

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR DE CALIDAD DE
ENERGÍA ELÉCTRICA**

**WILLIAM LEONARDO RODRIGUEZ GALVIS
MARIO IVÁN USECHE GAMBOA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2010**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR DE CALIDAD DE
ENERGÍA ELÉCTRICA**

**WILLIAM LEONARDO RODRIGUEZ GALVIS
MARIO IVÁN USECHE GAMBOA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Especialista en Control e Instrumentación Industrial**

Director

Ph D. OMAR PINZÓN ARDILA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2010

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 25 de Junio de 2010

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer ante todo a Dios quien ha bendecido a nuestra familia, amigos y a nosotros, siendo él quien nos guía y nos ilumina para seguir adelante; de la misma manera por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que durante la carrera han sido un gran apoyo para nuestra formación profesional.

Nuestros mayores agradecimientos a nuestro Director Omar Pinzón Ardila, principal responsable del éxito de esta tesis, por el apoyo prestado en momentos muy complicados, por sus enseñanzas, orientación y paciencia en el transcurso del desarrollo de nuestra tesis, por su ejemplo de profesionalidad y por haber creído totalmente en nosotros.

Al director de la facultad Alex Monclou quien estuvo pendiente de los avances del proyecto y por toda la colaboración prestada.

Al los profesores Alonso Retamoso y Raúl Restrepo por sus aportes técnicos, constructivos y buenos consejos.

A los amigos por su confianza y lealtad.

CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES	11
1.1 Introducción	11
1.2 Antecedentes	12
1.3 Objetivos de desarrollo de la tesis	12
1.4 Organización de la exposición	13
2 ESTADO DEL ARTE	15
2.1 Calidad de onda y compatibilidad electromagnética	16
2.2 Perturbaciones de la onda de tensión	19
2.2.1 Tensión armónica	19
2.2.2 Desequilibrios de la tensión suministrada	21
2.2.3 Variaciones de frecuencia	22
2.2.4 Variaciones lentas de tensión	22
2.2.5 Variaciones rápidas de tensión	23
2.2.6 Parpadeo (Flicker)	23
2.2.7 Huecos de tensión	24
2.2.8 Cortes breves de tensión	24
2.2.9 Sobretensiones temporales	25
2.2.10 Sobretensiones transitorias	25
2.2.11 Tensiones interarmónicas	26
3 ALGORITMOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PERTURBACIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS	26
3.1 Algoritmo adquisición de datos y valores RMS	27
3.1.1 Bloque 1	27
3.1.2 Bloque 2	27
3.1.3 Bloque 3	27
3.1.4 Bloque 4	27
3.2 Algoritmo Huecos de tensión (Sags)	28
3.2.1 Bloque 1	32
3.2.2 Bloque 2	32

3.2.3 Bloque 3	32
3.2.4 Bloque 4	35
3.3 Algoritmo de sobre tensiones (<i>Swell</i>)	39
3.3.1 Bloque 1	41
3.3.2 Bloque 2	41
3.3.3 Bloque 3	41
3.3.4 Bloque 4	44
3.4 Algoritmo de parpadeos (Flicker)	46
3.4.1 Fluctuación de voltaje	46
3.4.2 Flicker	48
3.4.3 Medición Flicker	48
3.4.3.1 Bloque 1	49
3.4.3.1.1 Cálculo caída de tensión	50
3.4.3.1.2 Cálculo Ast/pst	53
3.4.3.2 Bloque 2	55
3.4.3.2.1 Cálculo Pst	58
3.5 Algoritmo Armónicos	60
3.5.1 Bloque 1	61
3.5.2 Bloque 2	63
3.5.3 Bloque 3	64
3.5.4 Bloque 4	65
4 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA EXPERIMENTAL	65
4.1 Sondas de medición	66
4.1.1 Sondas de tensión	66
4.1.1.1 Características	67
4.1.1.1.1 Características de entrada	67
4.1.1.1.2 características de salida	68
4.1.1.1.3 Características eléctricas	68
4.1.2 Sondas de corriente	69
4.1.2.1 Especificaciones eléctricas	70
4.2 Tarjeta de acondicionamiento de señal	71

4.2.1 Canales de tensión	71
4.2.2 Canales de corriente	73
4.3 Tarjeta de adquisición de datos	74
4.4 Tarjeta Epia-MS	75
4.5 Software	76
4.5.1 Matlab	76
4.5.2 Data Adquisición Toolbox	76
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
APÉNDICE A	81
APÉNDICE B	88

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Perturbaciones asociadas a las características de la onda de tensión	17
Cuadro 2. Valores máximos permitidos de las tensiones de armónicos en los puntos de suministro expresados en porcentaje de la tensión nominal	20
Cuadro 3. Precisión básica	70
Cuadro 4. Precisión expandida	70
Cuadro 5. Norma internacional calidad de suministro (parte 1)	89
Cuadro 6. Norma internacional calidad de suministro (parte 2)	90
Cuadro 7. Norma internacional calidad de suministro (parte 3)	91
Cuadro 8. Informes técnicos sobre calidad de suministro	91
Cuadro 9. Recomendaciones y normativas Americanas	92
Cuadro 10. Normativa Sonda de tensión	92

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Diagrama de bloques cálculo RMS	27
Figura 2. Huecos de tensión	28
Figura 3. Ejemplo de hueco monofásico	30
Figura 4. Diagrama de bloques cálculo de huecos de tensión (<i>Sag</i>)	31
Figura 5. Comparación 120v RMS	33
Figura 6. Comparación 208v RMS	33
Figura 7. Comparación 240v RMS	34
Figura 8. Comparación 380v RMS	34
Figura 9. Comparación 480v RMS	35
Figura 10. Generación de reporte	36
Figura 11. Punto de inicio <i>Sag</i>	37
Figura 12. Punto de recuperación <i>Sag</i>	38
Figura 13. Ejemplo de sobre tensión	40
Figura 14. Diagrama de bloque <i>Swells</i>	40
Figura 15. Comparación 120v RMS	41
Figura 16. Comparación 208v RMS	42
Figura 17. Comparación 240v RMS	42
Figura 18. Comparación 380v RMS	43
Figura 19. Comparación 480v RMS	43
Figura 20. Generación reporte <i>Swells</i>	44
Figura 21. Tiempo de inicio <i>Swells</i>	45
Figura 22. Tiempo de recuperación <i>Swells</i>	46
Figura 23. Diagrama de bloques <i>Flickers</i>	49
Figura 24. Limite de perturbación Pst	50
Figura 25. Diagrama del circuito equivalente	51
Figura 26. Diagrama de vectores	52
Figura 27. Diagrama de circuito equivalente trifásico	53

Figura 28. Factor para una fluctuación de tensión periódica	55
Figura 29. Factor para rampas y saltos	55
Figura 30. Factor para pulsos rectangulares y triangulares	56
Figura 31. Diagrama de bloques cálculo de Flicker	56
Figura 32. Evaluación de Flicker Pst	59
Figura 33. Diagrama de bloques armónicos	61
Figura 34. Diagrama de bloques armónicos 2 parte	64
Figura 35. Diagrama plataforma experimental	66
Figura 36. Sonda de tensión Vrms Vs frecuencia	68
Figura 37. Canal de tensión	73
Figura 38. Canal de corriente	74
Figura 39. Estructura CREG	84

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

AUTORES: MARIO IVÁN USECHE GAMBOA
WILLIAM LEONARDO RODRIGUEZ GALVIS

FACULTAD: ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

DIRECTOR: ING. OMAR PINZÓN ARDILA

RESUMEN

El objetivo principal del presente artículo está enfocado en dar a conocer el estudio realizado en el tema de las fenomenologías SAGS y SWELLS presentes en las redes eléctricas. Este estudio fue necesario para realizar el trabajo de grado con el fin obtener el título de especialistas en Control e Instrumentación Industrial. Este trabajo estuvo enfocado en la elaboración de un equipo mediante un sistema empotrado, capaz de medir algunas de las variables más importantes en área de la calidad de la energía eléctrica. De esta manera se llevó a cabo el diseño e implementación de un equipo analizador de la calidad de la energía eléctrica en capacidad de medir un conjunto de fenómenos entre los cuales se pueden destacar los SAGS y los SWELLS, los cuales corresponden a caídas o huecos de tensión y sobretensiones respectivamente. A partir de los resultados se pudo establecer la viabilidad de los sistemas empotrados para la construcción de equipos con un alto grado de exactitud y precisión en la medición de estos eventos.

PALABRAS CLAVES: SAGS, SWELLS, FLICKER

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MEASURING EQUIPMENT OF POWER QUALITY ANALIZER

AUTHORS: MARIO IVÁN USECHE GAMBOA
WILLIAM LEONARDO RODRIGUEZ GALVIS

FACULTY: SPECIALIST IN INDUSTRIAL CONTROL AND INSTRUMENTATION

DIRECTOR: ING. OMAR PINZÓN ARDILA

ABSTRACT

The principal aim in this project is directed to show the study about the SAGs, SWELLS and FLICKERS, some phenomena present in the electricity networks. This study was necessary in order to development the thesis to obtain the title in “Especialistas en Control e Instrumentación Industrial”. This work was focused in the elaboration of equipment by means of embedded system. This equipment is able to measurement a lot of electrical events including the SAGs, SWELLS and FLICKERS. From the obtained results we could establish the embedded systems viability in order to built equipments with high degree of accuracy and precision in the events measurement.

KEY WORDS: SAGS, SWELLS, FLICKERS

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

Con la modernización de los procesos industriales, en los cuales el aumento de máquinas automatizadas es muy visible no sólo a nivel de producción sino también a nivel de variables eléctricas (tensión y corriente), la proliferación de no linealidades en la instalación eléctrica es bastante crítica, ya que éstas se ven reflejadas en la aparición de señales sinusoidales, de frecuencia diferente a la fundamental (armónicos), caídas y subidas de tensión y fluctuación de la tensión.

La gran mayoría de cargas eléctricas que ayudan a la automatización de los procesos industriales, son fuentes generadoras de armónicos, huecos en la tensión (*Sags*), sobretensiones (*Swells*), y fluctuaciones de tensión que se hacen visibles para el ojo humano (*Flickers*).

