

T. UES
1504
C346d
1998
Ej 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**



TRABAJO DE GRADUACION

"Diseño e Implementación de un Analizador de Perturbaciones Eléctricas"

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

**JUAN RAMON CASTANEDA VALENCIA
OSCAR RAMON DIAZ SANCHEZ
JUAN ELIAS POSADA ARRIAGA**

PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

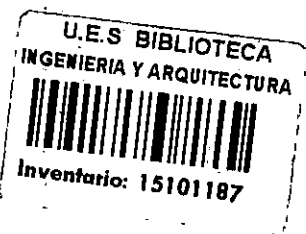
15101187
15101187



CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 1998.

Recibido el 11 de agosto de 1998

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR:

DR. JOSÉ BENJAMÍN LÓPEZ GUILLÉN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JOAQUÍN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

ING. JOSÉ RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

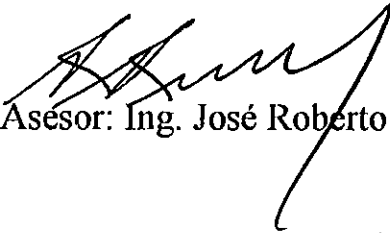
INGENIERO ELECTRICISTA

**Título: “ Diseño e Implementación de un Analizador de perturbaciones
Eléctricas”**

Presentado por:

Juan Ramón Castaneda Valencia
Oscar Ramón Díaz Sánchez
Juan Elias Posada Arriaga

Trabajo de graduación aprobado por:


Coordinador y Asesor: Ing. José Roberto Ramos López

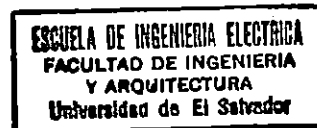


San Salvador, Agosto de 1998.

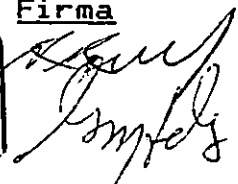
ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 25 de julio de 1998 en el local de la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las diez horas y treinta minutos, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Ing. José Roberto Ramos López
Director
- 2- Ing. Gerardo Marvin Jorge Hernández
Secretario



Firma



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

Firma

- 1- Inq. Diógenes Pérez
- 2- Inq. Carlos Pérez



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

"Diseño e Implementación de un Analizador de Perturbaciones Eléctricas"

A cargo de los Bachilleres:

CASTANEDA VALENCIA, JUAN RAMON
DIAZ SANCHEZ, OSCAR RAMON
POSADA ARRIAGA, JUAN ELIAS

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 9.0
(NUEVE PUNTO CERO)

AGRADECIMIENTOS

A lo largo del desarrollo del trabajo de graduación nos encontramos con las mas diversas dificultades, nuestro mayor reto fue superarlas de la mejor manera posible y sacar provecho de ellas. Sin embargo, esto no hubiera sido posible sin la ayuda desinteresada de muchas personas quienes gentilmente nos la brindaron en los momentos mas oportunos, agradecemos pues a las siguientes personas:

A nuestro asesor y coordinador: ing. José Roberto Ramos, por su guía a lo largo del desarrollo del trabajo de graduación.

Al ing. Luis Ramón Portillo, por facilitarnos amablemente la PCL – 718.

A los señores Salvador Posada, y Juan Olano, por facilitarnos su ayuda en los momentos oportunos.

Al ing. Mario Arturo Hernández por su ayuda siempre oportuna.

De manera muy especial al señor Martín Palacios por sacarnos siempre de grandes apuros.

A Leda Palacios y hermanos, por esa gran ayuda el día de nuestra defensa final.

A Carolina Hernández, Beatriz Franco y Moisés López por su valiosa colaboración.

EL GRUPO.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por haber iluminado mi mente y alma en los momentos de confusión.

A mis Padres Irma esperanza y Raul Enrique, quienes siempre han tenido fe en mi y me brindaron en forma incondicional su total apoyo.

A mis Hermanos Julio, Mario, Ana, Milagro y Rubén quienes siempre estaré agradecidos por haberme dado su mano para poder seguir adelante.

A mis Hermanitos Ana Gloria y Mario Ricardo quienes están en el cielo junto a Dios les dedico este logro.

A mis Abuelos Julio Alfonso (Q.E.P.D.) y Celia Augusta por brindarme su afecto y cariño.

A mis Amigos por darme sus palabras de aliento.

A la mis Maestros por darme un poco de su sabiduría.

Juan Ramón

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, por que sin su ayuda esta meta no estaría cumplida.

A mis padres, María Paulina Sánchez y José Angel Díaz, por toda su ayuda, sacrificio y apoyo incondicional en todo momento. ¡Gracias!, que Dios los bendiga hoy y siempre.

A mi novia Leda Lizzette, por haber estado en cada uno de los momentos a lo largo de estos años compartiendo éxitos y fracasos. Gracias por tu amor, comprensión, apoyo y por ser la inspiración que nunca me dejó caer.

A las familias Campos Sánchez y Marchelli Campos, y de manera muy especial a mi tía Dolores Sánchez, a mis primos José Guillermo, Sor Milagro y Nora, al señor Jaime Enrique Marchelli y María Teresa Campos. Gracias a todos por que sin su apoyo, ayuda y consejos no hubiera sido posible la finalización de esta meta.

A mis tías, Sor María Sánchez y Sor Francisca Sánchez (Q. D. D. G) por todas sus oraciones.

A mi demás familia por su apoyo, y ayuda oportuna en los momentos difíciles.

A mis compañeros de tesis, Juan Ramón y Juan Elias por el apoyo mutuo y trabajo de equipo que nos permitió no darnos nunca por vencidos aún en los momentos mas duros y sobre todo porque ahora puedo contar con dos verdaderos amigos.

OSCAR

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darme la vida, la salud, las facultades necesarias, la fortaleza, la capacidad y todo aquello que de una u otra forma ha contribuido a lograr una meta mas.

Que DIOS nos ayude a seguir caminando en la ruta correcta y a vencer los obstáculos que en ella encontremos.

A MIS PADRES porque han puesto todo su esfuerzo para brindarme los recursos necesarios, pero en especial por darme todo el apoyo moral que ha sido de gran importancia no solo en mi carrera sino también en mi vida, por enseñarme el camino correcto y a poner mi confianza en DIOS.

A TODA MI FAMILIA pero en especial a mi hermano FERNANDO que con su ejemplo de superación y de persistencia me motivó a lograr esta meta. Porque luchaste por la vida hasta el último momento, vivirás para siempre y seguirás siendo un ejemplo a seguir.

A MIS AMIGOS, COMPAÑEROS y todos aquellos que de alguna forma me ayudaron en el transcurso de mi carrera brindándome el apoyo requerido en el momento oportuno, especialmente a mis compañeros de trabajo de graduación.

A MI NOVIA por ser la más bella fuente de motivación que me ha enseñado que con esfuerzo y constancia se puede alcanzar lo más alto.

A MIS MAESTROS que pusieron sus conocimientos al servicio de la enseñanza teniendo como objetivo primordial la formación de buenos profesionales. Que su objetivo se halla cumplido.

GRACIAS.

JUAN ELIAS

PREFACIO

Actualmente con el proceso de privatización que se desarrolla en el país, el suministro de energía eléctrica ha sido considerado como uno de los sectores que deben unirse a este proceso de globalización, con lo cual se crea un ambiente de competencia entre las diferentes distribuidoras de energía, de tal manera que estas compañías deben esforzarse en suministrar al abonado una energía con calidad dentro de los límites permisibles. El analizador de perturbaciones desarrollado en este proyecto persigue ese fin, el cual consiste en dar un diagnóstico del sistema de distribución, de esta forma tanto el abonado como la compañía distribuidora tienen conocimiento de los niveles de Power Quality con que se suministra la energía eléctrica, así pues el abonado puede exigir una mejor calidad y la compañía distribuidora tiene la obligación de mejorar el servicio.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un prototipo de laboratorio de un analizador de perturbaciones eléctricas, que cumpla con las características de un instrumento virtual (VI) basado en tecnología de computadoras AT/XT y utilizando una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) PCL718.

El software es una aplicación en el ambiente Windows desarrollado en el lenguaje de programación Visual C++, el cual permite crear programas con una interfaz computadora-usuario amigable.

Este analizador de perturbaciones junto a una base de datos permite dar un diagnóstico de la calidad del sistema de distribución por medio de reportes en formato de texto y gráficos, la información contenida en estos reportes es el resultado de recabar un cumulo de muestras del sistema de distribución, estos reportes pueden ser entregados al abonado para que tenga un parámetro de referencia del estado de su suministro de energía eléctrica.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Página
CAPITULO I	
CLASIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS	
POWER QUALITY.....	1
1.1 Antecedente: Una perspectiva histórica.....	1
1.2 Proliferación de cargas que causan disturbios.....	2
1.3 El concepto de Power Quality.....	2
1.4 Consideraciones Power Quality.....	3
1.4.1 Discusión general.....	3
1.5 Clasificación general de los fenómenos.....	4
1.6 Origen de los disturbios.....	4
1.6.1 Conmutación de cargas.....	6
1.6.2 Otros disturbios.....	7
1.7 Fenómenos Power Quality.....	7
1.7.1 Clasificación del fenómeno.....	7
1.7.2 Transitorios.....	10
1.7.2.1 Transitorios impulsivos.....	10
1.7.2.2 Transitorios oscilantes.....	11
1.7.3 Variaciones de corta duración.....	13
1.7.3.1 Interrupción.....	13
1.7.3.2 Sags.....	14
1.7.3.3 Swells.....	16
1.7.4 Variaciones de larga duración.....	17
1.7.4.1 Sobre voltaje.....	18
1.7.4.2 Bajo voltaje.....	18
1.7.4.3 Interrupción sostenida.....	18
1.7.5 Desbalance de voltaje.....	18
1.7.6 Distorsión de forma de onda.....	19
1.7.6.1 Offset DC.....	19
1.7.6.2 Armónicos.....	20
1.7.6.3 Interarmónicos.....	20
1.7.6.4 Notching.....	21
1.7.6.5 Ruido.....	21
1.7.7 Fluctuaciones de voltaje.....	22
1.7.8 Variaciones en la frecuencia del sistema.....	22
Conclusiones del capítulo I.....	23
Referencias Bibliográficas.....	24
CAPITULO II	
MONITOREO E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	25
2.1 Objetivos del monitoreo.....	25
2.2 Requisitos para el monitoreo de Power Quality	26
2.3 Categorías de las variaciones Power Quality	26
2.4 Tolerancia de equipos y los efectos de los disturbios con ellos.....	27

2.4.1	Tipos de equipos.....	27
2.5	Instrumentación virtual.....	28
2.6	Efectos en los equipos dependiendo del tipo de fenómeno.....	28
2.6.1	Transitorios.....	29
2.6.2	Variaciones de corta duración.....	29
2.6.3	Interrupciones.....	29
2.6.4	Sags.....	30
2.6.5	Swells.....	30
2.6.6	Variaciones de larga duración.....	30
2.6.7	Interrupciones sostenidas.....	30
2.6.8	Bajo voltaje.....	30
2.6.9	Sobre voltaje.....	31
2.6.10	Desbalance de voltaje.....	31
2.6.11	Distorsiones de forma de onda.....	31
2.6.12	Fluctuaciones de voltaje.....	31
2.6.13	Variaciones en la frecuencia del sistema.....	31
	Conclusiones del capítulo II.....	32
	Referencias Bibliográficas.....	33
CAPÍTULO III INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL APLICADA EN LA MEDICIÓN DE FENÓMENOS POWER QUALITY.....		
3.1	Desarrollo de la aplicación para la detección de perturbaciones eléctricas.....	34
3.1.1	Objetivos.....	34
3.1.2	Factores principales que intervienen.....	34
3.1.3	Variables involucradas.....	35
3.2	Almacenamiento de datos para posterior reporte.....	37
3.3	Representación gráfica de modo continuo.....	38
3.4	Desarrollo del algoritmo.....	39
3.5	Circuito simulador de perturbaciones eléctricas de corta duración.....	40
3.5.1	Objetivos.....	40
3.5.2	Características generales.....	40
3.5.3	Diagrama en bloques del simulador de perturbaciones sag y swell.....	40
3.5.4	Diagrama de tiempo.....	41
3.5.5	Diagrama en bloques del simulador de perturbaciones sag, swell e interrupciones.....	42
3.5.5.1	Descripción.....	42
3.6	Desarrollo de la aplicación.....	43
3.6.1	Modo cíclico.....	43
3.6.2	Inicialización.....	43
3.6.3	Inicialización del muestreo.....	46
3.6.4	Algoritmo.....	47
3.7	Desarrollo de la base de datos.....	47
3.7.1	La base de datos PQ DATABASE.....	48
3.8	Tipos de bases de datos.....	48
3.8.1	Bases de datos simples.....	48

3.8.2	Bases de datos relacionales.....	49
3.9	Relaciones de uno a muchos.....	49
3.10	Índices y expresiones.....	49
3.10.1	Tipos de índices.....	49
3.10.1.1	Archivo de índice único.....	49
3.10.1.2	Archivo indizados compuestos.....	50
3.10.1.3	Índices compuestos estructurales.....	50
3.11	Requerimientos de datos y acceso para la aplicación.....	50
3.11.1	Importar datos.....	50
3.11.2	Almacenamiento de datos.....	50
3.11.3	Clasificación de datos.....	51
3.11.4	Consulta de datos.....	52
3.11.5	Impresión de reportes.....	52
3.12	Partes de la base de datos.....	52
3.12.1	Control principal de la base de datos.....	52
	Conclusiones del capítulo III.....	57
	Referencias Bibliográficas.....	58
	CAPITULO IV RESULTADOS OBTENIDOS.....	59
4.1	Objetivos.....	59
4.2	Tabla de identificación del sitio de monitoreo.....	59
4.3	Histograma de frecuencia acumulativa de niveles RMS.....	59
4.4	Histograma de frecuencia para la THD.....	59
4.5	Perfil de voltaje.....	60
4.6	Listado de fenómenos.....	60
4.7	Formato de reporte.....	60
	Conclusiones del capítulo IV.....	68
	Referencias Bibliográficas.....	69
	Conclusiones Generales.....	70
	Recomendaciones.....	71

CAPITULO I.

CLASIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS POWER QUALITY

INTRODUCCIÓN

Para iniciar el estudio de los fenómenos Power Quality que se tratarán en este trabajo, presentamos la información referente a los conceptos y clasificación de los diferentes disturbios (o perturbaciones) electromagnéticos que pueden presentarse en un sistema de distribución de energía eléctrica, esta información es necesaria para comprender estos fenómenos, sus orígenes y repercusiones sobre la carga.

1.1 ANTECEDENTES: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA.

En la década de 1930 se presentó un aumento en el uso de motores eléctricos para controlar las distintas líneas de producción en la industria por lo cual las compañías de electricidad adoptaron estándares estrictos para la regulación del voltaje al darse cuenta que el incremento de disturbios debido al uso del equipo de los usuarios ocasionaba gastos que la misma compañía debía de cubrir. Como resultado de esto se aumentó el número de estándares para las industrias y del equipo destinado a reducir las fluctuaciones de voltaje.

Un problema similar se presentó en la década de 1950 cuando el aire acondicionado hizo su aparición y rápidamente se hizo popular. Cuando estos aparatos eran puestos en marcha se necesitaba mucho mas energía para lograr que su compresor arrancara, lo cual reducía temporalmente los voltajes de línea y los motores a menudo no alcanzaban su velocidad de operación, corrían pobremente o estallaban. Afortunadamente, en este caso, una solución fue rápidamente encontrada: agregar capacitores para corregir el factor de potencia en el sistema.

La razón por la cual hoy en día el problema a cerca de la calidad de suministro no puede ser manipulado tan fácilmente se debe a que éste parece reflejar una multitud de diferentes causas y una gran variedad de sensibilidades específicas en el equipo del usuario mas afectado. Así como el problema del aire acondicionado fue eventualmente resuelto por un esfuerzo combinado de ambas partes afectadas, también pueden los nuevos estándares en equipos y niveles permisibles de distorsión de voltaje, ayudar en el diseño y aplicación tanto de equipo electrónico sensible y aparatos de gran potencia y rendimiento. Tales estándares tendrán que ser aplicados mas selectivamente que en el pasado.

1.2 PROLIFERACIÓN DE CARGAS QUE CAUSAN DISTURBIOS.

El advenimiento de la conversión de potencia haciendo uso de la electrónica, ha sido ampliamente elogiada por los usuarios, pero desde el punto de vista de la calidad de suministro de energía, no ha sido bien visto el uso de esta tecnología. Las muchas

ventajas de los dispositivos de estado sólido, que han hecho posible la conmutación de fuentes de suministro, rectificadores, inversores, y otras diversas aplicaciones como el calentamiento por inducción a altas frecuencias y los manejadores ajustables de velocidad; contrastan con algunos inconvenientes que causan, como la generación de corrientes armónicas y el papel de fuentes adicionales de caídas de voltaje de línea. Así, además de los disturbios generados por la operación normal de entrega a los abonados y carga de equipos, los disturbios resultantes de las nuevas cargas electrónicas deberán ser tomadas en consideración. En la actualidad una cantidad importante de armónicos en las líneas de distribución son causados por distintas cargas, tales como rectificadores y controladores de estado sólido para motores de velocidad ajustable. Al mismo tiempo, un número creciente de usuarios están usando equipo altamente sensible, como computadoras y controladores lógicos programables cuya operación puede ser seriamente afectada por los armónicos presentes en su sistema de alimentación.

Ante tal situación, no sería económicamente factible el detectar y filtrar cada una de las pequeñas fuentes de armónicos presentes en distintos sitios del sistema de potencia en particular, o el aislar cada carga sensible, de todos los disturbios que ocurran en el sistema de potencia. Lo anterior hace necesario la búsqueda de una solución más práctica para ambas partes: el distribuidor y el abonado que es quien finalmente recibe el servicio y se expone a los daños que pueda causar un suministro de potencia de baja calidad. Una alternativa sería el controlar los armónicos por el ajuste en los límites de emisión de los mismos, por medio de filtros instalados en las cargas más afectadas mientras se definen, por ambas partes, los niveles de susceptibilidad aceptables para los equipos.

1.3 EL CONCEPTO DE POWER QUALITY.

La atención en la calidad de la potencia necesaria para la operación exitosa de diversas cargas, en los límites prácticos de la capacidad para ofrecerla a los diversos usuarios, está dirigida a la economía de la relación productor y usuario y es un concepto de mucho interés para ambos ya que las operaciones normales de negocios e industrias se están volviendo excesivamente dependientes del funcionamiento de su equipo eléctrico y electrónico. Todos estos factores, al considerarlos de manera conjunta, hacen necesario pensar para el futuro, en la creación de estándares Power Quality (calidad de suministro) que resulten en un beneficio para ambas partes involucradas.

El término Power Quality es ahora ampliamente usado y ha evolucionado de diversas formas desde la introducción del microprocesador. Anteriormente las responsabilidades de un ingeniero de potencia estaba ligada al control de voltaje y en ocasiones especiales al flicker. En la actualidad, los equipos modernos de telecomunicación, microcomputadoras, etc. han forzado a una nueva definición de Power Quality para acomodar las necesidades del equipo electrónico, de esta manera Power Quality envuelve además de los ingenieros de potencia a los de control, de electrónica y de manufactura. Los fenómenos que anteriormente eran de una importancia secundaria tales como la distorsión armónica y sobrevoltajes transitorios, toman un significado trascendental, pero el criterio objetivo para la medida de la calidad de suministro, un prerequisite para

cuantificar esta calidad, necesita una mejor definición. Un alto nivel de Power Quality es entendido como un bajo nivel de disturbios.

