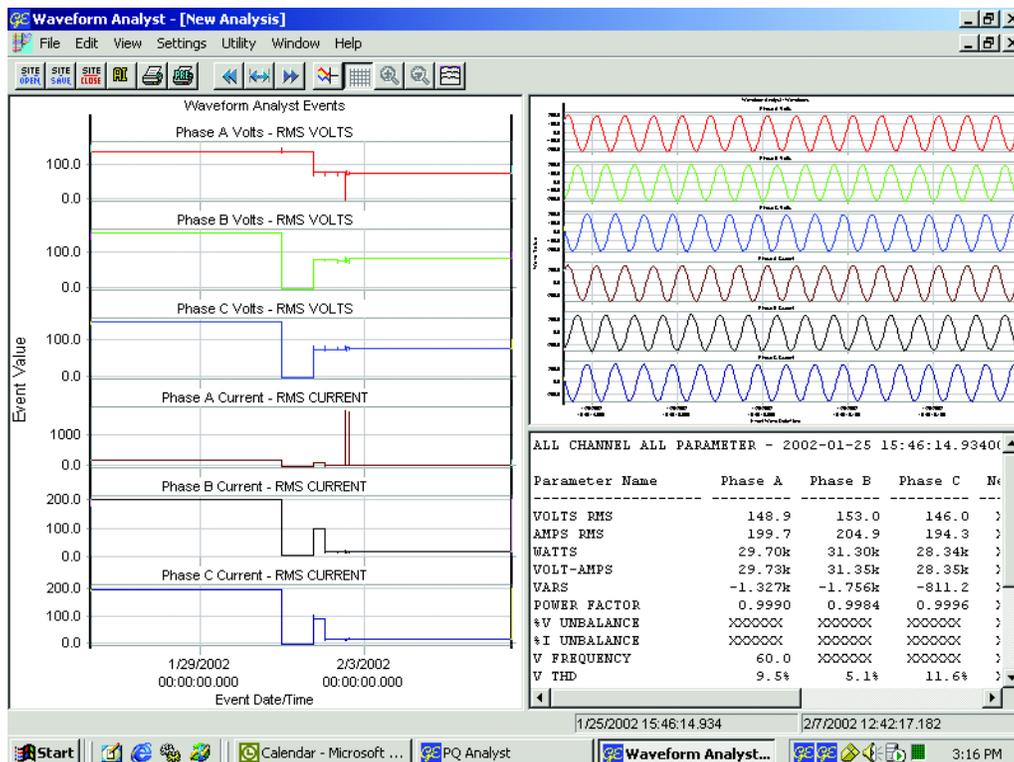


Figura 5.3. Informes de Análisis de Formas de onda.

- Sub-ciclo de registro transitorio: La sub-unidad de los registros transitorios del ciclo de lecturas de voltaje y corriente y supervisa el ruido de conmutación de

condensadores, interruptores de transferencia estática, SCR y muchos otros. Los transitorios son a menudo la causa de interrupciones intermitentes y de tiempo indeterminado, y puede causar daños a los aparatos eléctricos.

- CBEMA registro independiente de trazado: El EPM 9650 almacena un registro independiente para la magnitud CBEMA y la duración de los eventos de tensión. De esta manera, el usuario puede ver rápidamente los aumentos totales, bajadas de tensión total y la duración media, sin tener que recuperar la información de forma de onda.

- El análisis de fasores: El monitor lee un análisis de ángulo de fase entre la tensión y los canales actuales, teniendo en cuenta la eficiencia y la integridad del sistema de análisis. Como se observa en la figura 5.4.



Figura 5.4. Integridad del sistema de Análisis de Información.

- Análisis de Armónicos: El EPM 9650 ofrece a los usuarios la posibilidad de ver los armónicos, las frecuencias discretas que se encuentran entre los armónicos de la tensión y la frecuencia de alimentación actual.