Actualmente los equipos para el análisis y medida de calidad de energía son equipos de alta tecnología con un coste elevado. Sin embargo, la reducción de costos, principalmente, en hardware hace viable que se estudie e implante este tipo de equipos en los centros de investigación local.

El grupo de investigación EPER (Electrónica de Potencia y Energías Renovables) de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, ha planificado una serie de proyectos a corto y mediano plazo con el propósito de investigar aplicaciones de control avanzado de convertidores electrónicos de potencia que se utilizan en la conversión de energías limpias. Para ello, es necesario proponer un primer proyecto que permita una aproximación al estudio, diseño e implementación de una plataforma experimental robusta que posibilite la investigación en esta área de conocimiento. La plataforma experimental no sólo servirá para el desarrollo de investigaciones sino que aportará un nuevo concepto

para el desarrollo de un futuro laboratorio de control avanzado que pueda dar soporte a Especializaciones y Maestrías en el campo de las Ingenierías de control.

1.2 Antecedentes

En la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga no existen referencias bibliográficas ni trabajos previos en el campo de la Calidad de Energía Eléctrica. En Colombia diferentes universidades han trabajado en este campo y actualmente esta línea ocupa gran parte de sus investigaciones y labores de consultoría. En el país la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) espera dentro de los supuestos de largo plazo desarrollar el concepto de Uso Racional de la Energía (URE), en nuestro particular hace énfasis sobre el análisis de calidad de energía como un aspecto importante que se debe reglamentar por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) para dar cumplimiento del uso racional de la energía.

Por otro lado, muchos equipos de medida de calidad de energía ingresan al mercado Colombiano pero este tipo de tecnologías impide la modificación y adaptación de las técnicas de medida en nuestro medio. Por lo tanto, se crea la necesidad de comprender a fondo los conceptos que rodean estos desarrollos para mejorar la integración con equipos existentes o diseñar nuevos equipos que se adapten a las necesidades del entorno industrial del país.

1.3 Objetivos y desarrollo de la tesis

De lo anterior y de la literatura consultada, se desprende la necesidad de elaborar un equipo de medición de calidad de energía eléctrica.

En la actualidad, el desarrollo de la microelectrónica permite abordar el diseño y aplicación de instrumentos de medición, que como se verá más adelante, son flexibles y podrían aportar muchas ventajas.

Los primeros desarrollos de estos equipos se basaron en integrados con poca capacidad de procesamiento, de gran consumo y de poco almacenamiento de datos en memoria. Hoy surgen propuestas de diseño de equipos con mini-tarjetas, procesadores embebidos de bajo consumo, discos de estado sólido y aplicaciones web.

En este contexto surge la propuesta de este trabajo de tesis que ha pretendido, fundamentalmente, diseñar e implementar un equipo analizador de calidad de energía eléctrica. Dadas las posibilidades de este equipo se puede utilizar en sistemas monofásicos y sistemas trifásicos, monitoreando las perturbaciones principales que afectan una red eléctrica. Como se presentará más adelante este trabajo ha permitido:

1. Estudiar los conceptos fundamentales de la calidad de energía.
2. Estudiar las diferentes alternativas para medición de tensión y corrientes en un sistema eléctrico.
3. Estudiar las diferentes normativas que regulan la medida de la calidad de energía eléctrica.
4. Diseñar e implementar un equipo de medida que permita analizar el mayor número de indicadores de calidad.

1.4 Organización de la exposición

Esta tesis se ha dividido en 5 capítulos y 2 apéndices. Se ha procurado concentrar en los capítulos el trabajo esencial de la tesis y los apéndices contienen información adicional que no es imprescindible para seguir la exposición, aunque sí para profundizar en determinados aspectos.

En el Capítulo 2 se presenta el estado del arte de los parámetros de calidad de energía eléctrica. En primer lugar se analizan las causas de una red contaminada, se mencionan algunas consecuencias legales y qué normativa existe para ejercer

sanción. En segundo lugar se describen los elementos necesarios que debe tener una onda para que cumpla con las normas y las emisiones electromagnéticas. Por último, se analizan cada una de las perturbaciones que afectan una red eléctrica y se estudian algunos parámetros para tener en cuenta durante la medición.

En el Capítulo 3 se presentan las variables que se están midiendo. En primer lugar se explica mediante diagrama de bloques el cálculo necesario para obtener los valores RMS de tensión y corriente, y su respectiva visualización. En segundo lugar se calcula y se explica el algoritmo de Huecos de tensión (*Sags*) y se nombran las variables y las normas a tener en cuenta para el desarrollo de este algoritmo. En tercer lugar se explica el algoritmo de sobretensiones (*Swells*) y se nombran las variables y normas a tener en cuenta para el desarrollo del mismo. En cuarto lugar mediante diagrama de bloques se explica cada uno de los pasos a seguir y los parámetros a tener en cuenta para el algoritmo de Parpadeos (*Flickers*). Por último, se hace una explicación del algoritmo de Armónicos, el cálculo de la distorsión armónica total y el factor de distorsión para las variables de corriente y tensión.

En el capítulo 4 se hace una descripción detallada de la plataforma experimental, en donde se explica el hardware y software escogido, y por qué cada uno de estos es la mejor opción para el desarrollo de esta tesis.

En el capítulo 5 se exponen las conclusiones de este trabajo, se resaltan las aportaciones originales y se proponen las posibles líneas de trabajo futuras.

Cierran la tesis una serie de apéndices en los que se ha incluido información adicional, que si bien no es imprescindible para la lectura de la tesis, sí es importante para realizar un estudio en profundidad de ciertos aspectos. En el apéndice A se muestran los diferentes organismos que participan en el análisis y la definición de la calidad de energía eléctrica. En el apéndice B se clasifican las diferentes normas y recomendaciones que regulan la calidad de onda.

2 ESTADO DEL ARTE

La calidad de servicio se ha identificado tradicionalmente con la continuidad en el suministro eléctrico, pero desde hace unos años se han integrado nuevos conceptos tales como la calidad de onda y la atención comercial (*Arrilaga and Bradley, 1985*). El mantenimiento de la calidad de onda depende de un conjunto muy amplio de factores, unos propios del sistema eléctrico y otros que dependen de la presencia de consumidores que introducen perturbaciones en la red.

El nivel de perturbación en algunas partes de la red pueden llegar a afectar negativamente a los usuarios conectados a la red de suministro eléctrico (*Akagi, 1996*). Por ello, los niveles de perturbación en las redes no deben sobrepasar un cierto valor de compromiso. Esto exige limitar el efecto de emisión de las perturbaciones por parte de los equipos conectados a estas mismas redes o instalar dispositivos de compensación, con el fin de disminuir al máximo las emisiones que se detectan en una red eléctrica, así como reducir en lo posible las repercusiones que pueden tener dichas alteraciones sobre el funcionamiento del equipo conectado a la red. Lo anterior justifica en parte la propuesta de este proyecto.

Las autoridades competentes de cada país fijan unos criterios normativos para asegurar que los niveles de perturbación en la red eléctrica no sobrepasen el nivel de compromiso. Las autoridades deben fijar los niveles máximos permitidos de emisión para los diferentes tipos de equipos que se conectan en la red, así como los niveles mínimos de inmunidad de los equipos que se conectan a red (*Arrilaga and Watson, 2000*).

Por un lado, las empresas suministradoras deben vigilar el nivel de perturbación en sus redes y garantizar que la suma de las emisiones de las perturbaciones procedentes de los equipos conectados a la red no sobrepasa el valor de referencia especificado, imponiendo para ello la corrección de las perturbaciones

en aquellos equipos que superen el límite permitido. Por otro lado, los fabricantes de equipos eléctricos deben ajustar sus diseños para cumplir los requisitos regulados de emisión e inmunidad a las perturbaciones.

En este compromiso y coordinación entre las diferentes partes, la regulación normativa juega un papel esencial. Dicha regulación debe realizarse en el ámbito internacional, al amparo de los organismos internacionales de normalización, teniendo en cuenta el carácter global de los mercados actuales.

2.1 Calidad de onda y compatibilidad electromagnética

La calidad de onda hace referencia a la onda de tensión de suministro y las perturbaciones asociadas a la misma. Agrupa prácticamente todas las perturbaciones de origen técnico, salvo las interrupciones largas de suministro que se encuadran dentro de la continuidad del suministro o fiabilidad. La onda de tensión ideal es sinusoidal, con amplitud y frecuencia determinadas e invariables, con simetría de fases (en los sistemas trifásicos) (*Arrilaga and Watson, 2000*). Cuando estas características son alteradas variando sus condiciones ideales, se dice que la onda de tensión sufre perturbaciones.

Un suministro con buena calidad de onda debería mantener estas perturbaciones dentro de unos límites aceptables. En el Cuadro 1, se presenta una clasificación de las perturbaciones que pueden afectar las distintas características de la onda de tensión. El compromiso entre emisión e inmunidad a las perturbaciones se resuelve por medio de las normas de compatibilidad electromagnética (CEM) (IEC61000-1-1, 1992).

Cuadro 1. Perturbaciones asociadas a las características de la onda de tensión

Característica	Perturbaciones asociada
Frecuencia	Variaciones de frecuencia
Amplitud	Variaciones lentas Variaciones rápidas Parpadeo (<i>Flicker</i>) Interrupciones breves Huecos Sobretensiones temporales Sobretensiones transitorias
Simetría de fases	Desequilibrio
Formas de onda	Tensión armónica Tensión interarmónica

Fuente. Los autores

Con fundamento en la norma IEC61000-1-1, la compatibilidad electromagnética se define como la aptitud de los dispositivos, aparatos o sistemas para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir ellos mismos perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentra en su entorno. Las características que deben cumplir los dispositivos, aparatos o sistemas para ser compatibles se describen en unas normas internacionales donde también se describen las perturbaciones existentes en un sistema de distribución de energía eléctrica y los límites máximos de las mismas (CEI 61000-2-1, CEI 61000-2-2). Basándose en esas normas, la CENELEC desarrolló la norma europea EN 50160, más tarde adaptada a la norma española UNE-EN 50160, que busca uniformizar en todo el territorio de la Unión Europea la electricidad definida como producto. Cada perturbación tiene un índice asociado sobre el cual existe un importante consenso internacional. La nueva norma europea CEI 61000-4-30 describe exactamente cómo debe medirse cada una de las perturbaciones descritas. Se muestran los diferentes organismos que participan en el análisis y la definición de la compatibilidad electromagnética.