En la actualidad podemos encontrar una gran cantidad de definiciones para el término Power Quality entre las que podemos citar:

- " Es el grado al cual, ambas, la potencia suministrada y la potencia utilizada afectan el funcionamiento de un equipo eléctrico". [1]
- " Cualquier problema manifestado en una desviación del voltaje, corriente o frecuencia que resulte en una falla o pérdida de operación en el equipo del usuario".[2]
- " El concepto de alimentar y proteger equipo sensitivo de una manera que sea apropiada para la operación de tal equipo". [3]
- " Es un termino que se refiere a una amplia variedad de variaciones en la potencia eléctrica suministrada a los usuarios". [4]
- " Está referido a la compatibilidad que existe entre la carga y el sistema de potencia" [5]
- " El grado al cual el voltaje utilizado alcanza el caso ideal de una fuente estable, ininterrumpida, con cero distorsión y libre de disturbios". [6]

1.4 CONSIDERACIONES POWER QUALITY.

1.4.1 DISCUSIÓN GENERAL.

Los sistemas de potencia operan con un voltaje de línea constante suministrando potencia a una gran variedad de cargas. Los niveles varían desde unos pequeños watts hasta los megawatts, y los voltajes por los cuales la energía es generada, transportada y distribuida varía desde los cientos de voltios hasta cientos de kilovoltios. La distribución y transmisión primaria de esta potencia es hecha en niveles altos de voltaje con el objetivo de proveer un transporte eficiente y económico de la energía para largas distancias. La utilización final generalmente es el rango de 120V (residencial) hasta menos de unos miles (industrial) y unos pequeños miles de voltios para cargas grandes.

En todos estos niveles de voltaje y potencia, no importando cuan alto sean, los equipos dependen de que el voltaje normal de operación se mantenga estable, debido a que solo tienen una capacidad limitada de protección contra niveles de voltaje que excedan los niveles normales.

A valores menores que los niveles normales, el funcionamiento del equipo es generalmente insatisfactorio o es riesgoso. Estos dos tipos de disturbios, voltajes excesivos o insuficientes, son descritos con diferentes nombres y características dependiendo de su duración, magnitud y naturaleza misma.

1.5 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS FENÓMENOS.

Cuatro parámetros de los sistemas de potencia: frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría puede servir como un marco de referencia par clasificar los disturbios de acuerdo a su impacto en la calidad de la potencia disponible. Sus impactos se pueden resumir en:

- **Variaciones de frecuencia:** son raros en los sistemas útiles conectados, pero los sistemas de distribución basados en grupos motor-generator pueden experimentar variaciones en frecuencia debido a variaciones en las cargas y mal funcionamiento de equipos.
- **Variaciones en Amplitud:** pueden ocurrir en varias formas y su descripción está estrechamente asociada con su duración. Su rango varía desde duraciones extremadamente breves, hasta condiciones de estado estable, volviendo su descripción y definición dificultosa, hasta controversial a veces. Sus causas y efectos necesitan un examen cercano para entender el mecanismo y para definir una solución apropiada.
- **Variaciones de forma de onda:** ocurren cuando cargas no lineales extraen una corriente del sistema que no es senoidal. Podrían ser descritas también como una variación en amplitud o como una variación de forma de onda momentánea, pero el enfoque dado al significado del término es una variación de estado estable de la forma de onda de al menos algunos ciclos. Este tipo de disturbios pueden ser descritos como una distorsión armónica porque es fácil analizarlos como la superposición de armónicos a la frecuencia nominal del sistema de potencia.
- **Asimetrías:** son también llamadas desbalance, y ocurren cuando cargas monofásicas desbalanceadas son conectadas a un sistema trifásico y causa una pérdida de simetría. Este tipo de disturbios está ligado principalmente a máquinas rotatorias y rectificadores trifásicos y como tales no se les presta la atención debida. Es importante, sin embargo, para los diseñadores y para los usuarios. El porcentaje por el cual el voltaje de una fase difiere del promedio de las otras tres, es la descripción usual de este tipo de disturbios.

1.6 ORIGEN DE LOS DISTURBIOS.

El buscar una explicación para el origen de los fenómenos electromagnéticos nos lleva a una doble interpretación:

- la primera interpretación se refiere a la fuente y origen del disturbio, y si ésta es externa o interna al sistema de potencia en particular. Típicamente, el límite de un sistema de potencia está definido de acuerdo al medidor watt-hora y la referencia es hecha al "lado útil del medidor" (fuente externa) o al "lado en uso del medidor" (fuente interna).

- De acuerdo a otra interpretación, el término se refiere a la naturaleza de la fuente. El disturbio es entonces descrito en términos técnicos, tales como conmutación de cargas, descarga, fallas en el sistema de potencia y cargas no lineales. Dependiendo de las condiciones locales una puede ser mas importante que la otra, pero todas necesitan ser reconocidas. El mecanismo envuelto en la generación de los disturbios también determina dónde la ocurrencia será aleatoria o permanente, impredecible o fácil de definir.

La primera interpretación se debe a la necesidad de asignar responsabilidades para el problema, y posiblemente de un remedio. La segunda interpretación es motivada por la necesidad de entender el problema y desarrollar un remedio técnico correcto. Cuando se discute el problema entre las partes involucradas, los distintos puntos de vista deben ser reconocidos. La tendencia de la mayoría de usuarios es atribuir la mayoría de sus problemas sobre disturbios a la compañía distribuidora y la fuente de suministro usada y no se dan cuenta que muchas otras fuentes de disturbios están localizadas dentro de su propio sistema y son atribuibles al uso de sus equipos. Finalmente, existen fuentes de disturbio o errores del sistema, no asociados con la entrada de poder del equipo, tales como descargas electrostáticas a las cubiertas de equipos o cables, interferencia electromagnética radiada, diferencias de potencias a tierra y errores de operación.

Algunos disturbios ocurren de manera aleatoria y no son predecibles para un sitio dado, sin embargo la información estadística puede ser útil en su ocurrencia. Otros disturbios, especialmente aquellos asociados con la operación de otros equipos pueden ser predecibles y son repetitivos, y por lo tanto pueden ser observados llevando a cabo el ciclo operativo del equipo.

Las sobretensiones por descargas atmosféricas son el resultado de golpes directos a los conductores del sistema de potencia, así como de efectos indirectos. Los primeros inyectan la corriente total de descarga al sistema. Los rangos de amplitudes varían desde unos pocos miles de amperios hasta unos pocos cientos de miles de amperios. Sin embargo, los rápidos cambios de corriente a través de la impedancia de los conductores, producen un alto voltaje que causan descargas secundarias a tierra, desviando alguna corriente aún en la ausencia de un desviador intencional. Como resultado, el equipo conectado al final de los conductores está raramente expuesto a la corriente de descarga completa. Los efectos indirectos incluyen sobrevoltajes inducidos en lazos formados por conductores y aumento de voltajes resultantes de la corriente de descarga en redes de tierra.

Los efectos de las descargas al sistema de potencia pueden activar protectores de sobretensión, produciendo desde una reducción severa, hasta la pérdida completa de voltaje en el sistema de potencia para un medio ciclo. Una descarga eléctrica en los aisladores de línea pueden disparar un interruptor que tenga un retardo para cierre y apertura para varios ciclos, causando así una pérdida momentánea de potencia. Por lo tanto, las descargas pueden ser la causa obvia de sobre voltajes cercanos al punto de impacto, pero también es menos probable que cause una pérdida de voltaje a una

distancia considerable desde el punto de impacto. Claramente la ocurrencia de este tipo de disturbio es impredecible tanto a nivel microscópico, (sitio específico) como macroscópico (área general), en donde está relacionado con la geografía, estaciones del año y de la configuración del sistema local.

La inducción de sobrevoltajes por descargas atmosféricas es menos dramática pero mas frecuente. Las características de los sobrevoltajes resultantes están influenciados no solo por la fuerza que los origina y maneja (el campo electromagnético), sino también por la respuesta del sistema de potencia en particular.

1.6.1 CONMUTACIÓN DE CARGAS.

Es la mayor fuente de disturbios. Siempre que un circuito que contiene capacitancias e inductancias es conectado o desconectado, un disturbio transitorio ocurre, debido a que el voltaje y la corriente no alcanzan su valor nominal instantáneamente. Este tipo de disturbio es inherente y su severidad depende del nivel de potencia relativo de la carga que está siendo conmutada y de la corriente de corto circuito del sistema de potencia en el cual la conmutación tiene lugar.

La conmutación de grandes cargas puede producir cambios de voltaje de larga duración mas allá de la respuesta transitoria inmediata del circuito, además la ocurrencia de disturbios por conmutación de cargas es en alguna manera predecible, pero no necesariamente bajo condiciones controladas.

Las fallas en los sistemas de potencia pueden ocurrir en ambos lados del medidor, como resultado de fallas en el equipo o causas externas (colisiones de vehículos, tormentas, errores humanos). Estos disturbios pueden variar desde una reducción momentánea de voltaje hasta una pérdida completa de la potencia por minutos, horas o días. Su origen accidental la hace impredecible, sin embargo la configuración de un sistema de potencia y su ambiente pueden hacerla mas propensa a este tipo de disturbio.

Las cargas no lineales originan corrientes no senoidales en el sistema de potencia aún si el voltaje del sistema de potencia es completamente senoidal. Estas corrientes producen caídas de voltaje no senoidales a través de la impedancia del sistema de alimentación en el cual la onda senoidal producida por la planta generadora se distorsiona. Una carga no lineal típica es una fuente DC con un filtro capacitivo a la entrada, tales como los usados en la mayoría de computadoras.

1.6.2 OTROS DISTURBIOS.

Las descargas electrostáticas afectan al cuerpo humano y objetos, y pueden inyectar voltajes o corrientes no deseadas en circuitos. Estos fenómenos están asociados con contactos de operadores con el equipo (teclados, botoneras y conectores), en mayor grado que con la potencia suministrada. Aunque la magnitud de estas corrientes no es tan grande no deberían de ignorarse de los problemas en el equipo.

1.7 FENÓMENOS POWER QUALITY

1.7.1 CLASIFICACIÓN DEL FENÓMENO.

La IEC¹ clasifica los fenómenos electromagnéticos en varios grupos tal como se muestra en la tabla 1. Los términos alta y baja frecuencia no son definidos en términos de un rango específico de frecuencias, pero tienen el propósito de indicar la diferencia relativa en el contenido de frecuencias entre los fenómenos listados en cada categoría.

La práctica 1159 de la IEEE utiliza algunos términos relativos a la terminología IEC. Así el término sag es usado por la comunidad Power Quality como un sinónimo del término Dip (IEC). La categoría variaciones de corta duración es usado para referirse a Dips de voltaje e interrupciones cortas. El término swell es introducido como un inverso de sag. La categoría variaciones de larga duración han sido incluidos de manera que sean compatibles con los límites C84.1 de ANSI². La categoría distorsión de forma de onda es usada como una categoría que contiene a los armónicos, interarmónicos en redes AC o DC, así como el fenómeno adicional Notching de IEEE 519. En la tabla 2 se muestran las distintas categorías de fenómenos electromagnéticos usados por la comunidad Power Quality internacional.

Los fenómenos clasificados por la IEC se describen mejor listando ciertos atributos, así para estado estable pueden ser usados los siguientes atributos:

- Amplitud.
- Frecuencia.
- Espectro.
- Modulación.
- Impedancia de la fuente.
- Profundidad de punto.

Para estado no estable pueden requerirse otros atributos como:

- Coeficiente de rizado.
- Amplitud.
- Duración.
- Espectro.
- Razón de ocurrencia.
- Impedancia de la fuente.

Las categorías para los distintos fenómenos y sus descripciones son de gran importancia debido a que facilitan la clasificación de resultados obtenidos a partir de medidas realizadas en pruebas de laboratorio, y para describir fenómenos electromagnéticos que puedan causar problemas de Power Quality.

¹ International Electronic Commite

² American National Standard Institute

Conducidos por fenómenos de baja frecuencia
Armónicos, interarmónicos
Señal del sistema (línea portadora de potencia)
Fluctuaciones de voltaje
Declives de voltaje e interrupciones
Desbalance de voltaje
Variaciones de frecuencia-potencia
Inducciones de voltajes de baja frecuencia
DC en circuitos AC
Fenómenos radiados en baja frecuencia
Campos magnéticos
Campos eléctricos
Conducidos por fenómenos de alta frecuencia
Ondas continuas inducidas de voltaje o corriente
Transientes unidireccionales
Transientes oscilatorios
Fenómenos radiados en alta frecuencia
Campos magnéticos
Campos eléctricos
Campos electromagnéticos
Ondas continuas
Transientes
Fenómenos de descargas electrostáticas (ESD)
Pulsos electromagnéticos nucleares (NEMP)

Tabla 1. Principales Fenómenos Causados por Perturbaciones Electromagnéticas según IEC

Categoría	Contenido Espectral Típico	Duración Típica	Magnitud Típica de Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsivos			
1.1.1 Nanosegundos	Elevación de 5 ns	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundos	Elevación de 1 μs	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	Elevación de 0.1 ms	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5 KHz	0.3 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Media Frecuencia	5 - 500 KHz	20 μs	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 μs	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 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporales			
2.3.1 Interrupción		3 s - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de Larga Duración			
3.1 Interrupción, Sostenida		> 1 minuto	0.0 pu
3.2 Bajo Voltaje		> 1 minuto	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 minuto	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance de Voltaje		estado estable	0.5 2 %
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Compensamiento DC	0 - 100avo	estado estable	0 - 0.1%
5.2 Armónicos	Armónico	estado estable	0 - 20%
5.3 Entre Armónicos	0 - 6 KHz	estado estable	0 - 2%
5.4 Ranuración		estado estable	
5.5 Ruido	banda ancha	estado estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	intermitente	0.1 - 7%
7.0 Variaciones de Frecuencia		< 10 s	

Tabla 2. Categorías y Características Típicas de Fenómenos Electromagnéticos

1.7.2 TRANSITORIOS.

El término transitorio ha sido usado en el análisis de variaciones en sistemas de potencia. Su nombre inmediatamente nos da la noción de un evento que es indeseable, pero momentáneo por naturaleza. El estándar 100-1992 de IEEE donde se define el transitorio refleja este concepto. La definición principal usa la palabra rápido y habla de frecuencias arriba de los 3 MHz cuando se define el transitorio en el contexto de sistemas de evaluaciones de cables en subestaciones. La noción de un transitorio oscilatorio amortiguado debido a una red RLC es mencionada y este es el concepto que la mayoría de ingenieros asocian al oír la palabra transitorio.

En el estándar 100-1984 de IEEE se define el transitorio de la manera siguiente: es la parte del cambio de una variable que desaparece durante la transición de una condición de operación de estado estable a otra. Los transitorios pueden ser clasificados en dos grandes categorías: impulsivos y oscilatorios.

1.7.2.1 TRANSITORIOS IMPULSIVOS.

Un transitorio impulsivo es un cambio repentino en la condición de estado estable del voltaje, corriente o ambos, que es unidireccional en polaridad (positivo o negativo).

Este tipo de transitorios están caracterizados normalmente por su tiempo de caída y rizado. Estos fenómenos también pueden ser descritos por su contenido espectral. La causa más común de los transitorios impulsivos son las descargas eléctricas. En la figura 1.1 se muestra un transitorio impulsivo de corriente causado por una descarga eléctrica.

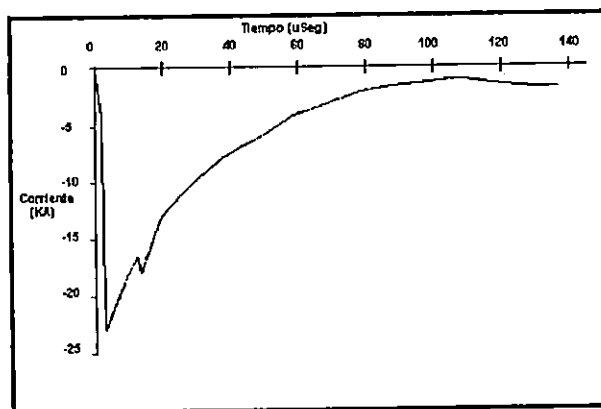


Figura 1.1

Debido a las altas frecuencias involucradas, los transitorios impulsivos son amortiguados rápidamente por los componentes resistivos de un circuito y no son trasladados lejos de su fuente de origen. Pueden existir diferencias significativas en las características transitorias de una localidad, dentro de sistema en particular, a otra. Los transitorios impulsivos pueden excitar circuitos resonantes en sistemas de potencia y producir el siguiente tipo de disturbio: los transitorios oscilantes.

1.7.2.2 TRANSITORIOS OSCILANTES.

Un transitorio oscilante es un cambio repentino en la frecuencia, en condición de estado estable, del voltaje, corriente o ambos, que incluye ambos valores de polaridad: negativa y positiva.

Un transitorio oscilante consiste en un voltaje o corriente cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Estos fenómenos son descritos por su contenido espectral (frecuencia predominante), su duración y magnitud. Los rangos de frecuencia para la clasificación son escogidos para coincidir con los fenómenos transitorios oscilantes comunes.

Este tipo de fenómenos pueden ser medidos con o sin la componente de frecuencia fundamental incluida. Cuando el transitorio es caracterizado, es importante indicar la magnitud con y sin la componente fundamental. Si la componente de frecuencia primaria es mayor que 500 KHz y con una duración típica medida en microsegundos (o muchos ciclos de la frecuencia principal) entonces se considera al fenómeno como un transitorio oscilante de alta frecuencia. Este tipo de transitorios se deben, en la mayoría de casos, a algún tipo de evento de conmutación. Los transitorios oscilantes de alta frecuencia son a menudo el resultado de la respuesta de un sistema local a un transitorio impulsivo.

Los dispositivos electrónicos de potencia producen transitorios oscilantes de voltaje, como resultado de la conmutación y de la acción de circuitos RLC amortiguados. Los transitorios pueden ser en el rango de grandes KHz; y tener razones de repetición de muchas veces por ciclo y magnitudes de 0.1 p.u. (menos de la componente de 60 Hz). Un transitorio con una componente de frecuencia primaria entre 5 y 500 KHz con una duración en el orden de microsegundos (o algunos ciclos de la frecuencia principal) son llamados transitorios de frecuencia media.

La energización de capacitores interconectados origina corrientes transitorias oscilatorias en el orden de los KHz. Este fenómeno ocurre cuando un banco de capacitores energizado en las cercanías de un circuito cerrado próximo a un banco de capacitores que ha estado en servicio. El banco energizado mira al desenergizado como una trayectoria de baja impedancia (limitado únicamente por la inductancia del bus por el cual los bancos están conectados, típicamente de un bajo valor). En la figura 1.2 se muestra un transitorio de corriente debido al fenómeno descrito anteriormente.