5.4.1.4 Capacidad de Medición Avanzada

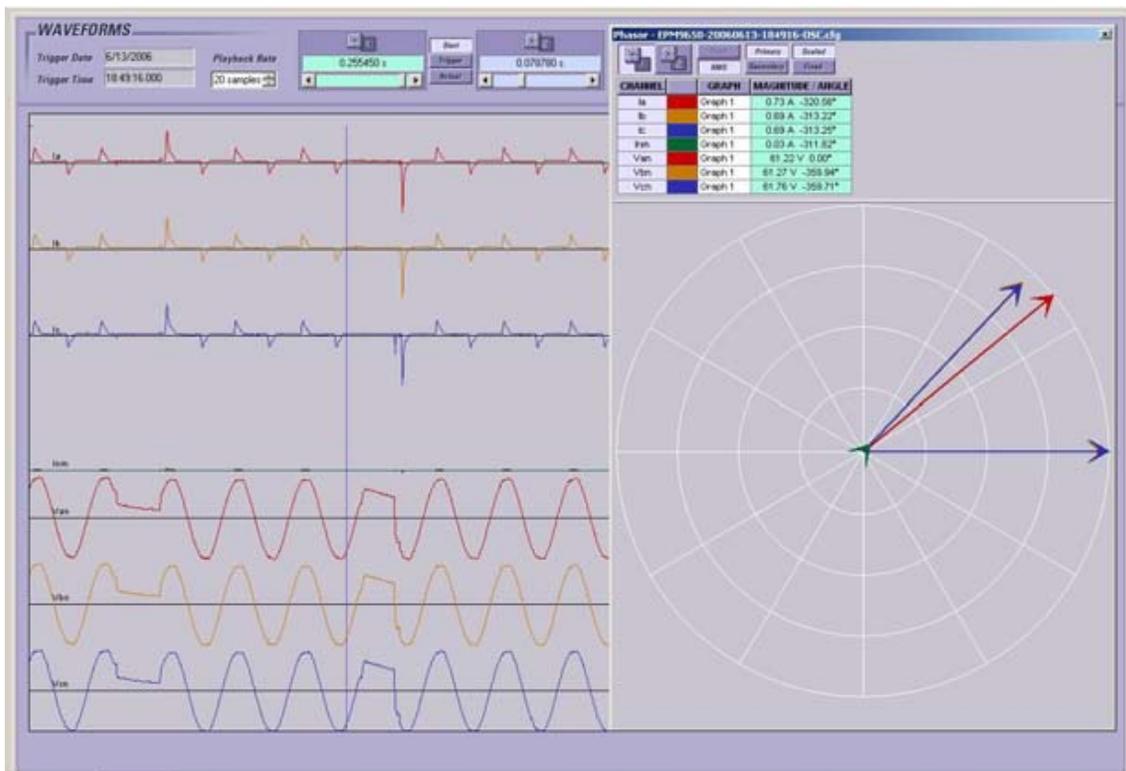
El Relé EPM 9650 es un medidor de potencia a 0,04% watt/hora precisión. Las mediciones incluyen potencia activa (kWh), potencia reactiva (kvarh), y potencia aparente (kVAh). Mide la potencia instantánea y ofrece múltiples mediciones simultáneas, incluyendo una marca de tiempo máximo y mínimo de lecturas. Otras características con las que cuenta este equipo de medición son:

- Precisión en las mediciones de facturación: Un dual de 16 bits analógica a convertidores digitales, proporcionan una suprema precisión y resolución de toma de muestras.
- Para alcanzar la máxima precisión, la unidad se autoajusta a las referencias internas de doble precisión de 1 parte por millón. Además, la EPM 9650 utiliza una técnica de calibración automática que recalibra la unidad sobre la marcha.
- Máxima y mínima de integración y registro: La unidad ofrece un sello cronológico de valores máximos y mínimos para cada medida de la lectura.

5.4.1.5 Pantallas de Visualización

El EPM 9650 está provisto de una pantalla LCD, mejorando la visualización en pantalla. Estas pantallas permiten ver los datos locales de la energía y el circuito de recolección de datos de diagnóstico, tales como tensión, la información actual, armónicos y fasores.

En la figura 5.5, se muestran formas de onda de voltaje y fasores.



El software ENERVISTA™ es utilizado para la descarga de información del Relé EPM 9650 a un ordenador. Este software es un potente paquete que proporciona una plataforma para acceder a toda la configuración y herramientas de apoyo necesarios para la configuración y el mantenimiento del Relé EPM 9650. Este software permite la configuración de dispositivos en tiempo real.