Existe un consenso internacional para establecer unos niveles de compatibilidad en los diferentes ambientes electromagnéticos, niveles que hacen posible el adecuado funcionamiento de los equipos, tanto de aquellos que emiten perturbaciones como de aquellos que son susceptibles a las mismas. Un ejemplo de ello lo constituye el caso de las perturbaciones que afectan a la onda de tensión en un sistema de distribución de energía eléctrica (armónicos, parpadeo, huecos, entre otros).

Diversas asociaciones y entidades normativas (CEI, CENELEC, IEEE, UIE, CIGRE, etc.) han propuesto unos niveles de compatibilidad electromagnética (niveles de CEM) para los distintos tipos de perturbación de onda de tensión (IEC61000-2-2, 2002). Estos niveles coordinan la aptitud de los equipos para soportar unos niveles de perturbación, y los niveles de perturbación máximos que deben existir en la red. Por un lado se tiene la función de probabilidad de la inmunidad de los equipos, es decir qué probabilidad tienen de ser inmunes a un nivel de perturbación dado.

En las distintas normativas se establecen los límites en términos de probabilidad debido al carácter aleatorio de la mayoría de las perturbaciones existentes en el sistema. Se considera, por ejemplo, que un equipo debe ser inmune, con un 95% de probabilidad, al nivel de perturbación fijado en los niveles de CEM. De ello deben encargarse los fabricantes de equipos, con diseños aptos para funcionar con normalidad con esos niveles de perturbación. También, se considera que debe haber un 95% de probabilidad de que las perturbaciones emitidas sean inferiores al límite de emisión fijado por los niveles CEM. Con este límite deben controlarse todos los emisores de perturbaciones.

En el caso del suministro de electricidad, se considera imposible o con probabilidad cero suministrar un producto electricidad perfecto. Además, los niveles de compatibilidad electromagnética consideran que los límites fijados deben cumplirse durante el 95% del tiempo, y en el 95% de los puntos de la red.

Incluyen por lo tanto una componente aleatoria ligada no sólo con el tiempo, sino también al espacio.

2.2 Perturbaciones de la onda de tensión

En la normativa europea 85/374/EEC, se define la electricidad como producto, y como tal su suministro debe regirse por los mismos derechos y obligaciones que la distribución de cualquier otro producto comercial. Ello implica una descripción exacta del producto electricidad, con las propiedades que debe tener. La norma europea EN 50160 define y uniformiza el producto electricidad en toda la Unión Europea. Esta norma no fija niveles de compatibilidad electromagnética, sino que describe cómo debe ser la electricidad que se suministra a cada cliente, o los niveles máximos de perturbaciones que pueden existir en cada punto de la red de suministro.

A continuación se presenta un resumen de algunas perturbaciones de la onda de tensión y los límites propuestos en la norma UNE-EN 50160 (derivada de la norma europea) (UNE-EN 50160, 1996)

2.2.1 Tensión armónica: son las tensiones sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación. Los armónicos se miden como la amplitud relativa de su valor eficaz (medida del valor eficaz en periodos de 10 min) frente al de la frecuencia fundamental. Se consideran límites para cada armónico individual (ver Cuadro 2), y un máximo de un 8% para la tasa de distorsión armónica total, durante el 95% del tiempo. Estos límites son los mismos en baja y en media tensión, y deben cumplirse en periodos de una semana. Las ecuaciones de amplitud relativa del armónico h , V_h y la tasa de distorsión armónica total de la tensión (THD_v) son las siguientes:

$$X_h = 100 \frac{V_h}{V_1} \quad (1)$$

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} V_h^2} \quad (2)$$

donde V_h es la tensión armónica, THD_v la distorsión armónica de la tensión y THD_i la distorsión armónica de la corriente.

Cuadro 2. Valores máximos permitidos de las tensiones de armónicos en los puntos de suministro expresados en porcentaje de la tensión nominal.

Armónicos Impares				Armónicos Pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3		Orden Armónico	Tensión Relativa
Orden Armónico	Tensión Relativa	Orden Armónico	Tensión Relativa		
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	0,5%	6..24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Fuente. Los autores

En gran medida, las tensiones armónicas son producidas por las cargas conectadas a la red que demandan corrientes no sinusoidales. Entre ellas, se pueden encontrar cargas de uso industrial: convertidores de potencia (rectificadores), hornos de inducción, hornos de arco y también cargas de uso doméstico: receptores de televisión, lámparas fluorescentes, etc. Las tensiones armónicas afectan negativamente a los equipos de control y protecciones, pueden provocar sobrecalentamientos de motores y condensadores, aumento de pérdidas,

errores en la medición de energía eléctrica, interferencia con sistemas de telecomunicación, etc.

Es importante señalar que las tensiones armónicas de la red de alimentación se deben principalmente a las cargas no lineales de los clientes conectadas en todos los niveles de tensión de la red de alimentación. Las corrientes armónicas que circulan por la red dan lugar a tensiones armónicas. Las corrientes armónicas, las impedancias de la red y por consiguiente las tensiones armónicas en los puntos de suministro, varían en el tiempo.

En las condiciones normales de explotación, para cada periodo de una semana, el 95% de los valores medidos de cada armónico no deben sobrepasar los valores indicados en el Cuadro 2.

Además, la tasa de distorsión armónica total de la tensión suministrada (comprendidos todos los armónicos hasta el orden 40) no deben sobrepasar el 8%.

2.2.2 Desequilibrios de la tensión suministrada: se considera que hay un desequilibrio de la tensión suministrada cuando el valor eficaz de las tensiones de las fases o los desfases entre fases no son iguales. Para medirlo se utiliza el valor eficaz de la componente de secuencia inversa de la tensión trifásica. Se considera a esta componente como la componente dañina para los equipos conectados a la red eléctrica. El valor de secuencia inversa no debe superar el 2% de la componente de secuencia directa durante el 95% del tiempo, ya sea en baja o media tensión, aunque se advierte que en áreas donde se distribuye con 1 fase o 2 fases, puede haber desequilibrios de hasta un 3%.

El origen de los desequilibrios se debe principalmente a cargas monofásicas importantes (unidades de tracción ferroviaria, hornos de inducción), cargas trifásicas desequilibradas, hornos de arco, distribución en 1 ó 2 fases, mala planificación de cargas, etc. Tiene los siguientes efectos negativos (*Akagi and*

Watanabe, 2007): pares parásitos de frenado y sobrecalentamiento de máquinas rotativas, disminución de la capacidad de transporte, mal funcionamiento de equipos electrónicos de control y protección, fallos en la operación de los rectificadores controlados, etc.

2.2.3 Variaciones de frecuencia: la frecuencia del sistema debe ser de 60Hz. En sistemas síncronos interconectados, se permite una variación de $\pm 1\%$ durante el 95% del tiempo, y de $\pm 4\%$ - $\pm 6\%$ durante el 100% del tiempo. Estos límites son igualmente válidos en baja tensión como en media tensión. Los efectos negativos de esta perturbación son cambios de velocidad en máquinas rotativas, el mal funcionamiento de equipos que incorporan sincronizaciones, sobrecalentamientos, etc.

2.2.4 Variaciones lentas de tensión: el nivel de tensión de suministro de referencia en baja tensión debe ser 230 V, medido como la media del valor eficaz en un periodo de 10 min. En sistemas monofásicos, estos 120 V deben estar entre fase y neutro. En los sistemas trifásicos, debe haber 120 V entre fases. En media tensión la tensión de referencia será la pactada entre el distribuidor y el cliente como la tensión declarada de suministro. Las variaciones lentas de la tensión suministrada hacen referencia a los valores que puede tomar la tensión durante periodos largos de tiempo. Los límites de variación en torno a la tensión de referencia, tanto en baja tensión como en media tensión, son de $\pm 10\%$ durante el 95% del tiempo (medido durante una semana).

Esta perturbación se debe principalmente al diseño de la red de distribución (*Arrillaga and Watson, 2000*), líneas demasiado largas, cargas demasiado grandes para las líneas existentes, mal ajuste de los transformadores en regulación o con tomas, etc. También puede aparecer con variaciones de la carga total de la red de distribución o de parte de esa red. Esta perturbación puede provocar dificultades en arranques de motores y en cebados de lámparas de descarga, así como sobrecalentamientos, reducción de la vida útil de equipos, etc.

2.2.5 Variaciones rápidas de tensión: se considera como variación rápida de tensión un cambio del valor eficaz de la tensión de alimentación dentro de los límites aceptados de nivel de tensión en poco tiempo. La norma no da unos límites a este tipo de variación. Únicamente indica que lo normal es que estos cambios no excedan en baja tensión un 5% aunque pueden llegar hasta un 10% en algunas circunstancias, y varias veces al día. Para media tensión, indican unas variaciones tipo usual y posible de 4% y 6% respectivamente. En el caso de que la tensión resultante después del cambio sea inferior al 95% de la tensión de alimentación (límite de la variación de tensión suministrada), la perturbación es considerada como un hueco.

El origen de esta perturbación son las conexiones o desconexiones de cargas importantes o la actuación de protecciones en otras líneas. Únicamente tiene algún efecto negativo cuando se produce de forma repetida o periódica, provocando el fenómeno visual del parpadeo. Una variación rápida de tensión aislada no suele tener consecuencias negativas.

2.2.6 Parpadeo (flicker): el parpadeo es una impresión de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo. Las fluctuaciones de tensión provocan variaciones de luminancia del alumbrado, lo que produce el fenómeno ocular llamado parpadeo. Por encima de un cierto umbral, el parpadeo se vuelve molesto. Esta molestia aumenta rápidamente con la amplitud de la fluctuación. Para ciertas tasas de repetición, amplitudes incluso débiles pueden resultar molestas. Para medir el parpadeo se ha diseñado el índice de severidad que necesita 2 horas de medición (IEC61000-4-30, 2003). Este índice está diseñado de forma que el umbral de molestia se encuentra para la mayoría de personas en un valor de 1 del índice de severidad. La norma establece como criterio que el índice debe ser inferior a 1 durante el 95% del tiempo, medido durante un periodo de una semana, ya sea en baja o en media tensión.