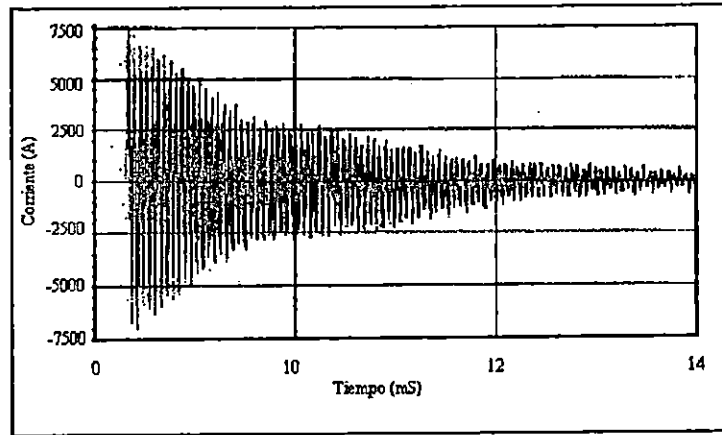


Figura 1.2

Un transitorio con una componente de frecuencia primaria de menos de 5 KHz y una duración desde 0.3 ms a 50 ms es considerado como un transitorio de baja frecuencia.

Este tipo de fenómenos se presentan comúnmente en sistemas de distribución y subtransmisión y es causado por una gran variedad de eventos, siendo el mas común la energización de bancos de capacitores. La energización de estos bancos típicamente resulta en un transitorio de voltaje oscilatorio con una frecuencia primaria comprendida entre 300 y 900 Hz. El transitorio tiene una magnitud pico que puede alcanzar los 2.0 p.u. pero típicamente es de 1.3 a 1.5 p.u. entre los últimos 0.5 y 3 ciclos, dependiendo del tipo de amortiguación del sistema, tal como se muestra en la figura 1.3 .

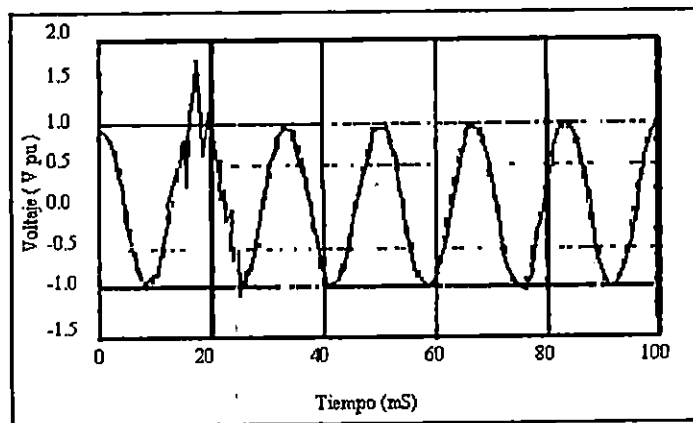


Figura 1.3

Los transitorios oscilantes con una componente de frecuencia menor a 300 Hz pueden ser encontrados en los sistemas de distribución. Estos típicamente están relacionados con la ferorrresonancia y energización de transformadores.

Algunos transitorios asociados con capacitores en serie pudieran también caer en esta categoría. Estos ocurren cuando el sistema resonante resulta en una magnificación de las componentes de baja frecuencia en la corriente de entrada del transformador (segunda o tercera armónica, o cuando condiciones inusuales resultan en una ferorrresonancia).

1.7.3 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN.

Esta categoría comprende las categorías de voltaje Dips e interrupciones cortas según IEC, así como su contraparte: el swell. Cada tipo de variación puede ser designada como instantánea, momentánea o temporal dependiendo de su duración definida en la tabla 1.2

Las variaciones de voltaje de corta duración son casi siempre causadas por condiciones de falla, la energización de grandes cargas las cuales requieren elevadas corrientes iniciales, o pérdidas intermitentes de conexión en la red de potencia. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema, la falla puede causar rizados de voltaje temporales (swells), caídas de voltaje (sags) o una pérdida completa de voltaje (interrupciones).

La condición de falla puede ser cercana o remota al punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre el voltaje durante la condición actual de falla es una variación de corta duración. Los cambios en corrientes que caen dentro de la categoría tanto en duración y magnitud son también incluidas en variaciones de corta duración.

1.7.3.1 INTERRUPCIONES.

Una interrupción ocurre cuando el voltaje de suministro o la corriente de carga decrece a menos del 0.1 p.u. por un período de tiempo que no exceda 1 minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas en equipos y controles defectuosos. Las interrupciones son medidas por su duración debido a que la magnitud del voltaje es siempre menor que el 10 % del valor nominal. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema es determinado por los dispositivos de protección utilizados y el evento en particular que está causando la falla. La duración de una interrupción debido a mal funcionamiento de equipo o pérdida de conexión puede ser irregular.

Algunas interrupciones pueden ser precedidas por un sag de voltaje cuando estas son originadas por fallas en la fuente de alimentación del sistema. El sag de voltaje ocurre entre el tiempo en que la falla inicia y el dispositivo de protección actúa. En el alimentador, en condición de falla, las cargas experimentarán un sag de voltaje, seguida inmediatamente por una interrupción. La duración de la interrupción dependerá de la capacidad de reconexión del dispositivo protector. Los cierres instantáneos generalmente

limitarán la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. El retardo en el cierre del dispositivo protector puede causar una interrupción momentánea o temporal.

En la figura 1.4 se muestra una interrupción momentánea, donde se puede notar que el voltaje no cae instantáneamente a cero a causa de la interrupción del voltaje de suministro. Este voltaje residual puede ser debido a la fem residual en el circuito donde se presenta la falla.

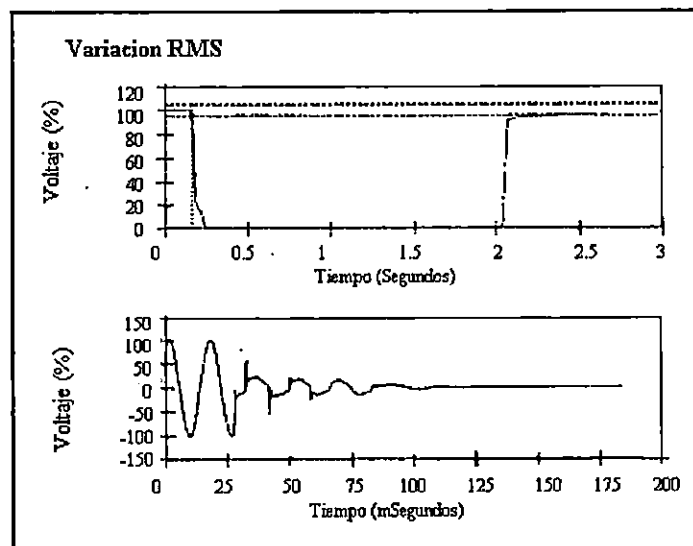


Figura 1.4

1.7.3.2 SAGS.

Un sag es un decremento en el voltaje o corriente RMS a la frecuencia del sistema con duraciones desde 0.5 ciclos a 1 minuto. Los valores típicos se encuentran entre 0.1 p.u. y 0.9 p.u.

La terminología usada para describir la magnitud de un sag de voltaje es a menudo confusa. Un sag de 20 % se puede referir a un sag que resulta en un voltaje de 0.8 p.u. ó 0.2 p.u. Para evitar confusiones se usará el voltaje remanente. Así un sag del 80 % se refiere a un disturbio del cual resultó en un voltaje de 0.8 p.u. Cuando sea posible, también se debe especificar el nivel de voltaje nominal y de base.

Los sags de voltaje están usualmente asociados con fallas en los sistemas y las fallas de línea-tierra (SLGF), son la causa más común de un sag de voltaje en una planta industrial [5]. Además éstos pueden ser causados por conmutación de cargas pesadas o el arranque

de grandes motores. En la figura 1.5 se muestra un sag de voltaje típico que puede ser asociado con una falla línea a tierra. Los tiempos típicos de limpieza de este tipo de falla varía desde los tres a treinta ciclos, dependiendo de la magnitud de la corriente de falla y del tipo de detección de sobrecorriente e interrupción.

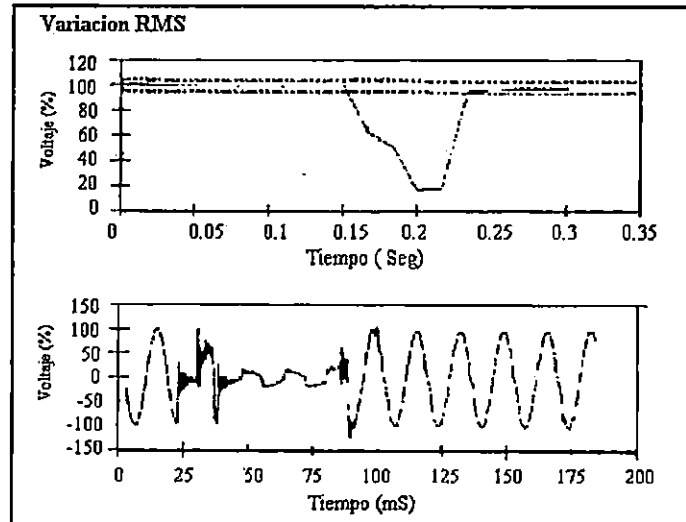


Figura 1.5

Los sags de voltaje pueden también ser causados por cambios de cargas grandes o el arranque de motores, aunque estos últimos tienen una duración típica de alrededor de 30 ciclos, y la magnitud de voltaje asociada no es de mucha importancia, a pesar de que un motor de inducción tomará de 6 a 10 veces su corriente de plena carga durante el arranque. Esta corriente causa una caída de voltaje a través de la impedancia del sistema. Si la magnitud de la corriente es grande en comparación con la corriente de falla disponible del sistema, el voltaje resultante puede ser significativo. En la figura 1.6 se muestra el efecto del arranque de un motor grande.

El término sag ha sido usado por la comunidad Power Quality por muchos años para describir un tipo de disturbio específico: un decremento en el voltaje de corta duración. La definición según IEC para este fenómeno es Dip. Los dos términos son considerados intercambiables, con una mayor aceptación de parte de comunidad Power Quality internacional para sag. La duración de un sag se divide en 3 categorías:

- instantáneos
- momentáneos
- temporales.

Estas tres categorías coinciden con las tres categorías de interrupciones y swells. Esta duración trata de coincidir con los tiempos de operación de los dispositivos de protección, así como a las divisiones de duración recomendadas por organizaciones técnicas internacionales.

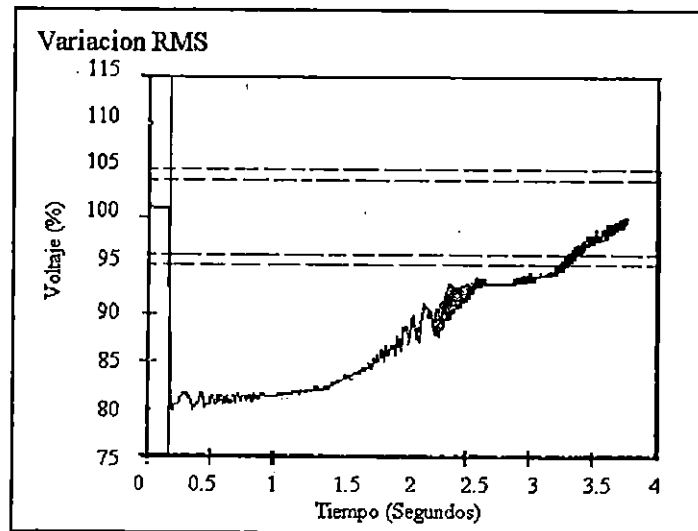


Figura 1.6

1.7.3.3 SWELLS.

Un swell se define como un incremento en el voltaje o corriente RMS a la frecuencia del sistema con una duración desde 0.5 ciclos hasta 1 minuto. Su magnitud típica varía entre 1.1 p.u. y 1.8 p.u. La magnitud de swell es descrita también por el voltaje remanente, en este caso, siempre mayor que 1.0 p.u.

Como sucede con los sags, los swells están asociados típicamente con condiciones de falla del sistema, pero son mucho menos comunes que un sag de voltaje. Un swell puede ocurrir debido a una sola falla de línea a tierra en el sistema, resultando en un rizado temporal en las fases que no están en falla. También pueden ser causados por la conmutación de una carga grande o de un banco de capacitores grande. En la figura 1.7 se ilustra un swell causado por una falla de línea a tierra.

Los swells son caracterizados por su magnitud (valor RMS) y duración. La severidad de un swell de voltaje durante una condición de falla es una función de la localización de la falla, la impedancia del sistema y de la red de tierra. Cerca de una subestación, en un sistema aterrizado, no habrá rizado de voltaje en las fases bajo condición de falla, debido a que los transformadores de la subestación usualmente están conectados en delta-

estrella, lo cual provee una trayectoria de baja impedancia se secuencia para la corriente de falla.

1.7.4 VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN.

Las variaciones de larga duración comprenden desviaciones RMS a la frecuencia del sistema que sean mas grandes de 1 minuto.

La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias de voltaje de estado estable esperados en un sistema de potencia. Estas magnitudes se reflejan en la tabla 1.2 . Las variaciones de larga duración se consideran que están presentes cuando los límites especificados por ANSI son excedidos para tiempos mayores que 1 minuto.

Las variaciones de larga duración pueden ser de dos tipos:

- Sobrevoltaje
- Bajovoltaje.

Estos dos tipos de fenómenos no son causados, generalmente, por fallas en el sistema. Su causa son las variaciones de carga en el sistema y operaciones de conmutación en el mismo. Estas variaciones están caracterizadas por gráficos de voltaje RMS vrs. Tiempo.

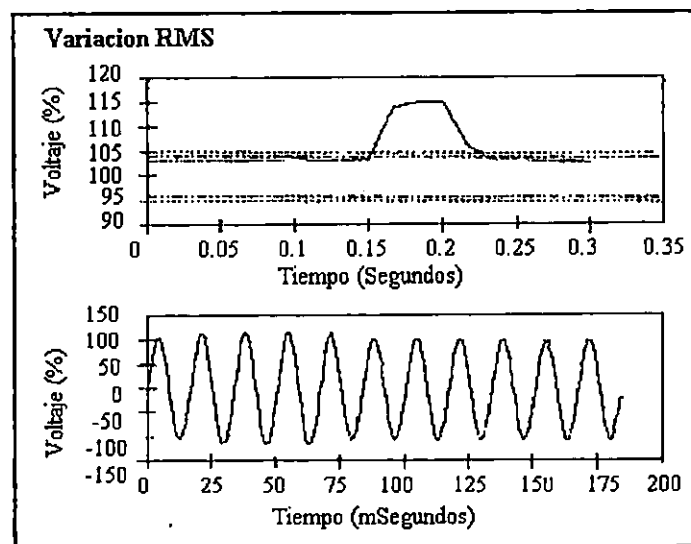


Figura 1.7

1.7.4.1 SOBREVOLTAJES.

Un sobrevoltaje es un incremento en el voltaje RMS a la frecuencia del sistema, para una

duración mayor que 1 minuto. Sus valores típicos son de 1.1 p.u. a 1.2 p.u.

Los sobrevoltajes pueden ser el resultado de la conmutación de cargas o debido a variaciones en la compensación reactiva del sistema (conmutación en un banco de capacitores). Capacidades pobres de regulación o control en el sistema de voltaje pueden también resultar en sobrevoltajes en el sistema.

1.7.4.2 BAJOVOLTAJES.

Un Bajovoltaje es un decremento en el voltaje RMS a la frecuencia del sistema, para una duración mayor que 1 minuto. Su valor típico es de menos del 0.9 p.u.

Los bajovoltajes son el resultado de eventos que son opuestos a los que causan los sobrevoltaje. Una conmutación de cargas para conexión o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar un Bajovoltaje, hasta que el equipo de regulación de voltaje en el sistema puede hacer volver el voltaje dentro de la tolerancia permitida. Circuitos sobrecargados pueden resultar también en un Bajovoltaje.

1.7.4.3 INTERRUPCIONES SOSTENIDAS.

El decremento hasta cero del voltaje de suministro por un periodo de tiempo que exceda un minuto, es considerado como una interrupción sostenida. Este tipo de interrupción son a menudo por naturaleza permanentes y requiere de una intervención manual para su restauración

1.7.5 DESBALANCE DE VOLTAJE.

Se define como la razón de la componente negativa o de secuencia cero, a la componente de secuencia positiva. Los voltajes negativos o de secuencia cero en un sistema de potencia generalmente resultan de cargas desbalanceadas, causando el flujo de corrientes negativas o de secuencia cero. El desbalance se puede estimar como la máxima desviación del promedio de los voltajes o corrientes de las tres fases, expresado como un porcentaje. En forma de ecuación tenemos:

$$\text{desbalance de voltaje} = \frac{\text{max ima desviacion del voltaje promedio}}{\text{voltaje promedio}} \times 100$$

La fuente primaria de los desbalance de voltaje menores del 2 % se deben a cargas monofásicas desbalanceadas en un circuito trifásico. También este tipo de fenómenos pueden ser el resultado de anomalías en bancos de capacitores, tales como la ruptura de un fusible en un banco monofásico o trifásico. Desbalances severos (mayores del 5 %) pueden resultar de condiciones monofásicas.

1.7.6 DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA.

Se define como una desviación de estado estable, de la forma de onda senoidal ideal, caracterizada principalmente por el contenido espectral de la desviación.

Existen cinco tipos primarios de distorsión de forma de onda

- Offset DC.
- Armónicos.
- Interarmónicos.
- Conmutación escalonada (notching).
- Ruido.

1.7.6.1 OFFSET DC.

La presencia de un voltaje o corriente DC en un sistema de potencia AC se conoce como offset de DC. Estos fenómenos pueden ocurrir como el resultado de disturbios geomagnéticos o por el efecto de la rectificación de media onda. Lámparas incandescentes de larga vida, por ejemplo, pueden consistir de diodos que reducen el voltaje RMS aplicado a la lámpara por medio de la rectificación de media onda. Las corrientes directas en redes de corriente alterna pueden ser dañinas debido a un incremento en la saturación del transformador, esfuerzos adicionales en el aislamiento y otros efectos adversos.

1.7.6.2 ARMÓNICOS.

Los armónicos son voltajes o corriente senoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de suministro está diseñado para operar (frecuencia fundamental, usualmente 50 o 60 Hz). Los armónicos combinados con el voltaje o corriente fundamental producen distorsión de forma de onda. La distorsión armónica existe debido a las características no lineales de los dispositivos y cargas en los sistemas de potencia.

Estos dispositivos pueden ser usualmente modelados como fuentes de corriente que inyectan corrientes armónicas al sistema. La distorsión del voltaje ocurre debido a que estas corrientes causan caídas no lineales a través de la impedancia del sistema. La distorsión armónica tiene un interés creciente, tanto para clientes como para el conjunto de sistemas de potencia, debido al incremento en las aplicaciones de equipos electrónicos de potencia.

Los niveles de distorsión armónica pueden ser completamente caracterizados por el espectro armónico completo, con la magnitud y el ángulo de cada componente armónica individual. También es común usar una sola cantidad, la Distorsión Armónica Total, (T.H.D) como una medida de la magnitud de la distorsión armónica.

Las corrientes armónicas resultan de la operación normal de dispositivos no lineales en

los sistemas de potencia. Los niveles de distorsión de corriente pueden ser caracterizados por la distorsión armónica total, como se describió anteriormente pero esto puede ser a menudo engañoso. Por ejemplo, muchos controladores ajustables de velocidad, tendrán un valor de Distorsión Armónica Total grande para la corriente de entrada cuando esté operando con cargas muy grandes. Esto no es de mucho interés, debido a que la magnitud de la corriente armónica es pequeña, aún cuando su distorsión relativa sea grande.