El software ENERVISTA™ es la única interfaz para la configuración, y hace que el análisis sea sencillo para entrar en puntos de ajuste, leer los valores medidos, supervisar el estado y evaluar la calidad de energía. Muestra formas de onda de voltaje, corriente y el análisis armónico. Esta información vital puede ayudar a proporcionar una alerta temprana de los problemas y evitar daños a los equipos.

Incluido en el software EnerVista™, un archivo de documentos y el sistema de gestión que asegura la documentación crítica.

CONCLUSIONES

Al culminar todas revisiones de las estadísticas de fallas, las evaluaciones y la realización a cabalidad de los planes de mantenimiento, tales como el BF (Búsqueda de Fallas), MBT (Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo), MBC (Mantenimiento Basado en Condición); tanto al equipo de medición, como lo es el Relé Multilin EPM; como a los equipos de respaldo, como lo son los sistemas DC, UPS's, Ride Through y los Generadores de Emergencia Diesel. Se obtuvo que tanto equipo de medición como los equipos de respaldo, cumplieron con todas las normativas y se encuentra en un estado óptimo para el cumplimiento de todas sus funciones.

Los Sags y Swells de tensión detectados en los estudios, siendo determinados por la norma IEEE 1159-1195, la cual indica que existirá un "Sag" o "Swell" de tensión cuando el voltaje RMS medido durante un intervalo que va desde 0.5 ciclos (8 milisegundos aproximadamente) hasta 1 minuto, esté por debajo del 90 % para los Sag y por encima del 110 % para Swell del voltaje nominal. Estas perturbaciones fueron detectadas en pocas ocasiones, quizás por la deficiencia en la detección de eventos por el sistema de medición.

Los valores de frecuencia fundamental registrados en todos los circuitos se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma PDVSA N-201, la cual exige un máximo de ± 2 % de variación.

El sistema de medición de calidad de energía existente, no proporciona la mayor eficiencia para la obtención de soluciones a los problemas encontrados, teniendo en cuenta las normas y las exigen establecidas por la empresa. Por esto se plantea

sustituir este sistema de medición existente por un sistema de medición con mayor capacidad de lectura y descarga de datos, mayor eficiencia y rendimiento, como es el caso del Relé EPM 9650.

El Relé EPM 9650, permitirá obtener parámetros de calidad de energía tales como; flickers, sag, swell, fp, frecuencia, potencia activa, potencia reactiva, armónicos, entre otros; los cuales permitirán tener registros más completos y por lo tanto mejor análisis y diagnóstico de fallas en los equipos eléctricos y electrónicos.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de calidad de energía eléctrica con más regularidad, incluyendo la descarga de data, para así poder estar completamente informado de la calidad de energía que está llegando al mejorador, y no estar en una posición desventajosa al momento de presentarse una falla en el suministro de energía.

Ante la creciente demanda de energía en el Mejorador de Crudo PDVSA-PETROPIAR, se debe tener especial cuidado en la distribución de las cargas, ya que un desbalance mayor de las fases, podría causar daño en los equipos, específicamente, en motores de inducción, bombas, entre otros.

Implementar el Sistema de Indicadores de Calidad de Energía propuesto, debido a la necesidad de reemplazar el medidor de calidad de energía existente, ya que este brinda una mejor lectura, y una mejor documentación de eventos y perturbaciones. Ofreciendo así un desempeño óptimo de los equipos y maquinarias con los que cuenta la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

8.1 Bibliografía Citada

[1] C. MARTÍNEZ, “Evaluación de la calidad de servicio y coordinación de protecciones del sistema eléctrico en media tensión de las subestaciones Travieso, Pirital y PTT”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Agosto (2006).

[2] D. GARCÍA, “Efecto de los armónicos producido por los clientes en la calidad de los servicios prestados por la empresa Eleoriente Cumana Edo. Sucre”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Junio (2005).

[3] V. FUSTER, F. ROMUALDO, J. MARÍN, F. FERRANDIS, “**Las perturbaciones eléctricas y la Industria Cerámica**”, Instituto de Tecnología Eléctrica, Iberdrola, Julio (2000).