Su origen es distinto de las variaciones rápidas de tensión. Suele ser provocado por cargas fluctuantes muy importantes: hornos de arco, soldadura por puntos, motores con arranques frecuentes, laminadores, molinos industriales, maquinas herramientas, etc. Y su efecto son las molestias visuales en espacios iluminados con lámparas incandescentes, así como el mal funcionamiento de televisores, de ordenadores, de radares, etc.

2.2.7 Huecos de tensión: Se considera que existe un hueco cuando la tensión suministrada disminuye bruscamente por debajo del 90% de la tensión contratada y por encima del 1%, recuperándose al cabo de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de tensión dura entre 10 milisegundos y 1 minuto. Existen huecos complejos, compuestos por huecos simples que afectan a 2 ó 3 fase de un sistema trifásico. La norma tampoco propone un límite de número de huecos. Únicamente indica que puede haber desde algunas decenas hasta mil huecos al año, y que la mayoría son de menos de 1 s y menos del 60% de profundidad.

El origen de los huecos son faltas en otras líneas, operación de sistemas de protección, conexión de cargas, etc. Tiene los siguientes efectos negativos (*Akagi, 1997*): mal funcionamiento de equipos electrónicos de control y protección, variación de la velocidad de motores o parada de éstos, inconvenientes derivados de re arranques de motores y máquinas, fallos y errores en procesos informáticos, apagado de lámparas de arco, etc.

2.2.8 Cortes breves de tensión: se considera una interrupción breve cuando la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1% del valor de tensión acordado y dura menos de 3 minutos. Estas interrupciones son provocadas por faltas despejadas por los sistemas de protección con reposición del suministro, todo ello de manera automática. En España la duración de las interrupciones breves ha sido históricamente de 1 minuto, pero la norma UNE-EN 50160 ha adoptado 3 minutos debido a que algunos países europeos utilizan lógicas de despeje de faltas que necesitan de más tiempo. Como todas las perturbaciones debidas a

faltas con alto componente de aleatoriedad, la norma únicamente muestra valores indicativos: desde unas decenas a unas centenas al año. La mayoría no debería exceder de 1s.

El origen de las interrupciones breves es el mismo que el de los huecos (*Arrilaga. J. and Watson, 2000*): una falta aleatoria y la operación de los sistemas de protección en una línea provocan interrupciones breves en esa línea, y huecos en las líneas próximas. Su efecto también es similar, ya que son como un gran hueco: mal funcionamiento de equipos electrónicos de control y protección, parada de motores, inconvenientes derivados de re arranques en máquinas, fallos y errores en procesos informáticos, apagado de lámparas de arco, actuación indeseada de relés y contactores, etc.

2.2.9 Sobretensiones temporales: son las sobretensiones temporales a la frecuencia de la red, entre fase y tierra, de valores significativos y duración relativamente larga en un lugar dado. La tensión suministrada conserva las características sinusoidales y de frecuencia habituales, pero con un valor de tensión mucho mayor. La norma únicamente propone un valor máximo indicativo. Estas sobretensiones no deberían sobrepasar típicamente 1,5 kV en baja tensión, y entre 1,7 y 2 veces la tensión declarada en media tensión según el tipo de conexión del hilo neutro (*Arrilaga. J. and Bradley, 1985*). Tampoco indica cuántas pueden ocurrir, ni dan un límite. A menudo, estas sobretensiones son consideradas huecos, ya que son lo mismo pero de signo contrario.

Se originan en faltas en línea u otras líneas, en la operación de los sistemas de protección, en la desconexión de cargas, etc. Pueden quemar el aislamiento de equipos, o provocar un mal funcionamiento.

2.2.10 Sobretensiones transitorias: las sobretensiones transitorias, también llamadas, impulsos de tensión, son fuertes y de muy corta duración (desde algún microsegundo hasta varios milisegundos). La norma tampoco da límites para el número de impulsos, ni su tamaño. Únicamente indica que no suele sobrepasar 6

kV de pico en baja tensión. Aconseja tomar precauciones suficientes para poder soportar este tipo de impulsos, teniendo en cuenta la energía que trasporte. Distingue entre los impulsos debidos a descargas atmosféricas y los debidos a maniobras en las redes.

Estos impulsos se deben principalmente a las descargas atmosféricas sobre la red, aunque también se producen con la operación de los sistemas de protección. Su efecto es que pueden quemar componentes electrónicos en equipos conectados en ese momento.

2.2.11 Tensiones interarmónicas: son las tensiones sinusoidales cuya frecuencia no es un múltiplo entre la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación. Se mide como la amplitud relativa de su valor eficaz (media del valor eficaz en periodos de 10 min) frente al de la frecuencia fundamental. La norma no propone ni siquiera niveles indicativos de lo que puede existir en la red. Los niveles CEM indican en cambio un límite de 0,2% para cada tensión interarmónica individual.

Son generadas por ciertas cargas que demandan corrientes no sinusoidales (*Arrilaga. J. and Watson, 2000*): convertidores de frecuencia estáticos, cicloconvertidores, cascada de convertidores subsíncronos, motores de inducción, soldadura por arco, hornos de arco, etc. Los interarmónicos perturban esencialmente el funcionamiento de los sistemas de transmisión de señales para telemando (110Hz a 500Hz).

3. ALGORITMOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PERTURBACIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

En este capítulo se presenta el desarrollo de cada una de las variables que se escogieron para hacer la medición de calidad de onda. Además se explican las normas que están contempladas para la elaboración de los medidores de cada una de estas variables.

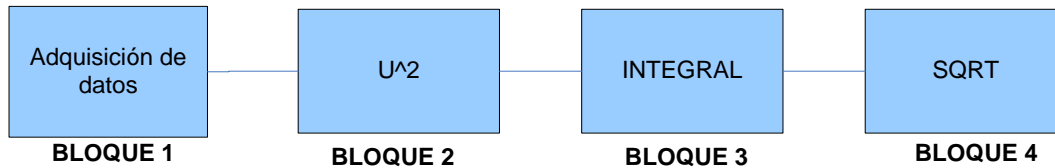
3.1 Algoritmo Adquisición de datos y valores RMS

Se ha dicho que el valor eficaz, es el valor definitorio más importante de las funciones periódicas. Se trata del valor que está directamente relacionado con la potencia eléctrica. Matemáticamente corresponde a la raíz cuadrada del valor medio total de la función cuadrática, (de ahí su nombre en inglés Root Mean Square Value o valor RMS)(Chacon. F. 2007).

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (3)$$

En la figura (1), se muestra el algoritmo implementado mediante un diagrama de bloques.

Figura 1. Diagrama de bloque cálculo RMS



Fuente. Los autores.

3.1.1 Bloque 1: La adquisición de datos se desarrolla, habilitando en Matlab el canal de la tarjeta de adquisición de datos. Una vez este canal este activado y con total comunicación con Matlab, se reciben los datos y se guardan en un vector U para los diferentes cálculos a realizar.

3.1.2 Bloque 2: Ya teniendo los datos guardados en un vector, se eleva al cuadrado el vector U.

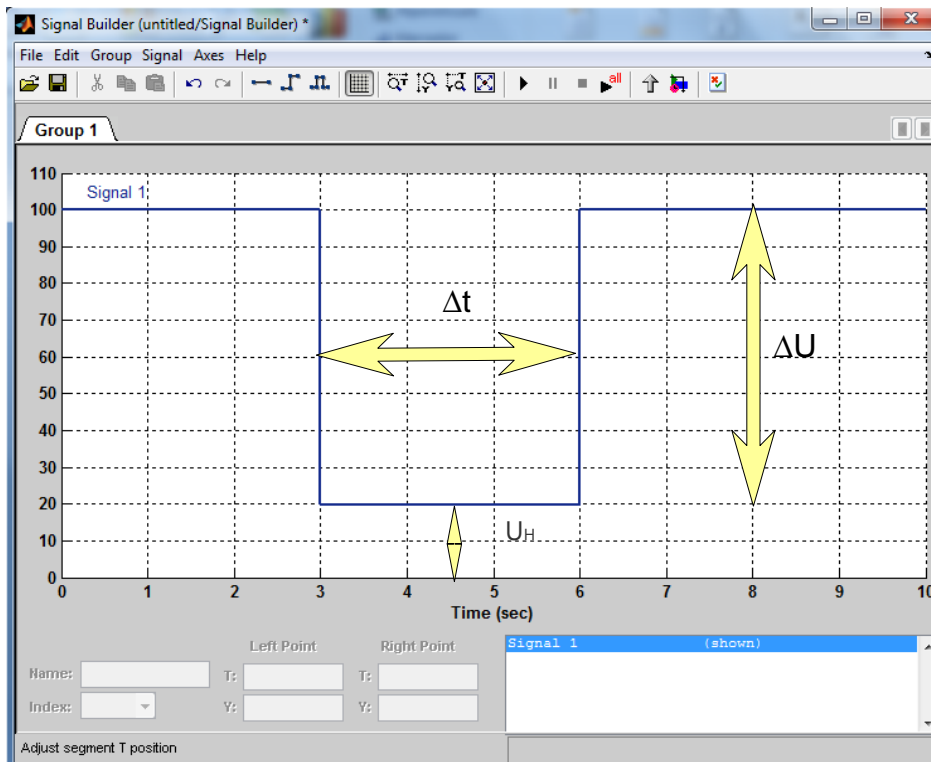
3.1.3 Bloque 3: Se realiza una integral del vector U²

3.1.4 Bloque 4: Se le saca la raíz cuadrada al valor absoluto de la integral.

3.2 Algoritmo Huecos de Tensión (Sags)

Es la disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90 y el 1% de la tensión declarada U_c , seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de tensión dura de 10ms a 1 minuto. La profundidad de un hueco de tensión es definida como la diferencia entre la tensión eficaz durante el hueco de tensión y la tensión declarada. Las variaciones de tensión que no reducen las variaciones de tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión declarada no son consideradas como huecos de tensión.

Figura 2. Hueco de Tensión



Fuente. Los Autores

Donde U_H es la magnitud de la tensión del hueco, ΔU es la caída de tensión del hueco y Δt es la duración del hueco.