1.7.6.3 INTERARMONICOS.

Los voltajes o corrientes que tienen componentes de voltaje que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema está diseñado para operar (50 o 60 Hz) son llamados interarmónicos. Estos pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda amplia.

Los interarmónicos pueden ser encontrados en redes de todas las clases de voltaje. La fuente principal de este tipo de fenómenos son los convertidores de frecuencia estáticos, convertidores de ciclo, motores de inducción y dispositivos de arco. Las señales portadoras en líneas de potencia pueden ser consideradas como interarmónicos. Los efectos de los interarmónicos no están muy bien conocidos, pero han mostrado afectar las señales portadoras en líneas de potencia, además de inducir flicker en pantallas de dispositivos tales como los CRT³.

1.7.6.4 NOTCHING

El notching (escalonamiento conmutado) es una distorsión periódica de voltaje causada por la operación normal de dispositivos electrónicos de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

El escalonamiento de voltaje representa un caso especial que podría ubicarse entre distorsión armónica y transitoria. Debido a que el escalonamiento conmutado ocurre continuamente (estado estable), este puede ser caracterizado por medio del espectro armónico del voltaje afectado. Sin embargo, las componentes de frecuencia asociadas con el escalonamiento pueden ser altas y pueden no ser realmente caracterizadas con equipo de medición normalmente usado para el análisis de armónicos.

Los convertidores trifásicos que producen corriente continua son la causa mas importante del escalonamiento de voltaje. Los escalonamientos ocurren cuando la corriente conmuta de una fase a otra. Durante este período, existe un cortocircuito momentáneo entre las dos fases. La severidad del escalonamiento en cualquier punto del sistema está determinado por la inductancia de la fuente de suministro, y por la inductancia de aislamiento entre el convertidor y el punto que está siendo monitoreado. El Notching es descrito con detalle en IEEE 519-1992 y en la figura 1.9 se muestra un ejemplo de un escalonamiento de voltaje causado por la operación de un convertidor.

³ Cathode-ray tube

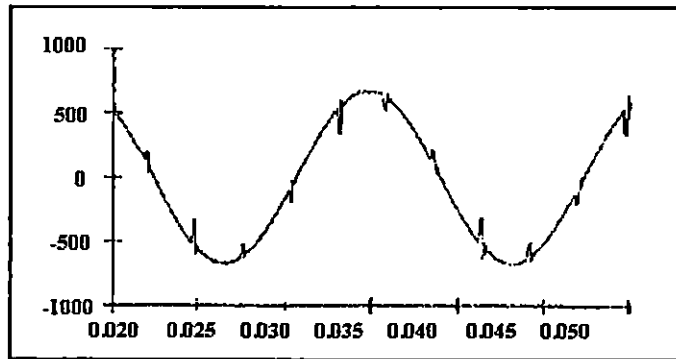


Figura 1.9

1.7.6.5 RUIDO.

El ruido (noise) se define como una señal eléctrica indeseada con un ancho contenido espectral, menor que 200 KHz, superpuesta sobre el voltaje del sistema de potencia o corriente, en los conductores de las fases, o encontradas en conductores neutro o líneas de señales.

El ruido en los sistemas de potencia puede ser causado por dispositivos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipo de soldadura, cargas con rectificadores de estado estable y por conmutaciones. Los problemas de ruido son a menudo originados por un sistema de tierra deficiente. Básicamente, el ruido consiste entonces en cualquier distorsión indeseada de la señal de potencia que no puede ser clasificada como distorsión armónica o transitorio.

El rango de frecuencias y los niveles de magnitud dependen de la fuente que produce el ruido y las características del sistema. Una magnitud típica del ruido es de menos del 1% de la magnitud de voltaje. El ruido influye grandemente en dispositivos electrónicos tales como microcomputadoras y controladores programables. El problema puede ser mitigado con filtros, transformadores de aislamiento, y algunos acondicionamientos de líneas.

1.7.7 FLUCTUACIONES DE VOLTAJE

Estas son variaciones sistemáticas de la envolvente de voltaje de una serie de cambios aleatorios del mismo, la magnitud de tales variaciones normalmente no exceden el rango de voltajes especificados por ANSI C84.1 de 0.95 p.u. hasta 1.05 p.u.

Cualquier carga que tenga variaciones significantes en el tiempo, especialmente en la componente reactiva, puede causar fluctuaciones de voltaje. Cargas que exhiben variaciones rápidas y continuas en la magnitud de la corriente de carga pueden causar variaciones de voltaje, erróneamente referidas como flicker. El término flicker se refiere al impacto de una fluctuación de voltaje sobre la intensidad de iluminación. Las

fluctuaciones de voltaje son un fenómeno electromagnético y el flicker es un resultado indeseable de este fenómeno.

Una causa común de las fluctuaciones de voltaje son los hornos Arc, tanto en los sistemas de distribución como en los de transmisión. La señal de voltaje es definida por esta magnitud rms expresada como un porcentaje de la señal fundamental. El flicker es medido con respecto a la sensibilidad del ojo humano.

Las fluctuaciones de voltaje generalmente aparecen como una modulación de la frecuencia fundamental, por lo tanto, es fácil definir una magnitud para la fluctuación de voltaje como la magnitud rms de la señal de modulación. Esta puede ser obtenida por la demodulación de la forma de onda, para remover la frecuencia fundamental y poder así medir la magnitud de las componentes de modulación. Típicamente, magnitudes pequeñas como 0.5 % pueden resultar en un flicker perceptible, si la frecuencia está en el rango de 6-8 Hz.

1.7.8 VARIACIONES EN LA FRECUENCIA DEL SISTEMA

Se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de potencia de su valor nominal especificado.

La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores del sistema. En cualquier instante, la frecuencia depende del balance entre la carga y la capacidad de la generación disponible. Cuando este balance dinámico cambia, ocurren pequeños cambios en la frecuencia. El tamaño del cambio de frecuencia y su duración, dependen de las características de carga y de la respuesta del sistema de generación a los cambios de carga. Las variaciones de frecuencia que están afuera de los límites aceptados para una operación normal de estado estable del sistema de potencia, son normalmente causadas por fallas en el sistema de transmisión, por la desconexión de un largo trayecto de cargas o por una gran fuente de generación que se está desconectando del sistema.

Las variaciones de frecuencia que afectan la operación de máquinas rotatorias, o procesos que derivan su sincronización del sistema de potencia (relojes) son raros en los sistemas de potencia modernos interconectados. Las variaciones en la frecuencia están mucho más propensas a ocurrir, cuando tal equipo está siendo alimentado por un generador aislado del sistema. En tales casos, la respuesta de la máquina gobernadora a los cambios abruptos en las cargas pueden ser no adecuados para la regulación dentro del estrecho ancho de banda requerido por el equipo sensible a la frecuencia. Los escalonamientos de voltaje pueden a veces causar errores en la frecuencia o sincronizado en máquinas electrónicas de potencia, las cuales cuentan con cero cruces para la frecuencia o sincronizado, por lo tanto estos producen cruces por cero adicionales los cuales pueden producir errores en la frecuencia o sincronizado.

CONCLUSIONES DEL CAPITULO I

- Los disturbios electromagnéticos se clasifican atendiendo múltiples criterios, sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad de los equipos, los criterios más importantes son de acuerdo a su magnitud y duración, ya que de esto depende la evaluación que se pueda hacer sobre los efectos que causan cada uno de los distintos disturbios en las cargas.
- El sag resulta ser la perturbación más importante por ser la más común y nociva para los equipos en el suministro de energía eléctrica.
- El aumento de equipos electrónicos de potencia de estado sólido crea un aumento en los niveles permisibles de disturbios en los sistemas de potencia, además de aumentar la distorsión armónica en el voltaje debido a caídas de voltaje no senoidal en las líneas de distribución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- IEEE Standar Department, Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality P1159/D6, December 22, 1994
- [1] M. Brent Hughes & John S. Chan, Canadian National Power Quality Survey
- [2] M. Brent Hughes & Jonh S. Chan, IEEE Transactions on industry aplication, Vol. 29 No 6 November/December 1993.
- [3] IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.
- [4] Erich W. Gunther & James L.Thompson,Monitoring Power Quality levels on Distribution Systems.
- [5] Mark F. McGranaghan & Mark J. Samotyj Voltage Sags in Industrial Systems, IEEE transaction on industry aplication
- [6] IEEE spectrum May 1997 Vol. 37

CAPITULO II

MONITOREO E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

INTRODUCCIÓN

Una vez se han establecido las perturbaciones que se desean medir, es el momento de crear el prototipo de laboratorio del analizador de perturbaciones eléctricas, este instrumento debe cumplir con los estándares de otros instrumentos existentes en el mercado y de las normas IEEE.

2.1 OBJETIVOS DEL MONITOREO

El monitoreo de Power Quality es necesario para caracterizar fenómenos electromagnéticos en una localidad particular de un circuito eléctrico de potencia. En algunos de los casos, el objetivo del monitoreo es diagnosticar incompatibilidades entre la fuente de suministro y la carga. En otros, es evaluar el ambiente eléctrico de una localidad o región geográfica en particular para redefinir técnicas de simulación o para desarrollar una línea base de Power Quality. En cualquiera de los eventos, la tarea mas importante en cualquier proyecto de monitoreo, es definir claramente los objetivos del mismo.

Los objetivos del monitoreo en un proyecto en particular, determinarán la selección del equipo de monitoreo, el método de recolección de datos, el umbral de disparo, la técnica de análisis de datos a usar y el nivel de esfuerzo requerido por el proyecto.

El procedimiento para determinar los objetivos del monitoreo difiere según el tipo de estudio, sin embargo, un monitoreo evaluativo o correctivo siempre necesita de la recolección de muchos parámetros de voltaje y corriente para poder caracterizar el nivel de Power Quality existente.

Algunos de los objetivos mas importantes de un programa de monitoreo son:

- Informar al usuario de las causas mas comunes de los disturbios en el sistema de potencia del cual hace uso.
- Preparar información Power Quality para el usuario.
- Generar perfiles de voltaje para un sitio en particular que incluyan la magnitud y duración de los disturbios presentes.
- Obtener un indicador del nivel de Power Quality presente en un sitio o región geográfica en particular.
- Colectar información de Power Quality para determinar las necesidades inmediatas del

sistema de potencia.

2.2 REQUISITOS PARA EL MONITOREO DE POWER QUALITY

Existen muchas razones importantes para el monitoreo de Power Quality. La razón principal es económica, particularmente si procesos con cargas críticas están siendo afectadas por fenómenos electromagnéticos. El efecto sobre equipos y procesos pueden incluir pérdida de operación, daños, procesos disruptivos y otras anomalías. Todos estos efectos son costosos debido a que una operación es interrumpida inesperadamente y deberá ser restablecida para poder continuar la producción. Además, el costo de la reparación de daños a equipos es grande, además de la pérdida de tiempo que ello implica.

Por otra parte, para resolver todos estos problemas, una base de datos de la tolerancia de los equipos y su sensibilidad puede desarrollarse a partir de los datos tomados del monitoreo. Dicha base de datos puede proveer una base para desarrollar especificaciones de compatibilidad de equipos o una línea guía para futuras expansiones de equipos. Además una base de datos de las causas para el almacenamiento de disturbios puede ser usado para hacer mejoras al sistema. Finalmente, problemas de compatibilidad pueden crear protecciones peligrosas como producto de la pérdida de operación de equipo o fallas.

Los problemas referidos a la pérdida de operación de equipo solo pueden ser accesados por medio de un reporte al usuario. Esto describe de una manera fácil el evento: qué equipo fue afectado, como fue éste afectado y en qué pérdidas se incurrió.

2.3 CATEGORÍA DE LAS VARIACIONES POWER QUALITY.

Como se mencionó anteriormente, el término Power Quality se refiere a una amplia variedad de parámetros diferentes, los cuales caracterizan voltaje y corriente en un tiempo dado y en un punto específico del sistema de potencia en particular. Es importante tener claro entendimiento de estos parámetros y en las variaciones que pueden causar. Se requiere desarrollar un método para clasificar los problemas y por lo tanto poder comparar y analizar condiciones en sitios diferentes.

Hay un número importante de factores que es necesario sean considerados cuando se desarrollan las categorías, estas incluyen:

- Las características de las variaciones Power Quality.

Las características importantes incluyen la magnitud, contenido de frecuencia y duración. Alguna combinación de estas características pueden ser usadas para describir virtualmente cualquier variación Power Quality.

- Las causas de las variaciones Power Quality.

La condición puede ser causada por un evento de conmutación, condiciones atmosféricas, una falla del sistema o la operación del equipo del usuario. Es importante considerar las posibles causas de las variaciones Power Quality en cada categoría.

- Requerimientos para la medición.

Algunos tipos de variación Power Quality pueden ser caracterizados con un simple voltímetro o amperímetro. Otras condiciones requieren monitores de disturbios de propósito especial o analizadores armónicos. Las características de las variaciones Power Quality en cada categoría determinan los requerimientos para el monitoreo de las variaciones.

- Métodos para mejorar la Power Quality.

Las soluciones a problemas Power Quality dependen del tipo de variaciones involucradas. Disturbios transitorios pueden ser controlados con surge arresters, mientras que las interrupciones momentáneas requieren de un sistema UPS para la protección del equipo. La distorsión armónica puede requerir filtros armónicos de propósito especial.

- Estándares y terminología Power Quality existentes.

Existe terminología que se ha convertido en estándar para describir muchos tipos de variaciones Power Quality. Dicha terminología ha resultado de las definiciones usadas para describir la Power Quality por fabricantes de equipos de monitoreo reconocidos y del desarrollo de estándares para algunos aspectos de Power Quality.

2.4 TOLERANCIAS DE EQUIPOS Y LOS EFECTOS DE LOS DISTURBIOS EN ELLOS

La tolerancia de varios equipos es necesario que sea considerada en el monitoreo de Power Quality. Un tipo específico de equipo puede ser sensible a una condición de sobrevoltaje o bajovoltaje. El monitoreo de Power Quality debería procurar caracterizar equipos de procesos individuales, por medio de reportes de los resultados monitoreados en el equipo reportado como problemático. Esta caracterización de las cargas individuales mostrarán cual equipo necesita protección y el nivel requerido de la misma.

2.4.1 TIPOS DE EQUIPOS

Si bien puede haber una gran variedad de respuestas de tipos específicos de equipos, manufacturados por diferentes compañías, pueden haber alguna similitud en la respuesta de cierto tipo de equipo a un parámetro específico de algún disturbio. En cualquier caso, es importante considerar ciertos tipos de equipos específicos o grupos de ellos en

términos de su inmunidad a los disturbios de Power Quality.

En el mercado existen actualmente una gran variedad de monitores de Power Quality manufacturados por diferentes fabricantes, siendo uno de los más reconocidos los Basic Measuring Instruments (BMI) que comprende las siguientes categorías:

- Sistemas de monitoreo de potencia.

Ejemplos: Model 7100, 8010 PQNode, 8020 PQNodePlus.

- Monitores trifásicos portables.

Ejemplos: 8800 PowerScope, 3030A PowerProfiler, 355 Harmonics Analyzer.

- Monitores portables monofásico.

Ejemplos: 130PQSentry, 1000G Powervisa, 155 Harmonics Meter, 120 PowerSpy.

Los monitores mencionados anteriormente son de propósito específico, por lo que su adquisición y mantenimiento resulta caro. Existe una alternativa más económica conocida como instrumentación virtual, la cual se describe a continuación.

2.5 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

A partir de 1990 dio inicio el desarrollo de una nueva generación de monitores de potencia: los monitores portables de sistemas de potencia. Esta nueva tecnología está basada en instrumentos virtuales (VI⁴), una alternativa poco explorada en nuestro medio, es una área relativamente nueva que cuenta con poco trabajo de investigación y aplicaciones.

Un VI está constituido por elementos que simulan ser un dispositivo físico como perillas, botones, pantallas gráficas, indicadores, etc. Cuyas características se determinan por medio de software. La otra parte la constituyen elementos de hardware como tarjeta de adquisición de datos y acondicionamiento de las señales a monitorear.

Algunas de las ventajas de los instrumentos virtuales respecto a los instrumentos tradicionales se muestran en la tabla 2.1

2.6 EFECTOS EN LOS EQUIPOS DEPENDIENDO DEL TIPO DE FENÓMENO

Anteriormente se describieron cada uno de los fenómenos electromagnéticos, cada uno de ellos tiene un efecto particular sobre un equipo en particular. A continuación se describen los efectos de algunos fenómenos en la operación de varios tipos de equipos.

⁴ Virtual Instrument

Instrumentos tradicionales	Instrumentos virtuales
Lo define el fabricante	El usuario lo define de acuerdo a sus necesidades
Realizan una función específica, independiente y con conectividad limitada.	Está orientado a sistemas, con conectividad a redes, puertos, periféricos, etc.
La efectividad del Hardware es la clave	La habilidad del programador es la clave
Costo elevado	Bajo costo
Mayores recursos para su desarrollo	Recursos mínimos para su desarrollo

Tabla 2.1. Ventajas de los VI respecto a los instrumentos tradicionales.

2.6.1 TRANSITORIOS

Los voltajes transitorios causados por relámpagos o por operaciones de conmutación pueden resultar en una degradación de las características dieléctricas de todos los equipos. Grandes magnitudes y un rápido tiempo de rizado pueden contribuir a una ruptura del aislamiento en el equipo eléctrico como máquinas rotatorias, transformadores, capacitores, cables, etc. La repetición continua de pequeñas magnitudes de transitorios a estos equipos causa una lenta degradación y un falla eventual del aislamiento, decreciendo el tiempo de falla del equipo entre degradaciones (MTBF⁵). En equipo electrónico, la degradación de los componentes de la fuente de suministro pueden resultar en un solo transitorio de una magnitud relativamente modesta.

2.6.2 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN

El principal problema asociado con los sags y swell es la pérdida de energía en el equipo es decir, la interrupción. En muchas industrias con cargas de procesos críticos al ocurrir una perturbación de corta duración, esta puede causar una interrupción del proceso requiriendo horas para su restauración. El monitoreo en este caso es importante porque a menudo es difícil determinar, a partir de los efectos observables en el equipo del usuario, cual fenómeno electromagnético causa la perturbación.

2.6.3 INTERRUPCIONES

Los equipos electrónicos incluyen controladores de poder y controladores electrónicos, computadoras, y el control electrónico para máquinas rotatorias. Las interrupciones

⁵ Mean time between failures

momentáneas y temporales casi siempre causarán la pérdida de operación del equipo y pueden causar la desconexión de contactores de motores de inducción. En cualquier caso, las interrupciones pueden dañar el encendido suave del equipo electrónico.

2.6.4 SAGS

Los sags de corta duración, en particular, causan numerosos procesos disruptivos. A menudo el sag es monitoreado por controladores de procesos electrónicos equipados con circuitería para detección de fallas, las cuales inician la pérdida de otras cargas menos sensitivas. Una solución común a este problema es proporcionar un controlador electrónico con un transformador de voltaje constante, u otro dispositivo mitigante, que proporcione el voltaje adecuado al controlador durante el sag. Dispositivos con resguardo de energía podrían no ser afectados por reducciones de corta duración del voltaje. Los sag de voltaje de línea afectan el funcionamiento del equipo en sistemas comerciales industriales como contactores y relés electromagnéticos, lamparas de descarga de alta intensidad, accionamiento de motores y controladores lógicos programables.