[4] S. MARTÍNEZ GARCÍA, “Alimentación de equipos informáticos y otras cargas críticas”, Mc Graw Hill, (1992).

[5] IEEE Std 1100, “IEEE recommended practice for power and grounding sensitive electronic equipment, (IEEE esmerald book)”, (1992).

[6] R.C. DUGAN, M.F. Mc GRANAGHAN AND H.W. BEATY, “**Electrical Power Systems in Industry**”, Mc Graw Hill, (1996).

Petrolera Ameriven, “**Inducción en los Procesos del Mejorador de Petrolera Ameriven**” Vol. I, Alfonzo y Asociados, Caracas (2004).

S.J. Chatman, “**Máquinas Eléctricas**”, Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, Bogota Colombia.

IEEE Std 493-1997. “**IEEE Recommended Practice for the design of Reliable Industrial and Commercial Power System**”. IEEE Gold Book. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA. (1997).

Grainger, J y Stevenson, W. “**Análisis de Sistemas de Potencia**”. McGraw Hill, México 1996.

P. Kundur. “**Power System Stability and Control**”, McGraw Hill, Toronto, EEUU 1997.

Fernández, L. “Evaluación de la Contaminación de Armónicos Presentes en las Cargas en la Línea #2 de la Sub-estación Morichal PDVSA”. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, 2000.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA EL MEJORADOR DE CRUDOS DE PDVSA PETROPIAR EN EL COMPLEJO CRIOGENICO JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
JESUS G. FRANCO A.	CVLAC: 15.526.703 EMAIL: franco_a_jesus@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

propuesta
sistema
indicadores
energía
eléctrica
mejorador
calidad

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Electricidad

RESUMEN (ABSTRACT):

En la actualidad en el mejorador de PDVSA Petropiar existe un alto nivel de incertidumbre respecto a la condición operativa de los equipos y componentes del sistema eléctrico ante perturbaciones del sistema eléctrico nacional, debido a que no existe un sistema de indicadores que arroje un diagnóstico integral de la calidad de servicio eléctrico que llega a dicho mejorador; viéndose afectado por constantes fallas que se presentan en el sistema, tales como, flickers, sags, fluctuaciones de tensión, etc., ocasionando el mal funcionamiento de equipos y maquinarias, debilitamiento de aislamiento, sobrecalentamiento en transformadores, pérdidas materiales y posibles pérdidas humanas. Solo se cuenta con un relé de tipo EPM para el muestreo de la calidad de servicio. Y en el caso de presentarse alguna falla o perturbación se contaría con un sistema RIDE THROUGH como medida de mitigación, además de sistemas UPS, sistemas DC y sistemas de generación de energía. Tampoco existe un sistema automatizado que permita recopilar la data actual e histórica de las perturbaciones del sistema eléctrico donde se pueda promediar, caracterizar y realizar cálculos para tratar de anticipar posibles eventos que pudieran presentarse en el mismo. Por esto ha surgido la necesidad de realizar la propuesta de un sistema de indicadores de calidad de energía eléctrica, la cual consiste en desarrollar un sistema que permita caracterizar las fallas y perturbaciones, y la recolección de datos de la calidad del suministro eléctrico. De esta forma, es posible generar consultas e informes con distintos niveles de agregación acerca del cumplimiento de los estándares del servicio prestado, así también, proponer mejoras en el sistema eléctrico para mitigar los efectos y consecuencias de dichas perturbaciones.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Verena Mercado	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	V.-			
	E_MAIL	verenamercado@yahoo.com			
	E_MAIL				
Ing. Pablo Meléndez	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	CVLAC:			
	E_MAIL	pablomelendez@hotmail.com			
Ing. Luis Suarez	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	V.-			
	E_MAIL	acerosilicon@gmail.com			
Ing. Lenin Natera	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	V.-			
	E_MAIL	l.natera@anz.udo.edu.ve			

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	04	22
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis Ing. Elect. Jesús Franco	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Electricidad

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS:

“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.

Jesús G. Franco A.

AUTOR

Verena Mercado
TUTOR

Luis Suarez
JURADO

Lenin Natera
JURADO

**Verena Mercado
POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**