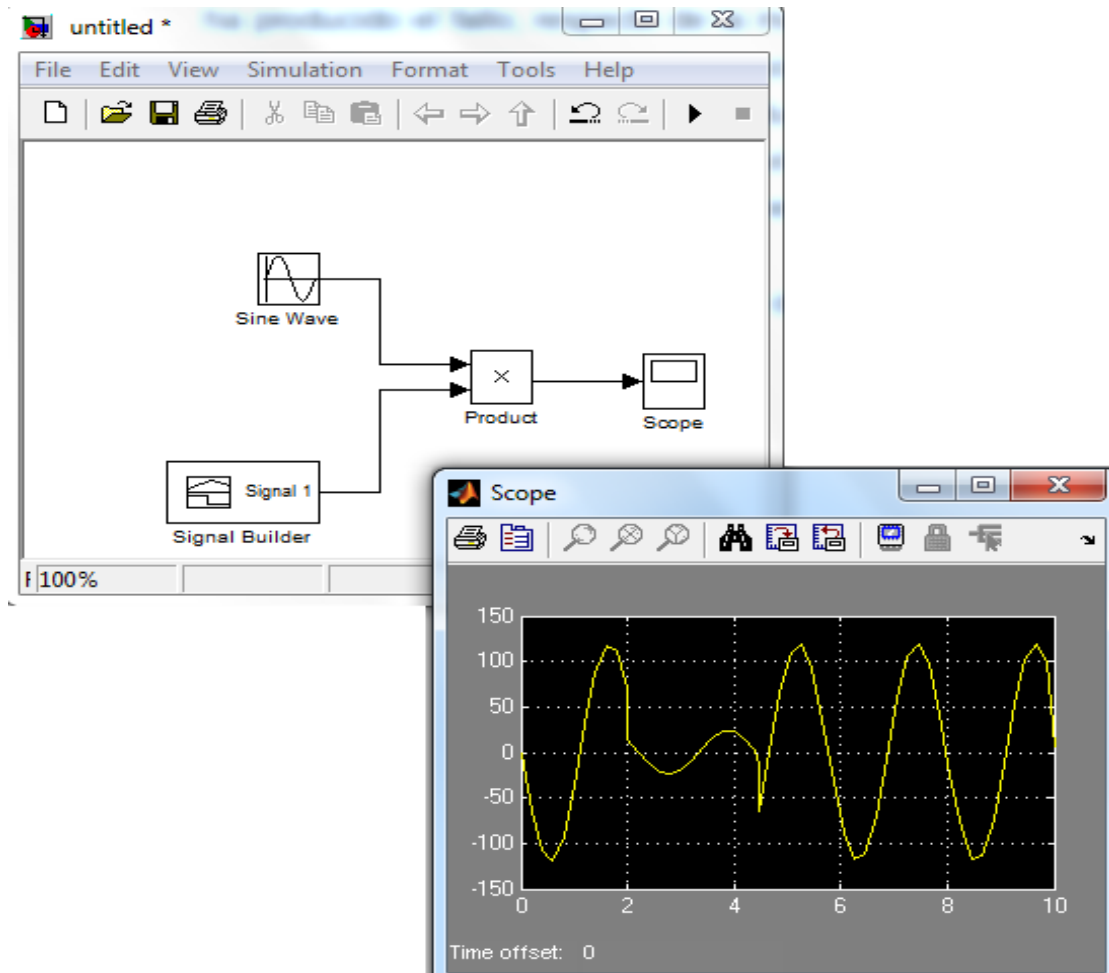
La influencia de los huecos de tensión en el punto de conexión de un consumidor depende de la potencia de cortocircuito y de la distancia al punto de origen de la perturbación, así como de la interconexión, del diseño de las líneas de transporte, conexionado de los transformadores, etc.

Cuando en un sistema trifásico simétrico se produce un fallo fase a tierra con caída de la tensión en una sola fase, la influencia de esta perturbación sobre las fases no afectadas por el fallo depende de la carga acoplada en cada fase y de la conexión de los transformadores.

En el caso de una conexión en estrella con el neutro puesto a tierra rígidamente, el potencial de referencia es fijo. La perturbación en una sola fase tiene un efecto limitado sobre la variación de tensión en las fases en las que no se ha producido el fallo. Una de las desventajas es el aumento del flujo de corriente a través del neutro, ya que este último puede formar un circuito en caso de fallos de fase a tierra. Dicho circuito no puede formarse si los equipos activos en una red acoplada galvánicamente se conectan en triángulo o en estrella sin conectar el neutro a tierra.

Los transformadores reductores con un devanado en triángulo filtran las componentes homopolares. Este filtrado produce el efecto de proporcionar simetría y reducir las consecuencias de un fallo desequilibrado. Al producirse una falta fase-tierra en la red donde esté conectada el primario, en el secundario de dicho tipo de transformador aumenta la magnitud de la tensión en la fase en que se ha producido el fallo, respecto de la magnitud de la tensión en el primario (que será en donde se dé el hueco de mayor profundidad). Los valores de tensión de las fases en las que no se ha producido fallo alguno disminuyen ligeramente respecto a las del primario, por lo que el grado de asimetría también disminuye en comparación con el sistema de tensiones en el primario (Figura 3)

Figura 3. Ejemplo de hueco monofásico



Fuente. Los autores

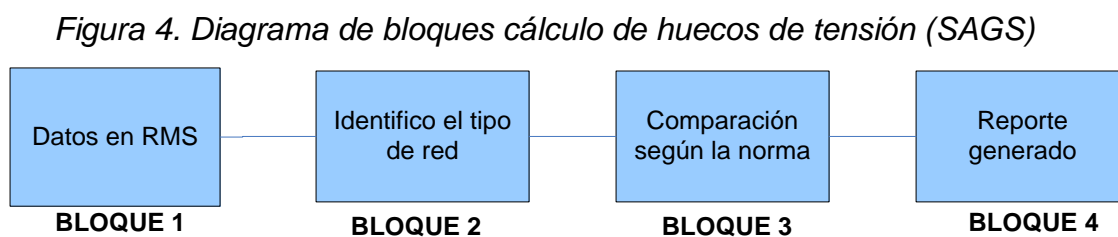
De modo que queda claro que las conexiones de los transformadores influyen en la transmisión de huecos de tensión, siendo en general más profundos en el lado donde se originó la falta.

Aparentemente resultaría obvio que cuanto más lejana sea la falta, menor perturbación ocasiona. Esta afirmación sin embargo puede inducir frecuentemente a error. Los términos “lejano” o “cercano” se refieren a distancias eléctricas que muchas veces pueden tener poco que ver con las geográficas.

La única forma de determinar adecuadamente los efectos de las faltas es determinar lo que se conoce como “área de influencia”. El área de influencia correspondiente a un punto de suministro es la porción de red tal que, de producirse una falta en algún punto de la misma, producirá en el punto de suministro un hueco de tensión de magnitud igual o mayor a un valor predefinido. Debido a que la red no siempre es radial, y que cuando está mallada, la correspondencia entre distancia eléctrica y geográfica es mucho menor, el área de influencia puede tener formas diversas. Para calcular la forma de la “áreas de influencia” de los distintos nudos de la red, se pueden utilizar programas convencionales de cálculo de faltas para determinar dicha área (*Proyecto PIE 132305*).

En Colombia existe la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la cual se encarga de ejercer y cumplir con la normativa de calidad de energía (Apéndice A). Según la resolución CREG 024 – 2005 (Apéndice B), se establece que las tensiones en estado estacionario a 60Hz no podrán ser inferiores al 90%, pero en algunas normas internacionales se establece que la tensión no deberá ser menor al 60%.

Siguiendo con las normas Internacionales y la normatividad establecida por la CREG, este proyecto desarrolla un algoritmo para identificar los huecos de tensión que se producen en una red eléctrica. En la figura 4, se muestra el diagrama de bloques del algoritmo implementado para el cálculo de huecos de tensión.



Fuente. Los autores

3.2.1 Bloque 1: En el bloque uno se tiene el valor RMS de la señal, no es necesario hacer el cálculo de los huecos de tensión con el valor RMS, también es posible obtenerlo con el voltaje pico de la señal.

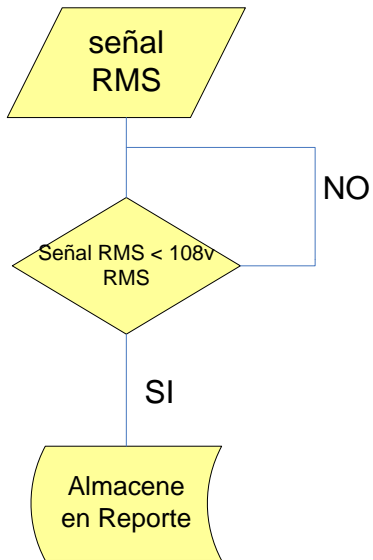
Para este proyecto se realizó el cálculo obteniendo el voltaje RMS de la señal, y luego se lleva a un vector en donde se van guardando los datos para realizar el cálculo.

3.2.2 Bloque 2: Luego de tener el voltaje RMS de la señal, es necesario identificar el tipo de red que se está midiendo y dependiendo de este análisis se escoge el valor de tensión que aparece en la interfaz gráfica de usuario, estas opciones son 120V, 208V, 240V, 380V y 480V. Luego de escoger este valor se compara la señal con los valores que exige la norma.

3.2.3 Bloque 3: Esta comparación que se realiza, es el resultado de la aplicación de la norma UNE – EN 50160 (Apéndice B), esta norma dice “que se considera un hueco de tensión, al valor por debajo del 90% del valor eficaz de la señal”, es decir una vez teniendo la configuración de la red que se está midiendo se compara de la siguiente manera:

Si la señal es de 120V RMS se compara con un valor de 108V RMS, ver figura 5.

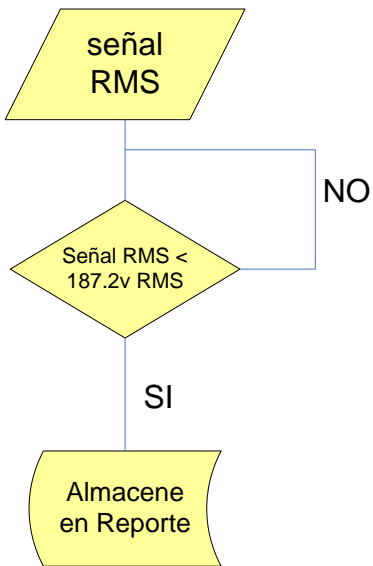
Figura 5. Comparación 120V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 208V RMS se compara con 187.2V RMS, ver figura 6.