2.6.5 SWELLS

Un incremento en el voltaje aplicado a un equipo por, encima de su valor nominal, puede causar daño en los componentes dependiendo de la frecuencia a la que ocurren. En algunos relés este aumento de voltaje puede causar una operación indeseada mientras otros pueden no ser afectados.

2.6.6 VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN

Las variaciones en el voltaje de suministro mayores que un minuto, pueden causar problemas en el equipo. Pueden ocurrir problemas de sobrevoltaje y de bajovoltaje, en alimentadores sobrecargados, conexión de transformadores en taps incorrectos, y en el disparo de fusibles en bancos de transformadores.

2.6.7 INTERRUPCIONES SOSTENIDAS

El efecto de las interrupciones sostenidas es la pérdida de operación de los equipos, excepto en aquellas cargas protegidas por sistemas de UPS⁶ o por otros dispositivos de almacenamiento de energía.

2.6.8 BAJOVOLTAJE

Niveles de voltaje por debajo de los niveles permisibles que excedan mas de un minuto pueden causar un mal funcionamiento del equipo. Los controladores de motores pueden desconectar durante este período. Equipos tales como computadoras y controladores electrónicos pueden dejar de operar durante esta condición, luces indicadoras pueden dejar de funcionar.

⁶ Uninterruptible power supply

2.6.9 SOBREVOLTAJE

Los sobrevoltajes pueden causar daños en los equipos, durante esta condición los dispositivos electrónicos pueden experimentar fallas. Sin embargo, transformadores, cables, buces, y maquinaria rotatoria no muestran generalmente un daño inmediato.

2.6.10 DESBALANCE DE VOLTAJE

Generalmente estos fenómenos se presentan por cargas desbalanceadas en las fases de un sistema, especialmente donde grandes cargas de una sola fase son usadas. Los niveles deseados de desbalance son de menos del 1% de todos los niveles de voltaje, para reducir posibles efectos de calentamiento a bajos niveles.

2.6.11 DISTORSIONES DE FORMA DE ONDA

La inyección de corrientes armónicas desde cargas en el sistema de suministro usado puede causar una distorsión armónica del voltaje, lo cual puede generar recalentamiento de equipo rotatorio, transformadores y conductores portadores de corriente, y falla prematura en la operación de dispositivos protectores.

2.6.12 FLUCTUACIONES DE VOLTAJE

Las fluctuaciones de voltaje son mas a menudo manifestadas en la variación de la intensidad de iluminación de lamparas de descarga e incandescentes. Un voltaje que presente una repentina reducción en menos del $\frac{1}{2}$ % puede causar una reducción notable en la iluminación de lámparas incandescentes. Fluctuaciones de voltaje menores del 7% en magnitud tienen un pequeño efecto en otro tipo de cargas.

2.6.13 VARIACIONES EN LA FRECUENCIA DEL SISTEMA

Estas pueden causar severos daños en generadores y turbinas debido a los grandes torques desarrollados. Las variaciones en la frecuencias son mas comunes en sistemas de generación de naturaleza privada (plantas generadoras), y los problemas que se pueden presentar son errores en la frecuencia de sincronización de alimentadores que sirven a grandes cargas rectificadas. Mientras estos eventos son almacenados como errores por controladores electrónicos, la frecuencia fundamental no presenta cambios significativos.

CONCLUSIONES DEL CAPITULO II

- Como primer paso para la creación de un instrumento es necesario definir las categorías de los fenómenos a ser monitoreados.
- Una vez identificados los fenómenos a ser monitoreados queda por definir los algoritmos y procedimientos para su monitoreo.
- El instrumento debe cumplir con las normas establecidas por IEEE, la cual rige los estándares de otros equipos que realizan similares funciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .

- IEEE Standar Department, Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality P1159/D6, December 22, 1994
- IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.

CAPITULO III

INSTRUMENTACION VIRTUAL APLICADA EN LA MEDICION DE FENOMENOS POWER QUALITY

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explican los requerimientos de software y hardware del instrumento, así como de los algoritmos necesarios para la detección de los disturbios. Además también se presenta un prototipo de generador de perturbaciones eléctricas, el cual se implementó por la necesidad de tener una fuente de disturbios, ya que el origen de estos disturbios es aleatorio y por lo tanto no se sabe el momento en que ocurrirán.

3.1 DESARROLLO DE UNA APLICACION PARA LA DETECCIÓN DE PERTURBACIONES ELÉCTRICAS

3.1.1 OBJETIVOS:

- Desarrollar una aplicación en Visual C++ consistente en un analizador virtual de perturbaciones eléctricas.
- Desarrollar una interfaz amigable para el usuario, que permita la fácil interacción usuario-máquina.
- Desarrollar un algoritmo capaz de detectar, analizar y almacenar variaciones de voltaje en la red de distribución comercial de energía eléctrica.
- Generar un reporte de las diferentes perturbaciones encontradas durante el análisis de la red.
- Mostrar el gráfico de la señal durante las perturbaciones.
- Desarrollar una base de datos que almacene los registros provenientes del analizador de perturbaciones eléctricas para su posterior análisis estático.

3.1.2 FACTORES PRINCIPALES QUE INTERVIENEN

- Lenguaje de programación
- Capacidad de la computadora
- Complejidad del algoritmo
- Facilidad de acceder el hardware por medio del software

- Programación Orientada a Objetos (POO)
- Los programas C++ se ejecutan a velocidades próximas a sus equivalentes del lenguaje ensamblador
- Muy eficientes en memoria

El efecto de cada uno de estos factores involucra ciertas características como se detalla a continuación:

Capacidad de la computadora:

- Velocidad del Microprocesador
- Memoria RAM
- Espacio en disco
- Capacidad de almacenamiento en floppy

Complejidad del algoritmo

Está directamente relacionada con la cantidad de instrucciones, e incluye:

- Método de cálculo del voltaje RMS
- Clasificación detallada o general del tipo de perturbación
- Otros detalles del algoritmo
- Almacenamiento de datos para posterior reporte

Facilidad de acceder el hardware por medio del software.

Se refiere a la facilidad con que el lenguaje de programación pueda configurar todos sus recursos de hardware, de una manera rápida, eficiente y segura

3.1.3 VARIABLES INVOLUCRADAS.

Son muchas las variables que hay que considerar para la detección de disturbios eléctricos (clasificación, duración, fecha de ocurrencia, etc.) sin embargo la variable de mayor interés en este caso es el voltaje RMS.

Cálculo del Voltaje RMS (caso continuo)

$$V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt\right)}$$

Donde:

T: Es el período de la señal.

Cálculo de voltaje RMS (caso discreto)

La ecuación tradicional para calcular el valor RMS de datos discretos es la siguiente:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N V_n^2}{N}}$$

Donde:

N: número de muestras por ciclo

- Ventaja: menor cantidad de instrucciones
- Desventaja: mayor error porcentual

Cálculo de voltaje RMS por método numérico.

Existen alternativas para poder calcular los valores RMS de muestras provenientes de señales alternas. Una de ellas, la integral de Simpson, se presenta a continuación:

$$V_{rms} = \sum_{n=1}^N \left(\frac{h}{3} [v(n) + 4(V_n + 1) + (V_n + 2)] \right)$$

Donde:

N: número de muestras por ciclo

h: tiempo entre muestras

- Ventaja: menor error porcentual
- Desventaja: mayor cantidad de instrucciones

Otros detalles del algoritmo.

Ejemplo:

Tipo perturbación : Sag
Categoría : Momentáneo
Voltaje : 98.4 Vrms
Tiempo de duración : 560 mseg
Fecha en que ocurrió : 23/02/98
Hora en que ocurrió : 02:36:51 PM

3.2 ALMACENAMIENTO DE DATOS PARA POSTERIOR REPORTE

El almacenamiento de datos en un medio magnético, hace necesario la manipulación de ciertas variables que clasifiquen de alguna manera los fenómenos detectados durante el monitoreo. Tales variables incluyen la magnitud del fenómeno, su duración, la fecha en que ocurrió y su clasificación según los estándares existentes.

A continuación se presenta un diagrama de bloques para el almacenamiento de datos provenientes del monitoreo de un sitio en particular.

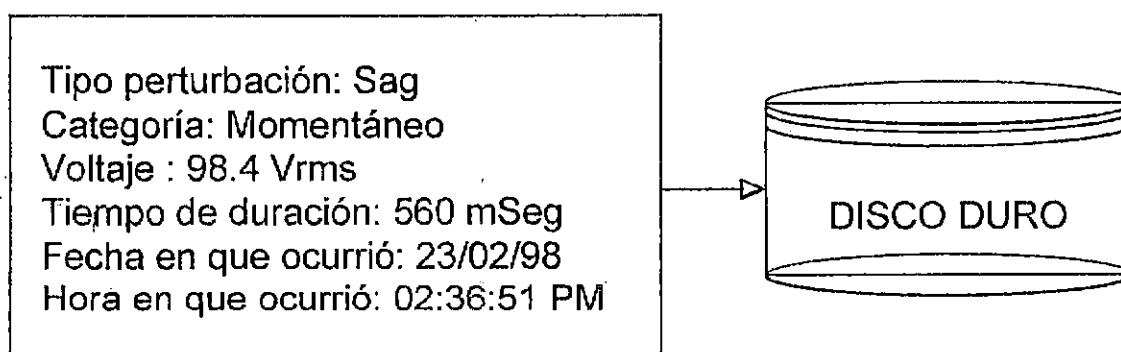


Fig. 3.1 almacenamiento de datos

3.3 PRESENTACION GRAFICA DE MODO CONTINUO.

A continuación se presenta el formato de presentación para el analizador de perturbaciones eléctricas, basado en la plataforma de programación Visual C++

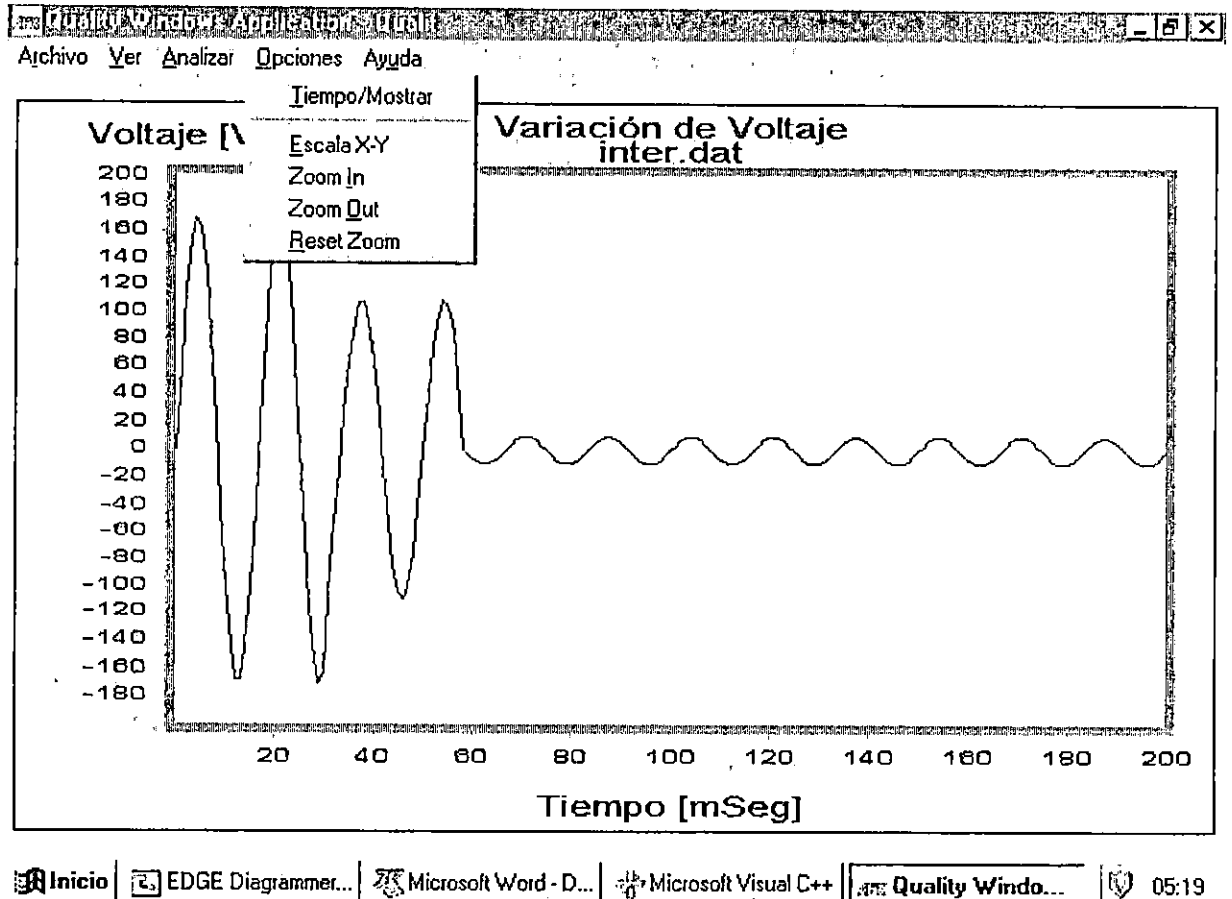


Fig. 3.2 presentación gráfica de los fenómenos monitoreados

3.4 DESARROLLO DEL ALGORITMO.

A continuación se presenta un flujograma simplificado del algoritmo usado para la detección de fenómenos Power Quality.

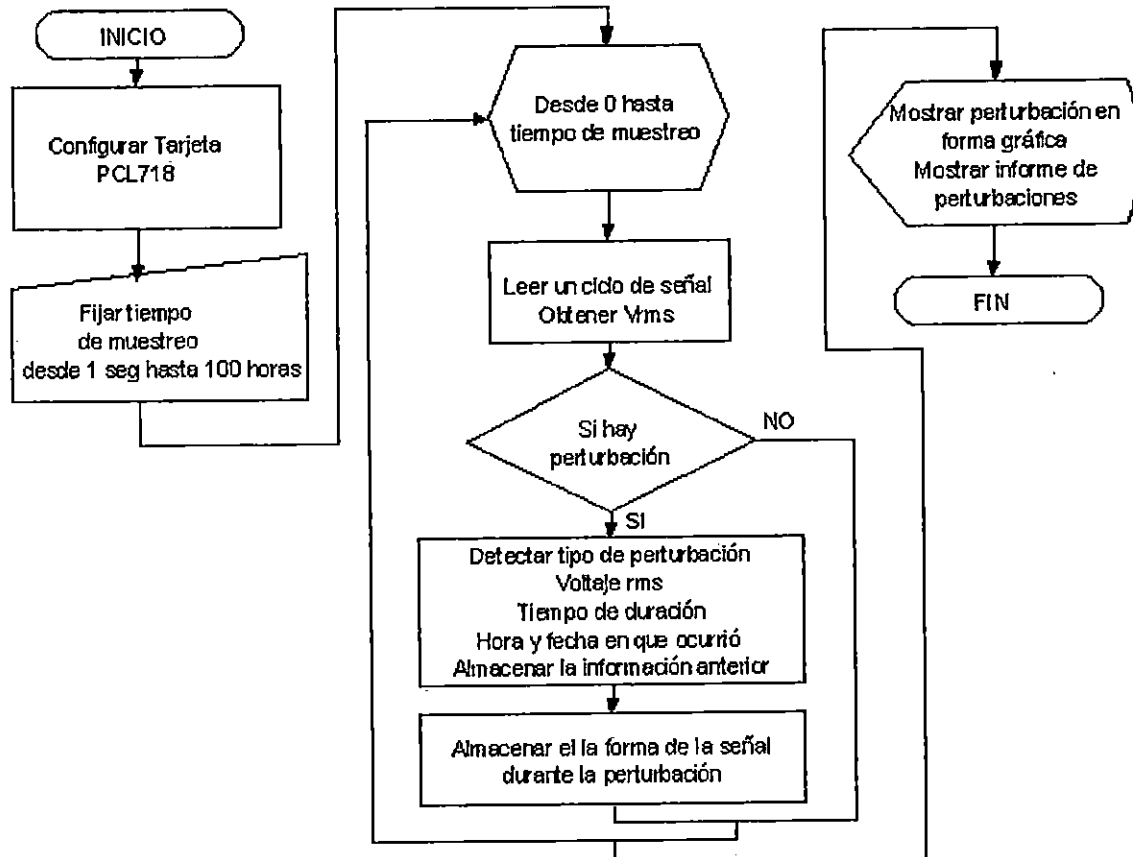


Fig. 3.3 flujograma del algoritmo usado en la detección de fenómenos Power Quality.

3.5 CIRCUITO SIMULADOR DE PERTURBACIONES ELÉCTRICAS DE CORTA DURACIÓN

3.5.1 OBJETIVOS.

- Simular algunos de los fenómenos que el algoritmo de detección de perturbaciones eléctricas puede analizar
- Proporcionar un control sobre algunas características de estos fenómenos

3.5.2 CARACTERISTICAS GENERALES

- Alimentación de +5, +12 y -12 voltios
- Genera perturbaciones sag, swell e interrupciones cortas
- Control de tiempo de perturbaciones hasta 256 ciclos (4.27 segundos)

3.5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SIMULADOR DE PERTURBACIONES SAG Y SWELL.

En la figura 3.4 se muestra el diagrama en bloques del circuito simulador de perturbaciones eléctricas categorías sag y swell.

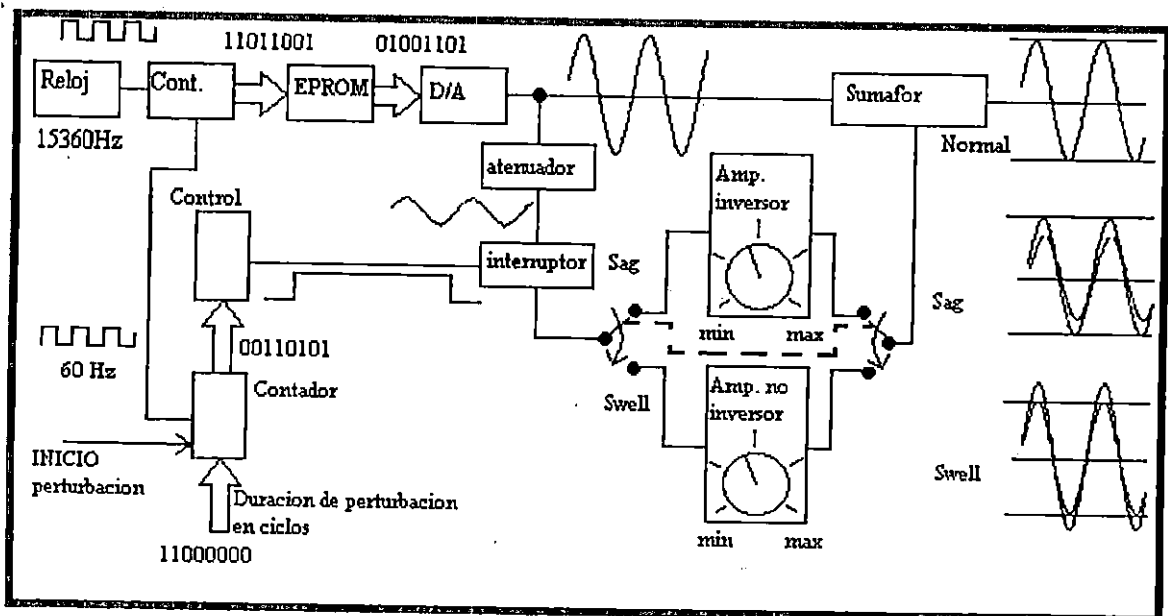


Fig. 3.4 diagrama de bloques del simulador de perturbaciones

3.5.4 DIAGRAMA DE TIEMPOS.

En la figura 3.5 se presenta el diagrama de tiempo para las salidas y entradas del simulador de perturbaciones eléctricas.