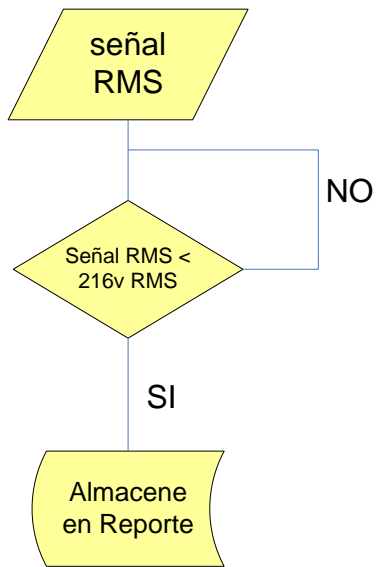
Figura 6. Comparación 208V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 240V RMS se compara con 216V RMS, ver figura 7

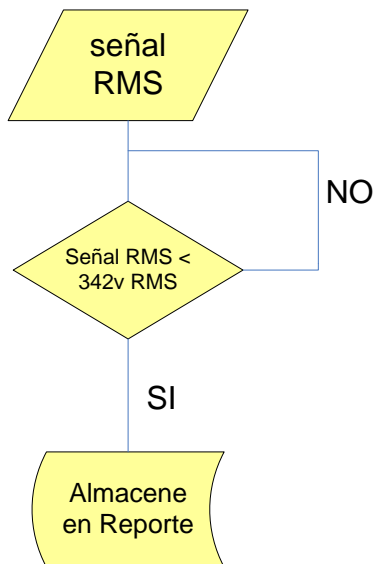
Figura 7. Comparación 240V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 380V RMS se compara con 342V RMS, ver figura 8

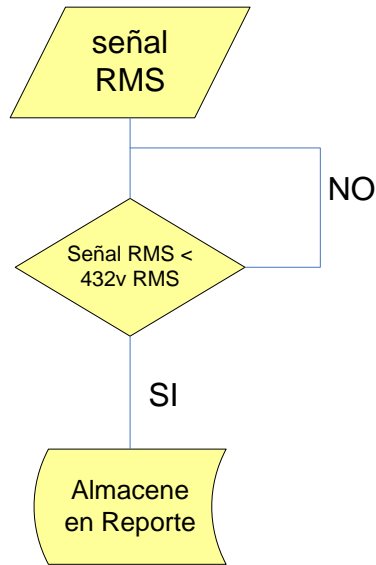
Figura 8. Comparación 380V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 480V RMS se compara con 432V RMS, ver figura 9

Figura 9. Comparación 480V RMS



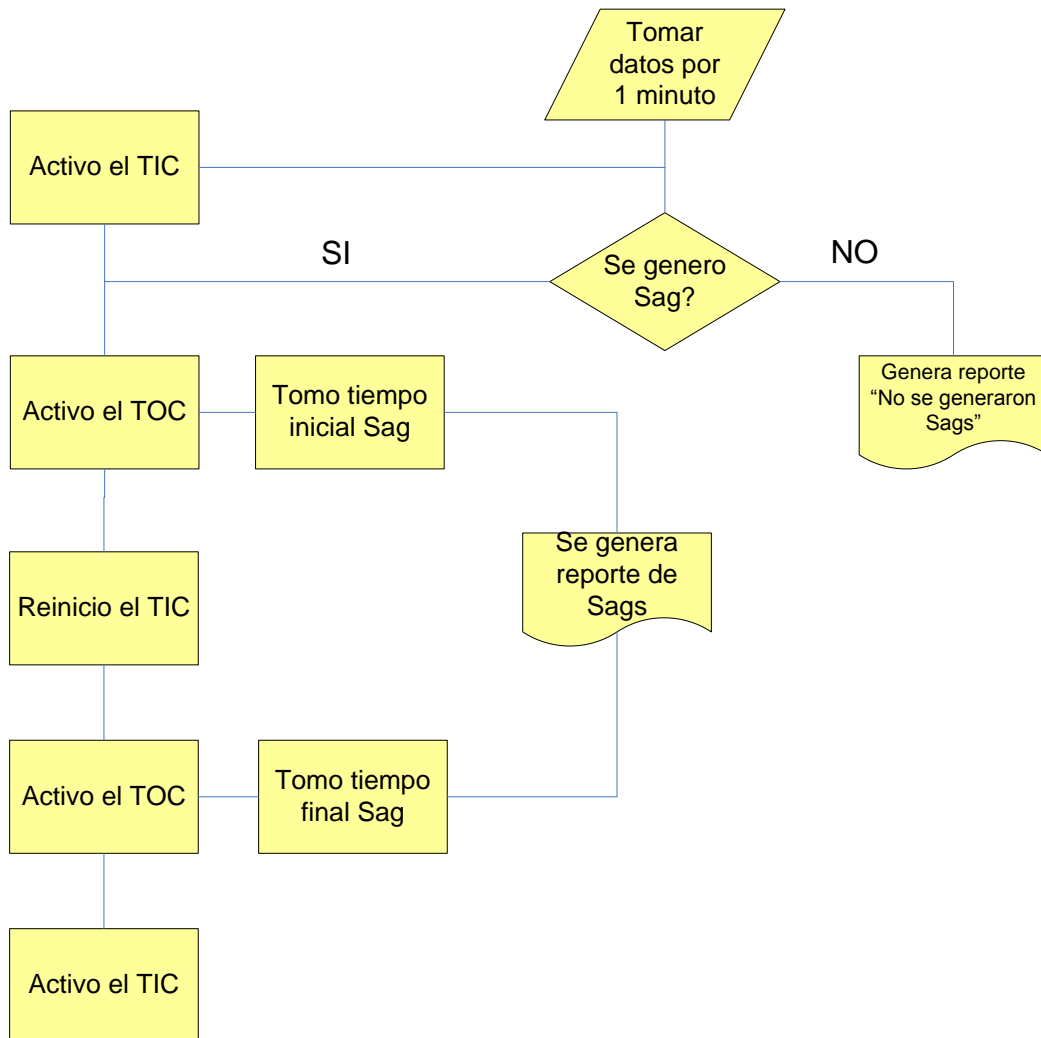
Fuente. Los autores

Una vez se realizó esta comparación, se entrega un reporte al usuario.

3.2.4 Bloque 4: En este bloque, se realiza la generación de un reporte al usuario del analizador de calidad de energía eléctrica, para ello es necesario tener en cuenta los tiempos de inicio y finalización de cada Sags.

Si no existieron Sags en el reporte se genera un comentario diciendo: “No se generaron Sags”. En la figura 10 se aprecia cómo se desarrolla la generación del reporte.

Figura 10. Generación de reporte



Fuente. Los autores.

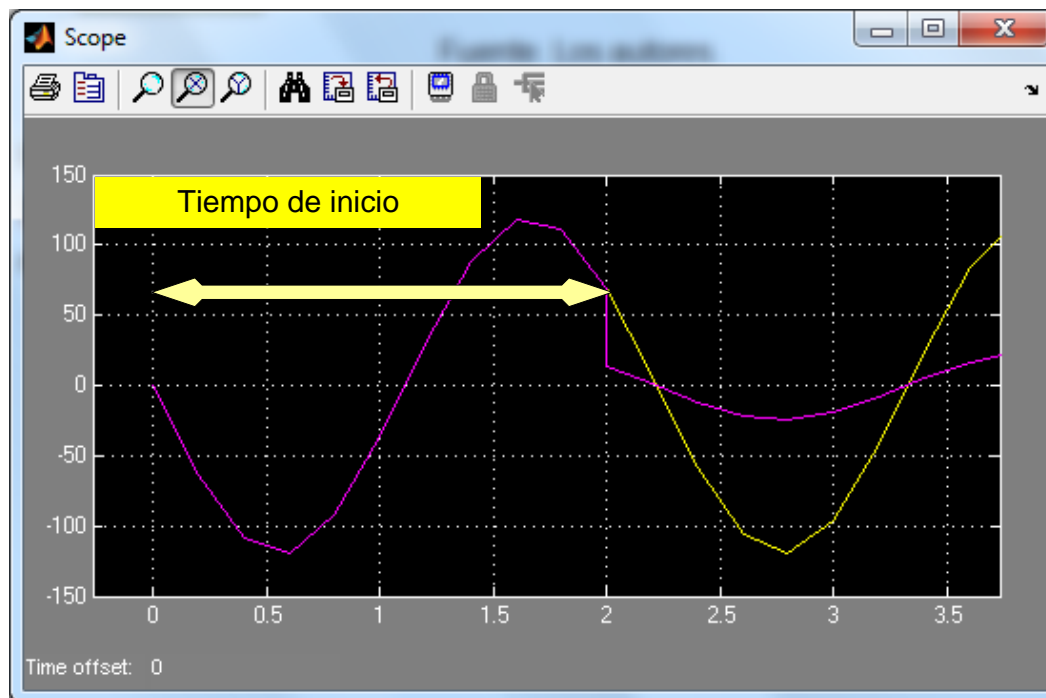
Al iniciar la captura de datos de Sags, se inicia un reloj y el sistema comienza a preguntar constantemente si se han generado Sag, si no se han generado ningún Sag durante el tiempo de medición, este entrega un reporte indicando que no se detecto ningún Sag en la medición.

Si el instrumento sí detectó un Sag, este llama una función de Toc, la cual toma el dato del reloj que se inició cuando comenzó la captura de datos, y lo guarda en un vector A, luego inicia nuevamente el reloj, hasta que detecte el final del Sag y

nuevamente activa la función de Toc para que entregue el dato final y lo guarde en una segunda posición del vector A.

En la figura 11y 12, se aprecia el punto de inicio y el punto de recuperación del Sag. Estos puntos son necesarios para generar el reporte y además conocer mucho más a fondo el comportamiento de un Sag. En estas dos figuras, la gráfica amarilla representa el trazo de la señal en estado normal, y la gráfica morada representa el trazo de la señal bajo el estado de Sags.

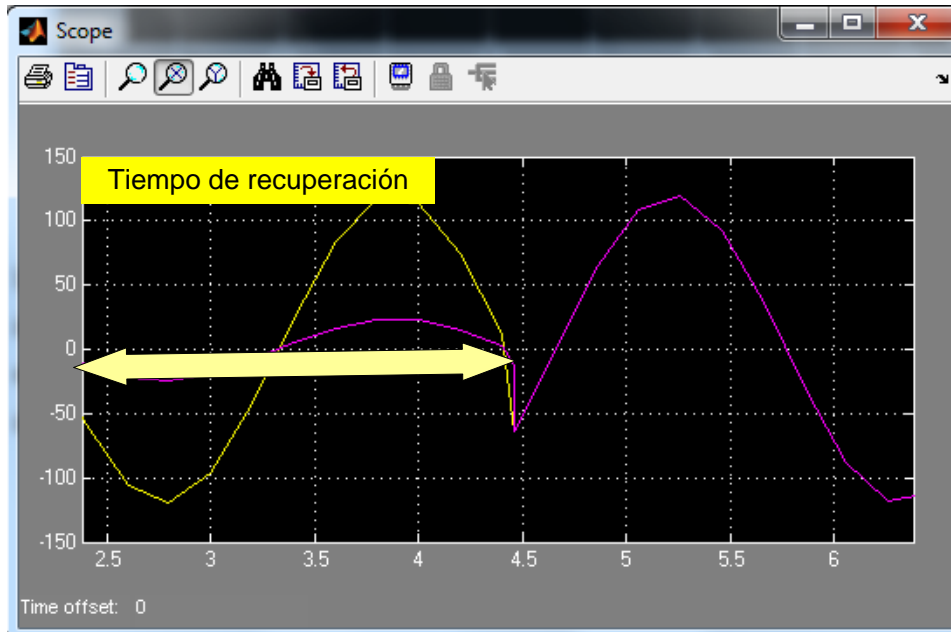
Figura 11. Punto inicio Sag



Fuente. Los autores

La figura 11, se basa en una simulación de 10 segundos, se observa un tiempo inicial de 2 segundos aproximadamente. Este tiempo inicial es justo el momento en que se llama a la función Toc para que tome el dato que lleva el Tic, e inmediatamente se reinicia el Tic.

Figura 12. Punto de recuperación Sag



Fuente. Los autores

En la figura 12 se muestra el tiempo de recuperación de la señal de Sag, este tiempo de recuperación quiere decir que es el momento en que llega a su final el Sag, como se observa en la gráfica, para este caso simulado es de 4,5s, en este momento de recuperación del Sag es cuando nuevamente se llama a la función Toc para que entregue el dato que traía el Tic y así poder obtener el tiempo final de Sag.

Una vez obtenidos los datos de tiempo inicial y tiempo de recuperación, se le entrega al usuario un reporte indicándole estos tiempos para cada Sag que se detecta en el instrumento.

3.3 Algoritmo de Sobretensiones (*Swells*)

Una sobretensión se define como un incremento en el voltaje RMS o la corriente a la frecuencia de alimentación durante 0.5 ciclos a 1 minuto. Las magnitudes típicas están entre 1.1 y 1.8 por unidad.

Como con los *Sags*, los *swells* están usualmente asociados con fallas en el sistema, pero son mucho menos comunes que las caídas de tensión. Un *Swells* puede ocurrir debido a la falla de una sola línea a tierra en el sistema, dando como resultado un aumento de tensión temporal en las líneas que no presentan falla. Estos también pueden ser causados por la conmutación de una gran carga o al encender un banco de condensadores de gran tamaño.

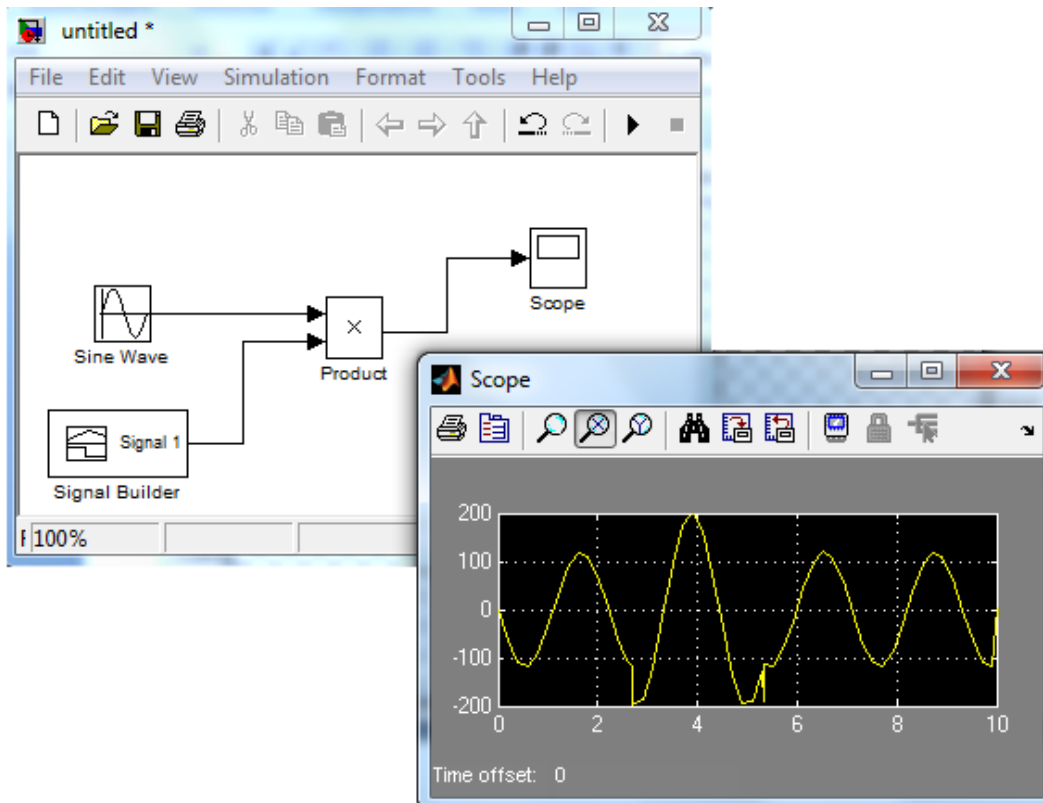
Los *Swells* se caracterizan por tener magnitud en valor RMS y tiempo de duración. La gravedad del *Swell* en condiciones de falla está en función de la ubicación de la falla, la impedancia del sistema y la conexión a tierra. En un sistema sin conexión a tierra, la línea de fase será 1.73 por unidad en condiciones de falla a tierra. Cerca de la sub-estación en un sistema conectado a tierra, no habrá aumento de tensión en las fases sin fallas porque el transformador de la sub-estación tiene la configuración delta-estrella, proporcionando una baja impedancia para la corriente de falla.

En ciertas condiciones, un defecto que se produce aguas arriba de un transformador puede temporalmente producir sobretensiones del lado de baja tensión mientras dure la corriente de falta. Tales sobretensiones no sobrepasan generalmente el valor eficaz de 1.5KV.

En Colombia la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Según la resolución CREG 024 – 2005 (Apéndice B), se establece que las tensiones en estado estacionario a 60Hz no podrán ser superiores al 110%, al igual que la norma internacional UNE-EN 50160, se considera como sobretensión aquella que sobrepasa el 110% del valor RMS de la señal.

En la figura 13 se observa un ejemplo de Sobretensión, simulado a 10 segundos en Simulink.

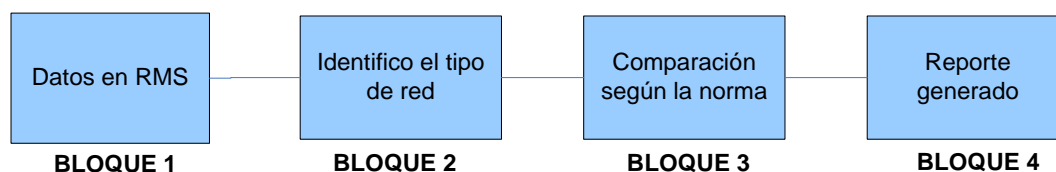
Figura 13. Ejemplo de Sobretensión



Fuente. Los autores

Para el desarrollo de este módulo, se siguió la norma internacional UNE-EN 50160, la cual dice que se considera sobretensión los valores que están por encima del 110% de la señal de entrada en valores RMS. Siguiendo esta norma se desarrolla el siguiente diagrama de bloques (Figura 14).

Figura 14. Diagrama de bloques



Fuente. Los autores

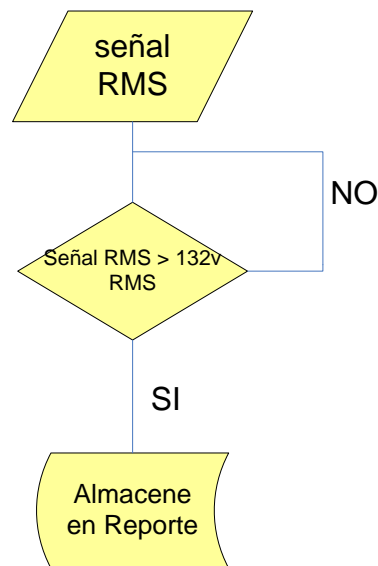
3.3.1 Bloque 1: En este bloque se toma la señal de entrada en valores RMS, de igual manera que el bloque uno de Sags, para luego ser comparada la señal con los datos específicos.

3.3.2 Bloque 2: Luego de tener el voltaje RMS de la señal, es necesario identificar el tipo de red que se está midiendo y dependiendo de este análisis se escoge el valor de tensión que aparece en la interfaz gráfica de usuario, estas opciones son 120V, 208V, 240V, 380V y 480V. Luego de escoger este valor se compara la señal con los valores que exige la norma.

3.3.3 Bloque 3: Esta comparación que se realiza, es el resultado de la aplicación de la norma UNE – EN 50160 (Apéndice B), esta norma dice “que se considera un hueco de tensión, al valor por encima del 110% del valor eficaz de la señal”, es decir una vez teniendo la configuración de la red que se está midiendo, se compara de la siguiente manera:

Si la señal es de 120V RMS se compara con un valor de 132V RMS, ver figura 15.