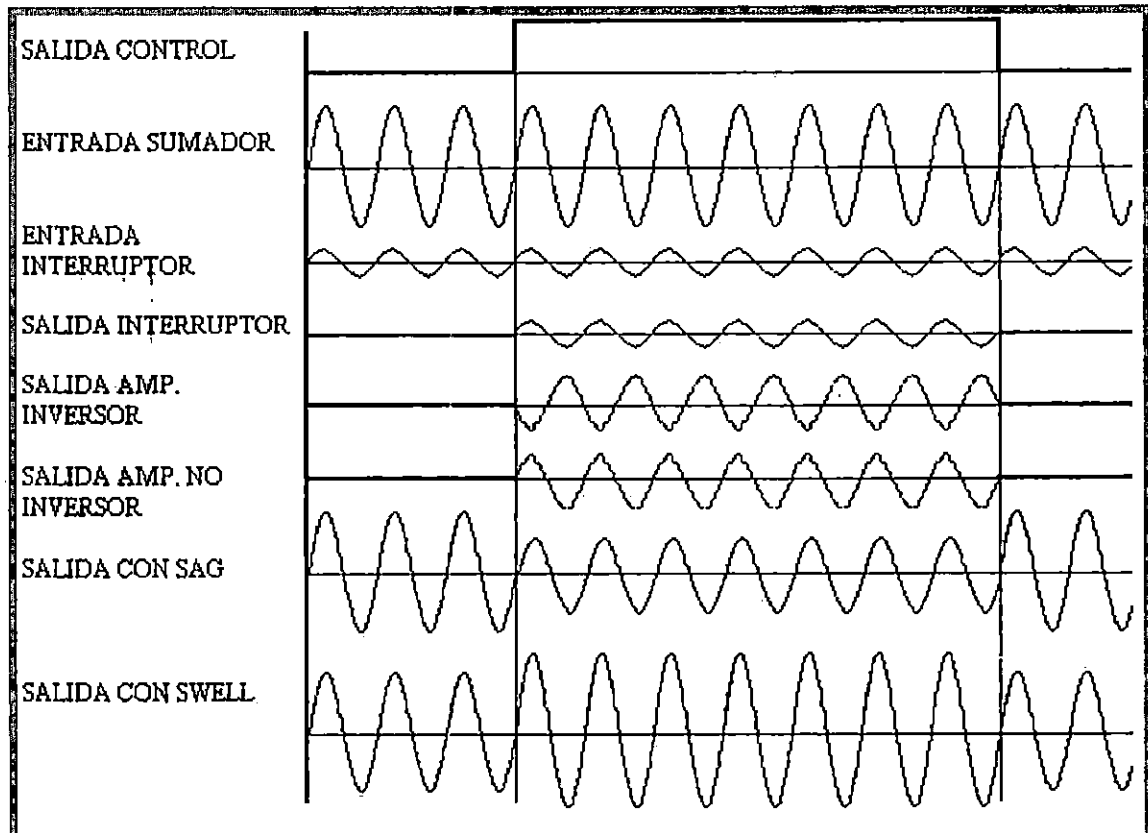


Fig. 3.5 diagrama de tiempo del simulador

3.5.5 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL SIMULADOR DE PERTURBACIONES: SAG, SWELL E INTERRUPCIONES.

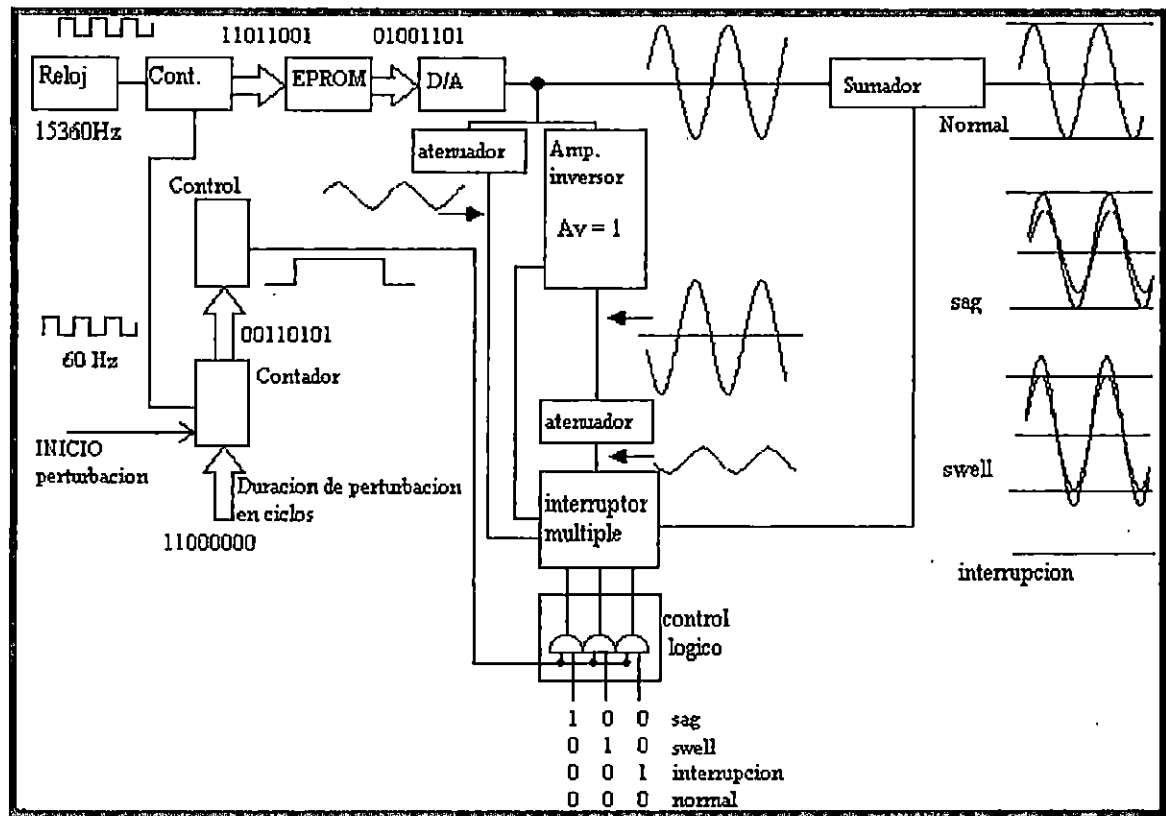


Fig. 3.6 diagrama de bloques del simulador de perturbaciones

3.5.5.1 DESCRIPCION:

Las dos versiones del circuito se basan en una señal senoidal de 60Hz almacenada en una memoria EPROM, la cual es convertida en una señal analógica a través de un convertidor D/A, esta es usada para simular una señal atenuada obtenida de la red comercial de 120 voltios. A través de un amplificador inversor con ganancia $A_v=1$, de un atenuador resistivo en la señal normal y un atenuador resistivo en la señal invertida, se obtienen las señales para generar la interrupción, el swell y el sag respectivamente. Las perturbaciones se logran sumando una de las tres señales anteriores con la señal normal, esto se controla para que solamente una de ellas se suma a la vez, así pues si se selecciona uno de los tres fenómenos, la señal respectiva se suma a la normal para generar la perturbación deseada. El tiempo de duración se controla por medio de un circuito lógico digital, así sólo mientras dura el pulso de control, el interruptor múltiple deja pasar una de las tres señales, de lo contrario la señal normal se suma con voltaje cero obteniendo la misma señal a la salida.

3.6 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La aplicación a desarrollar podrá operar en tres distintos modos:

- Modo cíclico
- Modo continuo

3.6.1 MODO CÍCLICO

En este modo está diseñado para registrar valores de voltaje RMS y distorsión armónica total durante un tiempo definido en intervalos de tiempo pre-programados, esto se hace con el fin de obtener un perfil del lugar donde se realiza el muestreo y sirve de parámetro para evaluar la calidad del suministro de energía eléctrica. Toda la información recabada por el programa es almacenada en un archivo en formato ASCII, la cual puede ser leída por la base de datos para ser almacenada y procesada, para luego hacer los reportes gráficos. A continuación se detalla el funcionamiento del programa acompañado de sus respectivos algoritmos.

3.6.2 INICIALIZACIÓN:

Al iniciar el programa se muestra el panel principal.

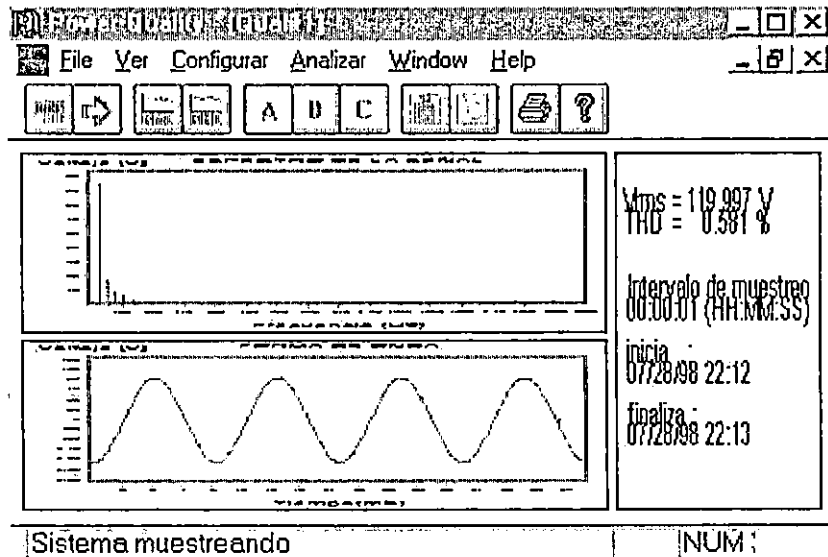



fig. 3.7 Panel de inicialización

DESCRIPCION DE LOS OBJETOS.

-  Permite acceso al panel de configuración principal.

La figura 3.8 muestra el panel de configuración principal

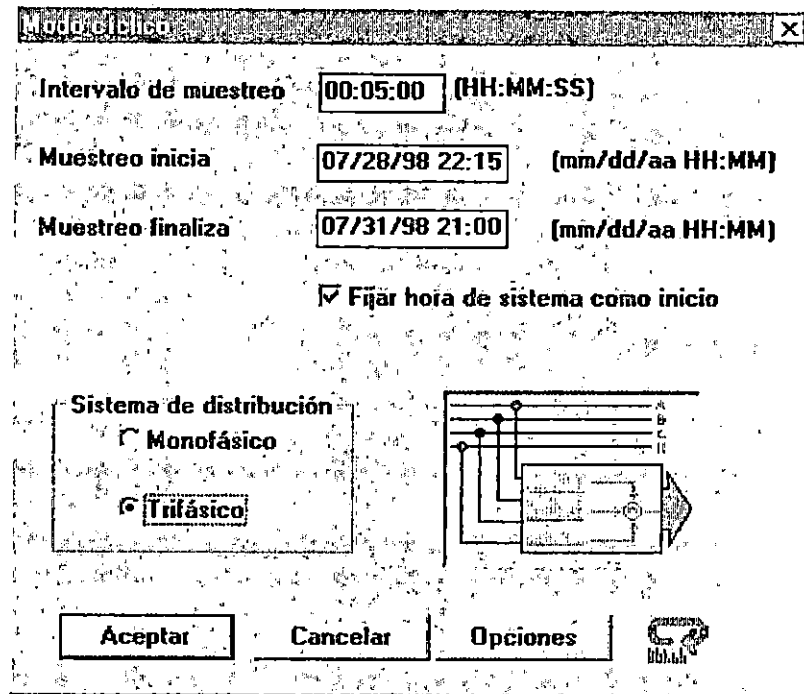


fig. 3.8 panel de configuración principal

DESCRIPCION.

1. Intervalo de muestreo :

Intervalo de tiempo que el sistema espera para tomar las siguientes muestras

2. Muestreo Inicia:

Fecha y Hora en que inicia el muestreo, en el formato (mm/dd/aa HH:MM)

3. Fijar Hora del sistema como inicio

El programa lee la hora del sistema (PC) y fija este valor por defecto como tiempo de inicio del muestreo

4. **Muestreo Finaliza:**

Fecha y Hora en que finalizara el muestreo, en el formato (mm/dd/aa HH:MM)

5. **Sistema de distribución:**

Puede optarse por muestrear un sistema monofásico ó trifasico

6. **Opciones:**

presionando este botón aparece el siguiente panel

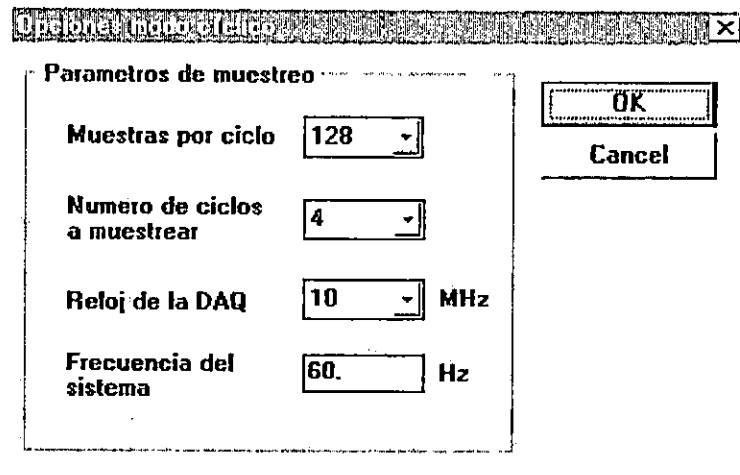


fig. 3.9 opciones del modo cíclico

Este panel muestra parámetros de muestreo para configura la tarjeta PCL718

- **Muestras por ciclo.**

Configura la tarjeta para muestrear de 8 S/ciclo hasta 128 S/ciclo.

- **Numero de ciclos a muestrear.**

Se pueden muestrear 2, 4 u 8 ciclos de la señal.


- **Reloj de la DAQ**

Permite seleccionar el reloj de la tarjeta, el cual puede ser de 1MHz o 10 MHz, antes de cambiar esta opción debe revisarse la tarjeta para que este seleccionado el reloj correcto.

- **Frecuencia del sistema**

Frecuencia a la cual funciona el sistema de distribución.

3.6.3 INICIALIZACIÓN DEL MUESTREO

- Presionando  El programa inicia el proceso de muestreo con los parámetros preestablecidos. En este momento el sistema comienza a tomar muestras de la señal a una frecuencia establecida por la siguiente fórmula:

$F_s = \text{Frecuencia del sistema de distribución} * \text{Numero de muestras por ciclo}$

F_s : Frecuencia de muestreo [Hz]

El teorema de Nyquist explica

$F_s = 2 * F_a$ donde F_a es la mayor de las componentes armónicas de la señal que se muestrea

De las 2 fórmulas anteriores deducimos que para 128 muestras por ciclos que es el máximo que muestrea el sistema, tenemos que:

$$F_a = \frac{(60\text{Hz} * 128\text{S} / \text{ciclo})}{2}$$

$F_a = 3,840$ Hz Es la frecuencia de la mayor de las componentes armónicas que el sistema muestrea, la cual corresponde a la 64^{ava} armónica.

3.6.4 ALGORITMO

En la figura 3.10 se muestra un algoritmo general del funcionamiento de este modo.

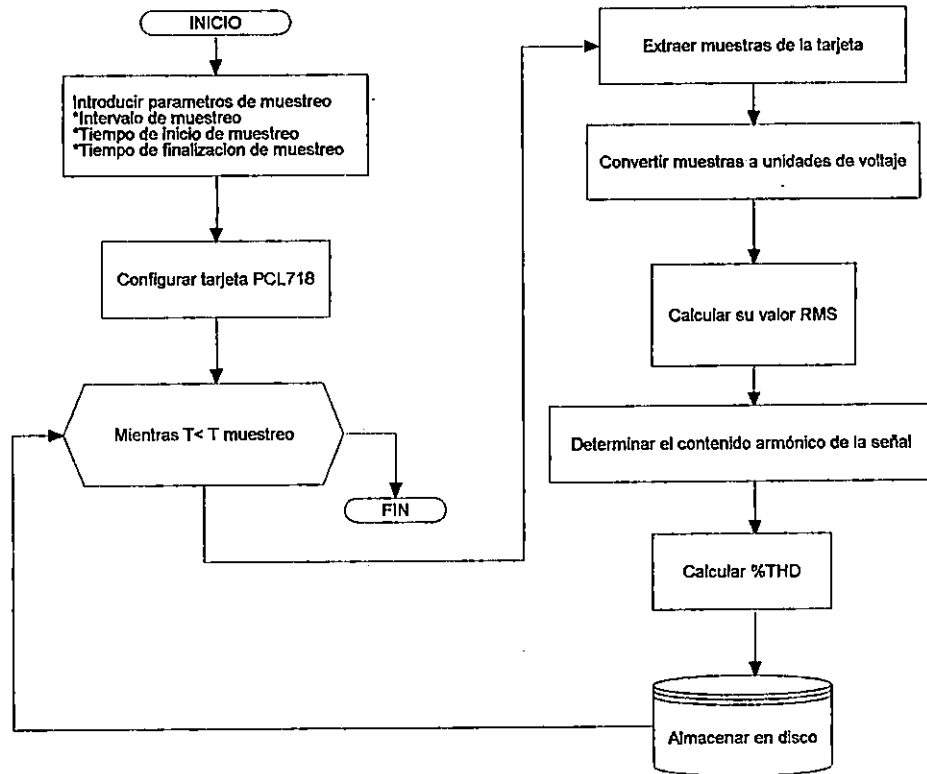


Fig. 3.10 algoritmo para el modo cíclico

3.7 DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS.

- El objetivo principal es la generación de informes que representen en forma gráfica y escrita los datos recogidos del monitoreo de un sitio en particular.
- Estos deberán ser de fácil entendimiento para el usuario y seguir un formato adecuado de acuerdo a los fenómenos monitoreados. El almacenamiento de los datos se hará en una base de datos desarrollada en Visual Fox Pro.

3.7.1 LA BASE DE DATOS PQ DATABASE:

¿Que es una base de datos?

En forma general podemos decir que una base de datos es una tabla que almacena datos en registros(filas) y campos(columnas).

Su desarrollo se remonta hacia la década de 1960 con los llamados registros de seguimiento usados por las grandes empresas

Un archivo de base de datos creado en el ambiente visual Fox pro tiene una extensión .DBC y puede contener una o más tablas, vistas, conexiones a fuentes de datos remotas y procedimientos almacenados.

3.8 TIPOS DE BASES DE DATOS:

3.8.1 BASES DE DATOS SIMPLES:

Los términos que describen a los registros una vez que se han introducido en una base de datos simple son:

- Campo: Cada espacio en blanco a ser llenado se denomina campo.
- Registro: Al conjunto de todos los datos que aparecen en una sola forma se le denomina registro.
- Archivo o tabla: A la colección de registros similares que se usan de manera conjunta se les denomina archivo o tabla.

Estos tres términos son los mas comúnmente utilizados cuando se habla de bases de datos, los cuales los podemos representar en forma gráfica de la siguiente manera:

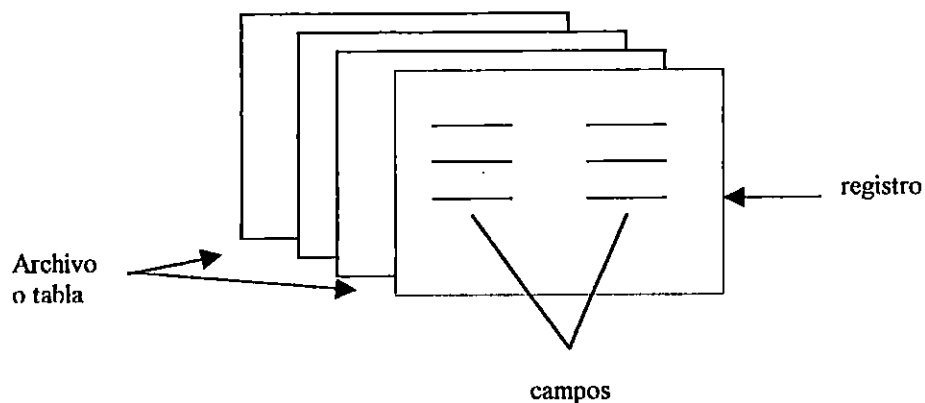


Fig. 3.11

3.8.2 BASES DE DATOS RELACIONALES:

Hicieron su aparición en la década de 1970 cuando E.F. Codd inventó un nuevo método para enlazar este tipo de datos, mismo que se denominó base de datos relacional. La idea fundamental de Codd especificaba fragmentación de datos en archivos separados que se podían relacionar mediante el uso de un campo llave común.

En las bases de datos relacionales casi todo el trabajo necesario para enlazar los datos se lleva a cabo dentro del programa manejador de bases de datos.

3.9 RELACIONES DE UNO A MUCHOS.

Para relacionar archivos entre si se debe utilizar algún campo llave común en todos ellos, este debe ser único y no duplicarse en mas de un registro en el archivo que se encuentra en el lado “uno” de la relación, por tanto este campo debe ser ocupado por un valor arbitrario y nunca debe utilizarse un valor significativo que podría duplicarse y cambiar.

3.10 INDICES Y EXPRESIONES:

El índice de una base de datos es similar al índice usado en los libros, donde se lista las materias que se cubren en el texto en orden alfabético y le da referencia de las páginas de búsqueda, pues resulta mucho mas rápido buscar algo en el índice y después ir a la página correcta del libro, que recorrer el libro hoja por hoja hasta encontrar el tema de interés.

Aunque se trabaje con un archivo mas o menos grande de base de datos, cualquier programa tardará mucho tiempo en leer todo el archivo en busca del registro que se desea. Este problema se minimiza si se hace uso de los índices para la base de datos, ya que éstos solo listarían los registros que hayan sido definidos dentro del índice con su respectivo señalamiento que indicarán el sitio en que se encuentra cada uno dentro de la base de datos verdadera. Esto hace posible consultar a gran velocidad este tipo de listado ordenado, de tal forma que un programa pueda recuperar los registros en grandes bases de datos sin demora alguna, haciendo de las bases de datos indizadas una forma eficiente para la búsqueda de datos. Es importante señalar que los índices solo modifican de manera temporal los datos, es decir que el ordenamiento real de los registros en la base de datos no se ve afectado.

3.10.1 TIPOS DE INDICE:

Básicamente existen dos tipos diferentes de archivo de índice: el archivo de índice único y el archivo de índice compuesto.

3.10.1.1 ARCHIVO DE INDICE UNICO:

En este tipo de archivo cada índice se almacena en un archivo separado con extensión .IDX. Para actualizar el índice es necesario abrir sin falta cada uno de estos archivos de índice cada vez que se desee agregar datos o editar el archivo de la base de datos.

3.10.1.2 ARCHIVOS INDIZADOS COMPUESTOS:

Estos archivos, a diferencia de los de índice único, pueden almacenar múltiples índices en un solo archivo y tienen una extensión .CDX. Cada índice en un archivo indizado compuesto recibe el nombre de etiqueta de índice.

3.10.1.3 INDICES COMPUESTOS ESTRUCTURALES:

Es un tipo especial de índice compuesto que se abre de manera automática cada vez que abre el archivo de la base de datos sobre la cual tiene efecto. Su característica principal es que debe tener el mismo nombre que el archivo de la base de datos con la extensión .CDX.

Para la mayoría de aplicaciones, es más fácil usar un archivo de índice compuesto estructural para todos los índices, ya que estos últimos se actualizarán cada vez que el archivo se actualice, sin perder tiempo en abrirlos y sin el peligro de olvidar abrirlos por descuido.

3.11 REQUERIMIENTOS DE DATOS Y DE ACCESO PARA LA APLICACION

Los datos recogidos del monitoreo de un sitio en particular deben pasar por una serie de etapas principales, entre las que podemos mencionar:

- Importar datos
- Almacenar datos
- Clasificar datos
- Consultas con datos
- Exportar datos
- Imprimir informes

3.11.1 IMPORTAR DATOS.

Los datos son recibidos en esta primera etapa en formato de archivos de texto (.TXT) provenientes de Visual C++, por lo que es necesario convertirlos a un formato que pueda ser utilizado por Visual Fox. Esto se hará por medio de la herramienta que nos proporciona Fox: Import data, la cual convierte los datos en formato .TXT a datos en formato .DBF.

3.11.2 ALMACENAMIENTO DE DATOS.

Los datos que se reciben y convierten a formato .DBF son de dos tipos:

- Una tabla de fenómenos detectados durante el monitoreo, la cual tiene el formato siguiente:

FENÓMENOS	MAGNITUD	DURACIÓN	FECHA
-----------	----------	----------	-------

La información que contienen cada uno de los campos es la siguiente:

FENÓMENOS: contiene información en formato alfanumérico que representa el nombre con que cada uno de los fenómenos es reconocido (sag, swell o interrupción).

MAGNITUD: contiene información en formato numérico acerca de la magnitud del voltaje RMS de cada uno de los fenómenos listados en el campo “fenómenos”.

DURACIÓN: contiene información en formato numérico, acerca de la duración de cada uno de los fenómenos listados en el campo “fenómenos”.

FECHA: contiene información en formato de tiempo (Date time) que indica la fecha de ocurrencia de cada uno de los fenómenos listados en el campo “fenómenos”.

- Una tabla de niveles de voltaje RMS y THD provenientes del sistema que está siendo monitoreado. El formato es el siguiente:

THDA	VRMSA	THDB	VRMSB	THDC	VRMSC
------	-------	------	-------	------	-------

La información que contiene cada uno de los campos es la siguiente:

THD _(a, b, c): representa los niveles de distorsión armónica total para las fases a, b o c

VRMS _(a, b, c): representa los niveles de voltaje RMS para las tres fases a, b o c.

3.11.3 CLASIFICACION DE DATOS.

La clasificación de los datos en la tabla de fenómenos detectados deberá hacerse atendiendo la clasificación hecha en la tabla 2, para lo cual, básicamente lo que se hará es un filtrado de datos por medio del campo duración, para dividir a los sags y swells en las categorías de instantáneos, momentáneos y temporales, así como para caracterizar a las interrupciones.

La clasificación de un sitio requiere guardar información referida al sitio mismo, como su ubicación, teléfono, representante, etc. con el objetivo de identificarlo fácilmente en los contenedores principales de la base de datos.

3.11.4 CONSULTA DE DATOS

Las consultas son una extracción de todos o parte de los registros de una base de datos que satisfagan ciertos requisitos.

3.11.5 IMPRESION DE REPORTES.

Es la parte final de la aplicación. Los datos recogidos deberán ser presentados en un formato escrito y gráfico que sea de fácil entendimiento para el usuario del servicio.

3.12 PARTES DE LA BASE DE DATOS

Las partes de las que consta la base de datos de la aplicación (PQ DATABASE) son las siguientes

3.12.1 CONTROL PRINCIPAL DE LA BASE DE DATOS.

Esta parte es la encargada de controlar todas las opciones disponibles en la base de datos, como lo son la identificación de un nuevo sitio de monitoreo, la consulta de datos, impresión de reportes y la búsqueda de registros. En la figura 3.12 se muestra el aspecto que tiene este formulario⁷ y el menú principal de aplicaciones.

DESCRIPCION DE LOS OBJETOS.

- **BOTON NUEVO SITIO:** permite introducir información adicional a la base de datos, como la ubicación del sitio de monitoreo, la cual solo servirá para caracterizar el sitio de monitoreo en particular. La figura 3.13 muestra el formulario asociado con este objeto.
- **BOTONES IMPORTAR DATOS:** permite importar los datos a los contenedores principales de la base de datos.
- **BOTONES PAR LOS FENOMENOS DETECTADOS.**

Permite ver los fenómenos presentes de acuerdo a las categorías mostradas en la tabla 2. En la figura 3.15 se muestra una de las opciones disponibles: los sags momentáneos detectados en el sitio de monitoreo. Estas opciones, en general, nos permiten extraer cualquier información de los contenedores principales, así, se podría realizar una consulta de que clasifique los sags instantáneos detectados en el sitio de monitoreo.
- **BOTONES PARA LOS CONTENEDORES PRINCIPALES.**

Permiten visualizar la totalidad de los fenómenos y niveles monitoreados en un sitio en particular. Por ejemplo podemos ver el número total de fenómenos monitoreados en un sitio en particular como se muestra en la figura 3.14.

⁷ Una clase contenedora cuyo comportamiento es parecido al de una ventana o cuadro de diálogo estándar con zonas preestablecidas para introducir y modificar información

- **MENU PRINCIPAL.**

Nos presenta las mismas opciones del formulario control principal, las cuales pueden ser ejecutadas también desde el menú. Nos presenta también otras opciones como búsqueda de sitios de monitoreo, búsqueda por persona y búsqueda por código.

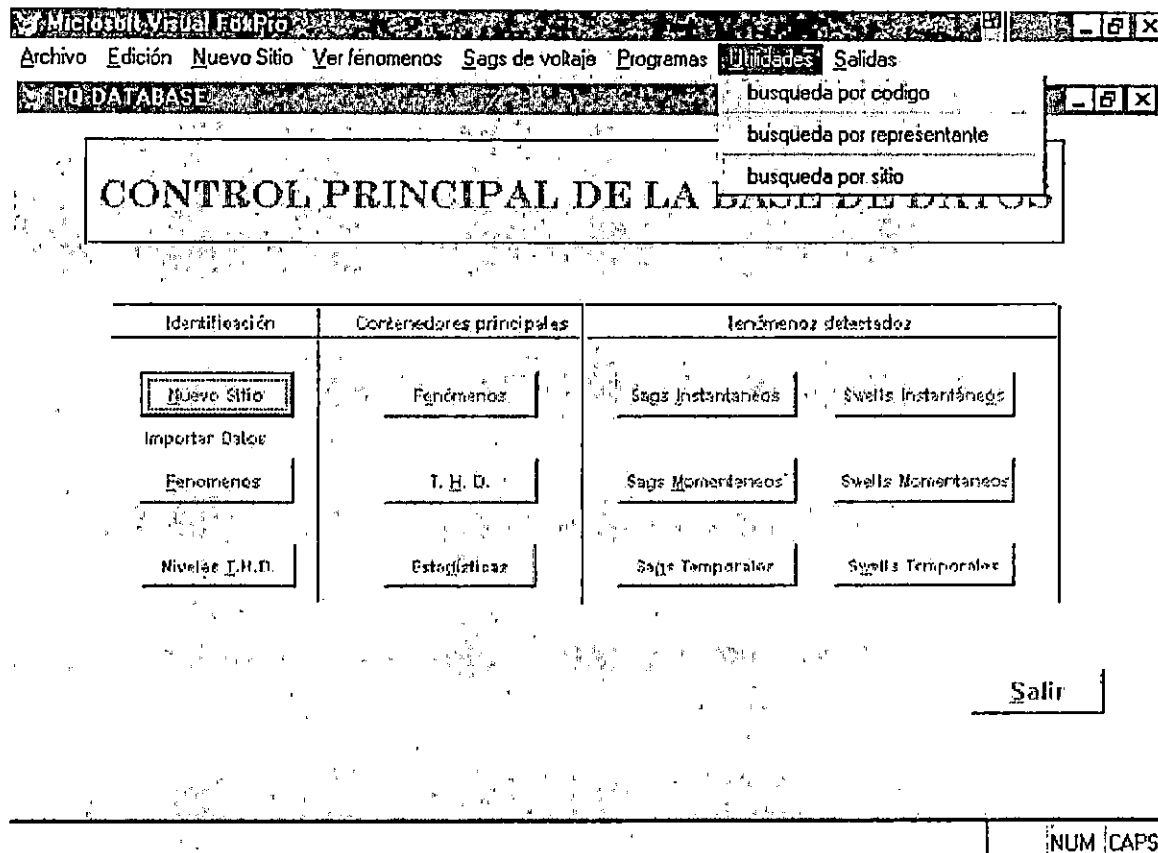


Fig. 3.12 control principal de la base de datos

FORMULARIO DE IDENTIFICACION.

Nos permite caracterizar un sitio de monitoreo en particular.

The image shows a web browser window with a title bar that reads "IDENTIFICACION". The main content area has a heading "IDENTIFICACION DEL SITIO". Below the heading, there are several input fields arranged in two columns. The left column contains fields for "Sitio", "Direccion", "Fax:", "Tiempo:", and "Codigo:". The right column contains fields for "Representa:", "Telefono:", "E-mail", and "Tipo de servicio:". At the bottom of the form area, there is a horizontal navigation bar with several icons, including a home icon, a back icon, a forward icon, a search icon, a refresh icon, a save icon, and a print icon.

Fig. 3.13 formulario de identificación.

CONTENEDORES PRINCIPALES.

Nos permite visualizar la totalidad de fenómenos monitoreados en el sitio específico.

Microsoft Visual FoxPro

File Edit View Tools Program Window Help

FENOMENOS MONITOREADOS

Sitio de monitoreo: Ciudad de Los Angeles

Representante: Jiro Idrogo Hernandez

Teléfono: 235-8035 Código: 235-8035-19980726

Fenómeno	Magnitud	Duración	Fecha	Codigo
sag	68.770800	0.033340	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726
interrupción	7.070800	0.800160	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726
sag	68.724700	0.016670	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726
sag	65.437100	0.050040	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726
interrupción	6.704350	0.016670	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726
sag	25.853500	0.016670	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726

datos monitoreados NUM CAPS

Fig. 3.14 contenedor principal para fenómenos monitoreados

FORMULARIO DE FENOMENOS DETECTADOS.

Nos permite ver los fenómenos clasificados según las categorías descritas en la tabla 2

Microsoft Visual FoxPro

File Edit View Tools Program Window Help

SAGS MOMENTANEOS DE VOLTAJE

Cliente: Acerca de ...

Representante:

Teléfono:

Fenomenos	Magnitud	Duración	Fecha	Código
sag	68.770800	2.050000	04/20/98 05:59:52 PM	235-8035-19980726

◀ ▶ ◀ ▶ Generar Informe 🖨️ Salir

Va al siguiente registro NUM CAP5

Fig. 3.15 sags momentáneos detectados en el sitio de monitoreo

De igual manera se puede hacer cualquier consulta de los fenómenos detectados en el sitio de monitoreo e imprimir un informe completo, cuyo formato se describe en el siguiente capítulo.

CONCLUSIONES DEL CAPITULO III

- Se optó por crear las aplicaciones en lenguaje de programación C++ debido a que instrumentos virtuales basados en LabView y LabWindows no permiten una libertad de programación como la que ofrece el lenguaje C++.
- Para la detección de los disturbios en el sistema de distribución es necesario diseñar algoritmos que permiten procesar señal en tiempo real.
- La base de datos es de gran importancia para la generación de índices y perfiles de voltaje y distorsión armónica para el sitio de monitoreo en particular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- IEEE Standar Department, Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality P1159/D6, December 22, 1994
- M. Brent Hughes & John S. Chan, Canadian National Power Quality Survey
- M. Brent Hughes & Jonh S. Chan, IEEE Transactions on industry application, Vol. 29 No 6 November/December 1993.
- IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.
- Erich W. Gunther & James L. Thompson Monitoring Power Quality levels on Distribution Systems.
- Mark F. McGranaghan & Mark J. Samotyj Voltage Sags in Industrial Systems, IEEE transaction on industry application
- Microsoft Visual FoxPro 3 para Windows, McGraw-Hill, 1996
- David J. Kruglinski, Progrese con Visual C++, McGraw Hill 1993
- Mickey Williams, La Esencia de Visual C++ 4, Prentice Hall 1996.

CAPITULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS

INTRODUCCIÓN.

Debido a la gran cantidad de información que se generará del monitoreo de un sitio en particular, se hace necesario el manipular esa información de modo que todo el volumen de datos se reduzca a un formato menos voluminoso, fácil de entender y compatible con algunos estándares internacionales.

Con base a lo anterior es necesario definir los parámetros con los que un sitio de monitoreo será caracterizado de manera que estos sean representativos y den una buena aproximación del nivel de Power Quality existente en el sistema de potencia.

4.1 OBJETIVOS.

- El objetivo principal de esta parte es generar un reporte de los datos recogidos durante el tiempo de monitoreo. Las partes con las que constará dicho reporte son las siguientes:
 - Una tabla de identificación del sitio de monitoreo
 - Los histogramas de frecuencia acumulativa de niveles RMS
 - Los histogramas de frecuencia para la THD
 - Perfil de voltaje del sitio
 - Un listado de los fenómenos detectados

4.2 TABLA DE IDENTIFICACION DEL SITIO DE MONITOREO.

Esta tabla solo servirá como una presentación para el reporte final. Aquí se incluirá toda la información necesaria para la identificación del sitio de monitoreo.

4.3 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ACUMULATIVA DE NIVELES RMS

Estos histogramas nos proporcionan una descripción visual de la variabilidad en los niveles RMS en el sitio monitoreado. En este histograma podemos ver el nivel de probabilidad de que el nivel de voltaje RMS en el sitio llegue a ser menor o mayor que un nivel especificado. También podemos interpretar estos gráficos como una evidencia empírica de las características de diseño y operación del sistema de distribución y sus facilidades o limitaciones eléctricas para el usuario.

4.4 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA PARA LA THD.

Nos proporciona una descripción visual de los niveles de THD presentes en el sistema de distribución o en el sitio que se está monitoreando.

4.5 PERFIL DE VOLTAJE.

Con el objetivo de representar toda la cantidad de disturbios presentes en el sistema de distribución de potencia en un solo perfil de voltaje para el sitio en particular es necesario definir la magnitud y duración de cada tipo de disturbio monitoreado.

Las diferentes categorías de equipos y marcas hacen que la sensibilidad de cada uno de ellos a los sags de voltaje sea diferente. Esto hace difícil el desarrollar un solo estándar que defina la sensibilidad de los equipos industriales. Los mas cerca a un estándar es la curva CBEMA⁸ la cual se aplica principalmente a equipo para el procesamiento de datos. En esta gráfica se superpone cada uno de los fenómenos a esta curva, y es de esperar que en un sitio con un nivel de Power Quality aceptable todos los fenómenos se localicen dentro de la curva.

4.6 LISTADO DE FENOMENOS.

Esta parte muestra un listado de los fenómenos ocurridos durante el período de muestreo, listando el tipo de fenómeno, su magnitud y duración. Esto nos proporciona una descripción mas detallada de cada uno de los fenómenos detectados.

4.7 FORMATO DEL REPORTE.

A continuación se presenta el formato final que tendrá el reporte generado por la aplicación donde se presentan cada una de las partes mencionadas anteriormente. Este es el reporte que será entregado al usuario del servicio y el cual le dará un panorama general del nivel de Power Quality existente.

⁸ Computer Business Manufacturers Association

REPORTE DE FENOMENOS DETECTADOS

SITIO DE MONITOREO:

08/01/98

Sitio	Unidad de Ciencias Basicas
Representante	Ing. Mario Hernandez
Direccion	U.E.S - F.I.A
Telefono	235-8035
Fax	(202)235-8038
E Mail	
Tiempo	48.000000
Tipo Servicio	trifasico
Codigo	235-8035-19980726

RESUMEN DE SAGS MOMENTANEOS DETECTADOS EN EL SITIO DE MONITOREO

08/01/98

Fenomenos Codigo	Magnitud	Duracion	Fecha
---------------------	----------	----------	-------

sag 235-8035-19980726	65.437100	2.530000	04/20/98
sag 235-8035-19980726	68.724700	2.800000	04/20/98
sag 235-8035-19980726	68.770800	2.050000	04/20/98

NUMERO DE EVENTOS REGISTRADOS: 3

LA MAYOR MAGNITUD REGISTRADA FUE DE: 68.770800

LA MENOR MAGNITUD REGISTRADA FUE DE: 65.437100

RESUMEN DE SAGS TEMPORALES DETECTADOS EN EL SITIO DE MONITOREO

08/01/98

Fenomenos Codigo	Magnitud	Duracion	Fecha
---------------------	----------	----------	-------

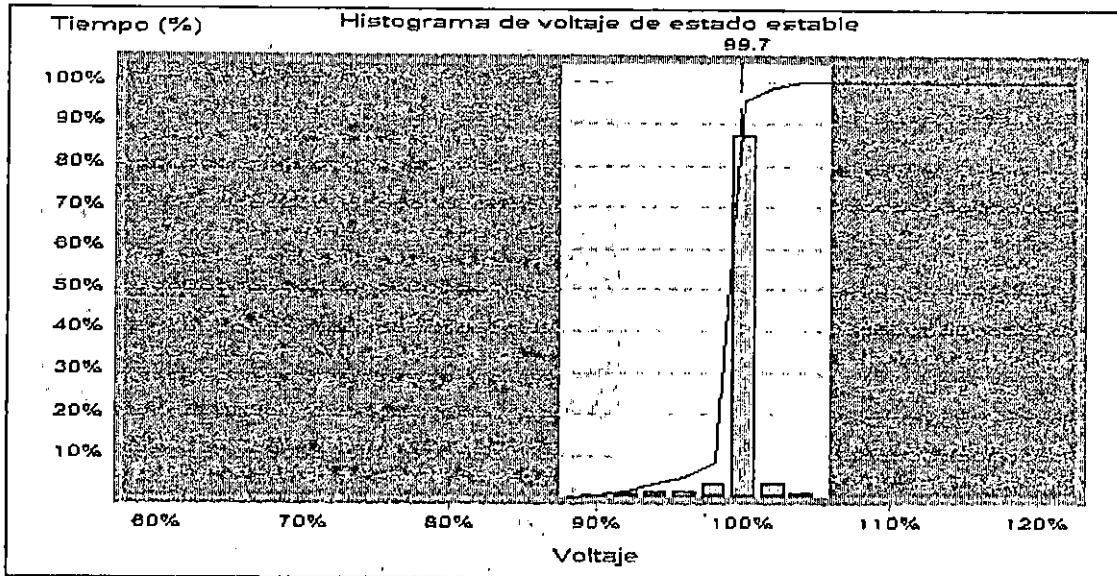
sag 235-8035-19980726	43.895200	45.016670	04/20/98
sag 235-8035-19980726	72.771000	3.033340	04/20/98
sag 235-8035-19980726	89.554300	4.016670	04/20/98

NUMERO DE EVENTOS DETECTADOS:3

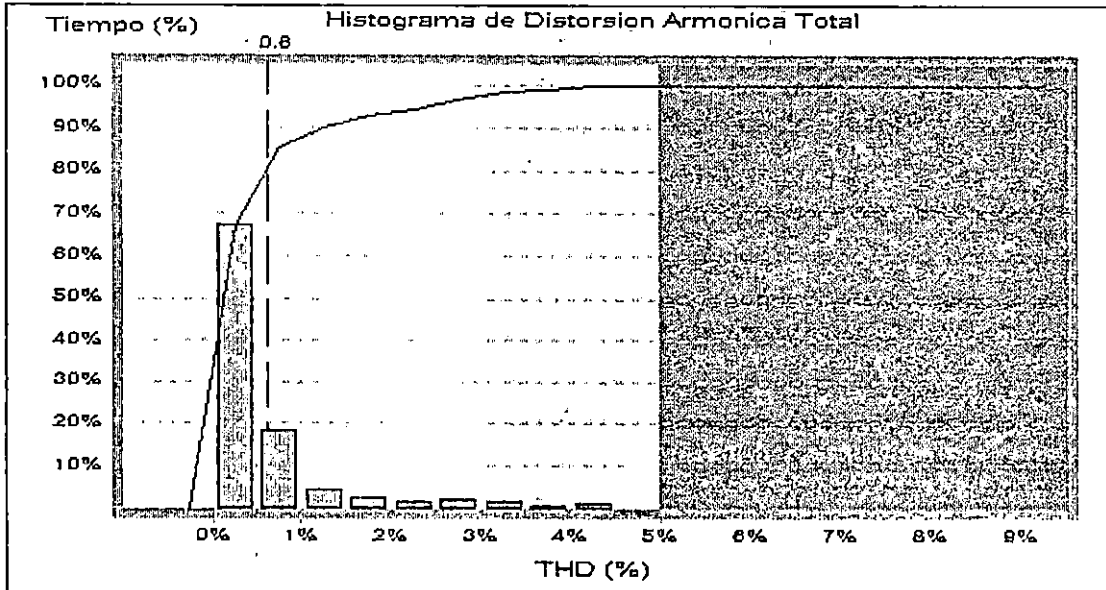
LA MAYOR MAGNITUD DETECTADA FUE DE: 89.554300

LA MENOR MAGNITUD DETECTADA FUE DE: 43.895200

HISTOGRAMA DE VOLTAJE DE ESTADO ESTABLE

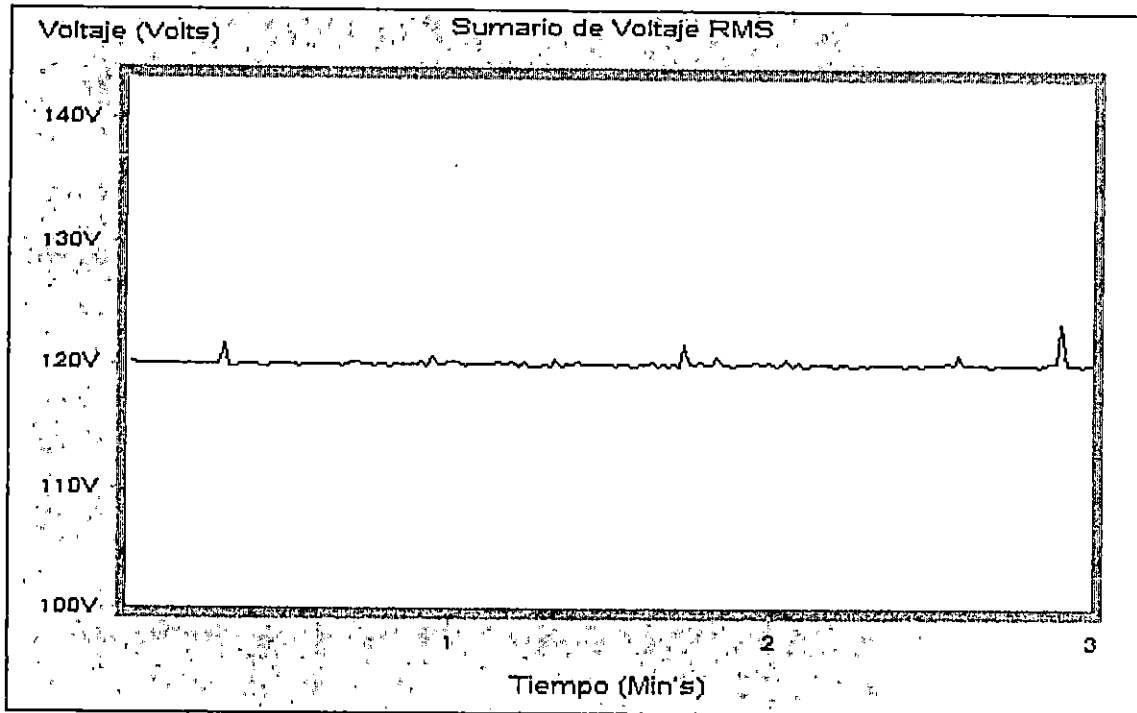


HISTOGRAMA DE DISTORSION ARMONICA TOTAL.



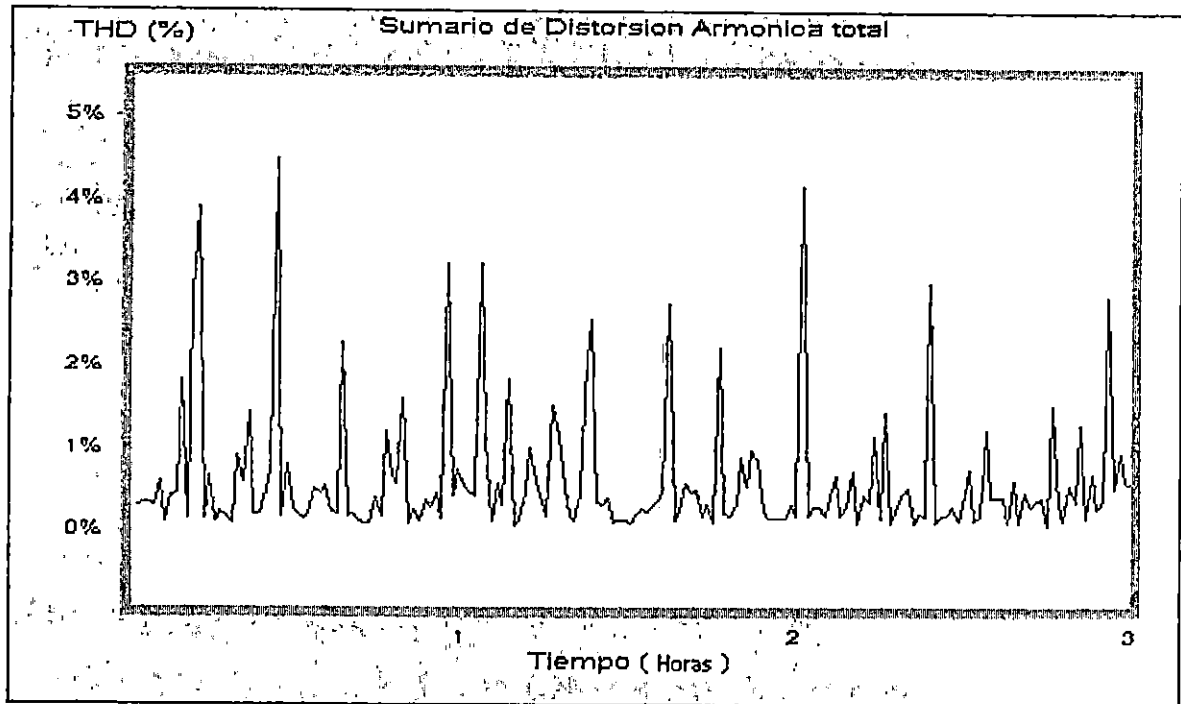
SUMARIOS

SUMARIO DE VOLTAJE DE ESTADO ESTABLE



Tendencia del voltaje RMS de la señal durante el tiempo en que se realizó el muestreo

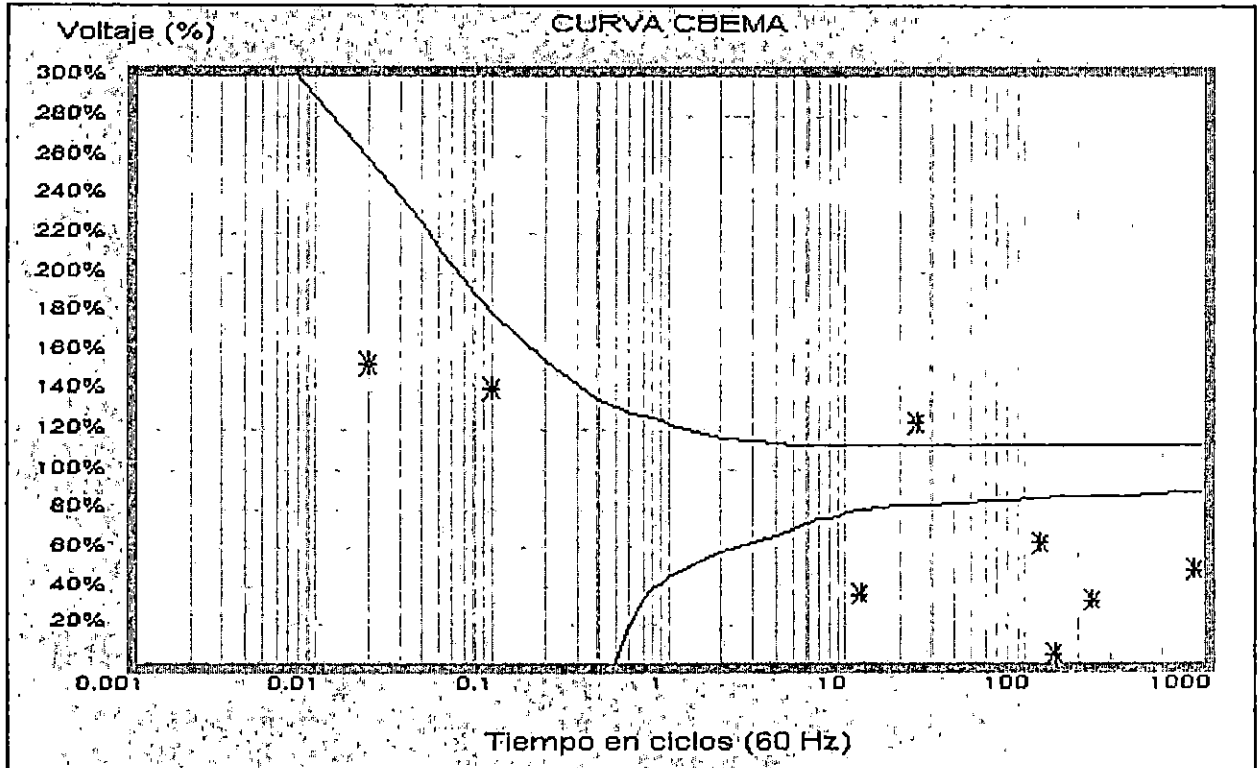
SUMARIO DE DISTORSION ARMONICA TOTAL



Este gráfico muestra cómo varía la distorsión armónica total durante el tiempo en que se realizó el muestreo.

PERFIL DE VOLTAJE

Este gráfico muestra las perturbaciones registradas por el instrumento



FENOMENOS DETECTADOS COMPARADOS CON LA CURVA CBEMA

CONCLUSIONES DEL CAPITULO IV

- Los gráficos generados en esta parte son de gran importancia ya que proveen información para el usuario acerca de la calidad de su servicio eléctrico lo cual se constituye en una evidencia empírica para poder evaluar el impacto de la cargas de los usuarios en su propio sistema de potencia.
- Los histogramas de frecuencia acumulativa de niveles rms nos muestran el porcentaje de tiempo que el voltaje permanece dentro de los límites permitidos por los estándares. Para el caso los límites con los cuales se han preparado los histogramas están de acuerdo al estándar ANSI C84.1-1989.
- Los histogramas para la THD proporcionan un marco de referencia tanto para el abonado como para el distribuidor y posibilitan a ambas partes el valorar el impacto de cambiar las cargas del usuario y cambiar los niveles armónicos dentro del sistema de distribución.
- La curva CBEMA superpuesta con los fenómenos detectados en el monitoreo muestran que una carga sensible es muy dependiente de la duración del fenómeno. Esta curva sugiere que los dispositivos electrónicos y eléctricos deberían ser diseñados para soportar disturbios que caigan dentro de la envolvente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- M. Brent Hughes & John S. Chan, Canadian National Power Quality Survey
- M. Brent Hughes & Jonh S. Chan, IEEE Transactions on industry aplication, Vol. 29 No 6 November/December 1993.
- IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.
- Erich W. Gunther & James L.Thompson Monitoring Power Quality levels on Distribution Systems.
- Mark F. McGranaghan & Mark J. Samotyj Voltage Sags in Industrial Systems, IEEE transaction on industry aplication
- Microsoft Visual FoxPro 3 para Windows, McGraw-Hill, 1996

CONCLUSIONES GENERALES.

- El instrumento virtual desarrollado es capaz de monitorear, explorar el tipo de disturbio y su cantidad dentro del sistema de distribución, medir los niveles de distorsión armónica total y niveles rms, así como generar un reporte de todas estas variables.
- La información obtenida por el instrumento es procesada y transformada para ser presentada en formato gráfico la sirve al usuario para evaluar el nivel Power Quality existente en el sistema de distribución.
- Los reportes generados se hicieron siguiendo los formatos usados por la CANADIAN NATIONAL POWER QUALITY SURVEY en sus programas de monitoreo de Power Quality.
- Las especificaciones del instrumento se hicieron según las especificaciones de la BMI especialmente las del instrumento PQ Node.
- La norma seguida para el monitoreo de los niveles de voltaje fue la C84 - 1 de ANSI.
- Aunque el desarrollo de instrumentos Virtuales resulta mas fácil desde paquetes especializados de cuarta generación como Lab View y Lab Windows, los cuales nos facilitan una gran cantidad de librerías especializadas para determinadas tareas, sin embargo, para otras, no presentan una versatilidad adecuada software-hardware como las que presenta Visual C, por lo que se optó por usar este último como plataforma de programación y poder darle al instrumento y sus utilerías un formato personalizado

RECOMENDACIONES.

- Para la obtención de resultados que permitan evaluar la calidad de un sistema de distribución, deberá de realizarse un muestreo durante un periodo de tiempo extenso de aproximadamente 3 meses, para esto los recursos de hardware del instrumento deberán ser muy grandes debido a la enorme cantidad de información que este recabe.
- Para desarrollar instrumentos virtuales cuyo objetivo sea el de monitorear fenómenos de muy corta duración como son los transitorios, una de las claves es la tarjeta de adquisición de datos ya que de ella depende la rapidez con que ponga a disposición de la PC para que esta la procese
- Para seleccionar el tipo de software necesario para diseñar un instrumento virtual de monitoreo, debe primero estudiarse sus ventajas y desventajas con respecto a softwares ya existentes como LabView y LabWindows y seleccionar la que mas se adecue a sus necesidades.
- Un punto que el diseñador debe tomar en cuenta para el diseño de un instrumento virtual es la su propia concepción de este ó tomar como referencia uno ya existente.
- Si se va utilizar varios software para diseñar un instrumento virtual debe buscar que exista compatibilidad entre la información que estos proporcionan.