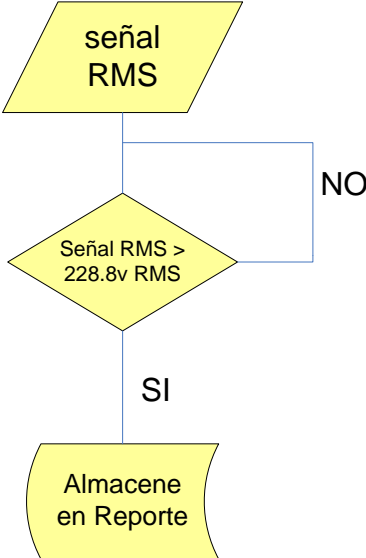
Figura 15. Comparación 120V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 208V RMS se compara con un valor de 228.8V RMS, ver figura 16.

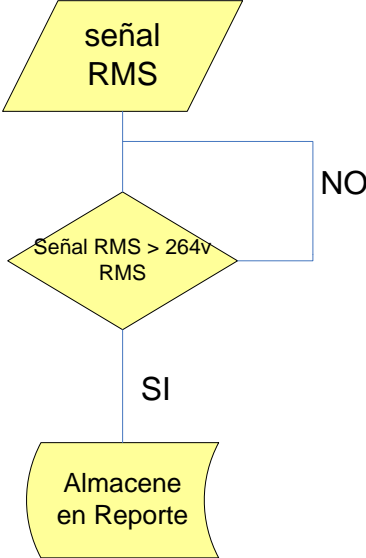
Figura 16. Comparación 208V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 240V RMS se compara con un valor de 264V RMS, ver figura 17.

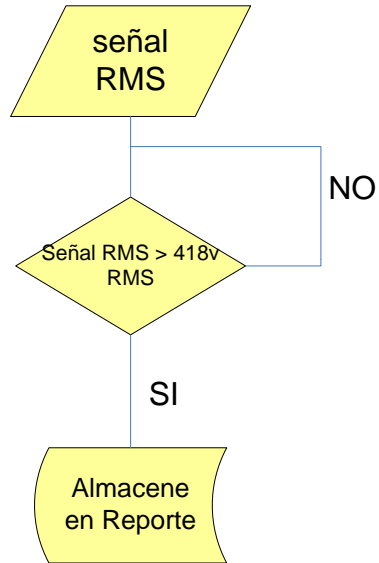
Figura 17. Comparación 240V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 380V RMS se compara con un valor de 418V RMS, ver figura 18.

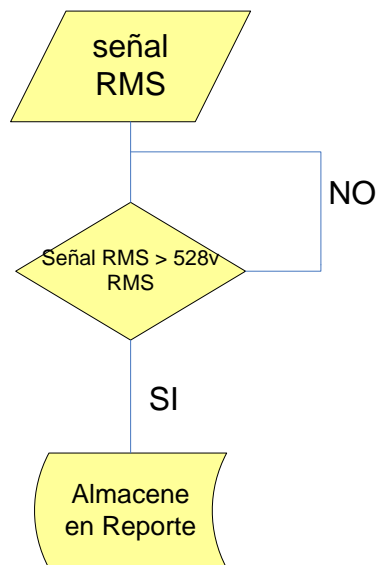
Figura 18. Comparación 380V RMS



Fuente. Los autores

Si la señal es de 480V RMS se compara con un valor de 528V RMS, ver figura 19.

Figura 19. Comparación 480V RMS



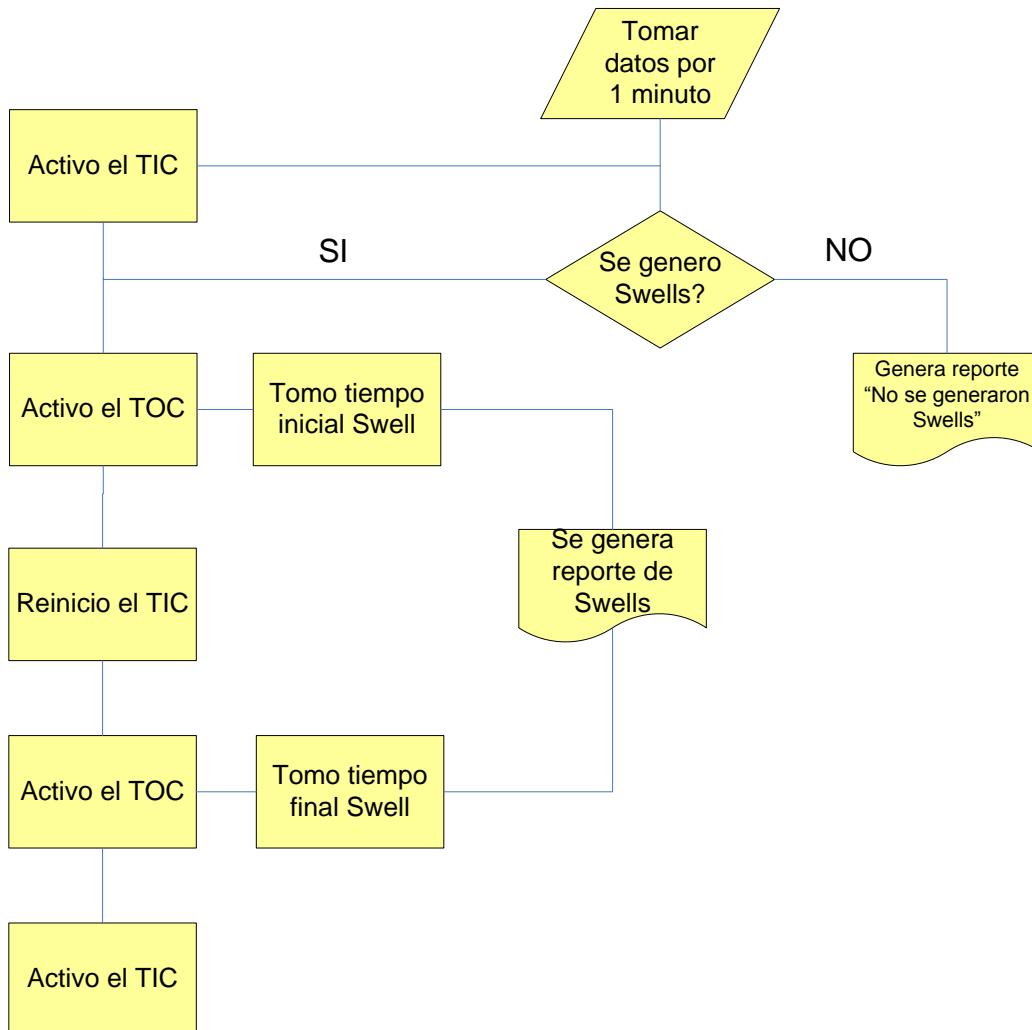
Fuente. Los autores

Una vez realizada esta comparación, se entrega el reporte al usuario indicando la cantidad de *Swells* con los tiempos.

3.3.4 Bloque 4: En este bloque, se realiza la generación de un reporte al usuario del analizador de calidad de energía eléctrica, para ello es necesario tener en cuenta los tiempos de inicio y finalización de cada *Swell*.

Si no existieron *Swells* en el reporte se genera un comentario diciendo: “No se generaron *Swells*”. En la figura 20 se aprecia cómo se desarrolla la generación del reporte.

Figura 20. Generación reporte Swells



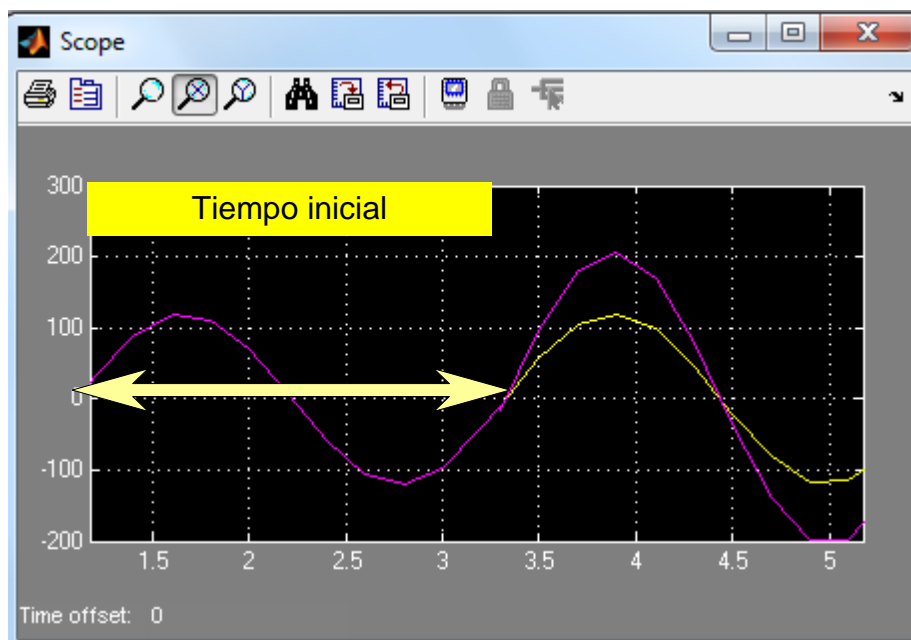
Fuente. Los autores

Al iniciar la captura de datos de *Swells*, se inicia un reloj y el sistema comienza a preguntar constantemente si se han generado *Swell*, si no se han generado ningún *Swell* durante el tiempo de medición, este entrega un reporte indicando que no se detecto ningún *Swell* en la medición.

Si el instrumento sí detectó un *Swell*, este llama una función de Toc, la cual toma el dato del reloj que se inició cuando comenzó la captura de datos, y lo guarda en un vector B, luego inicia nuevamente el reloj, hasta que detecte el final del *Sag* y nuevamente active la función de Toc para que entregue el dato final y lo guarde en una segunda posición del vector B.

En la figura 21 y figura 22 se observa, el tiempo de inicio y el tiempo de recuperación de *Swells*. Estos tiempos son fundamentales para el desarrollo de este módulo. En estas dos figuras, la gráfica amarilla representa el trazo de la señal en estado normal, mientras que la gráfica morada representa la señal bajo un estado de *Sags*.

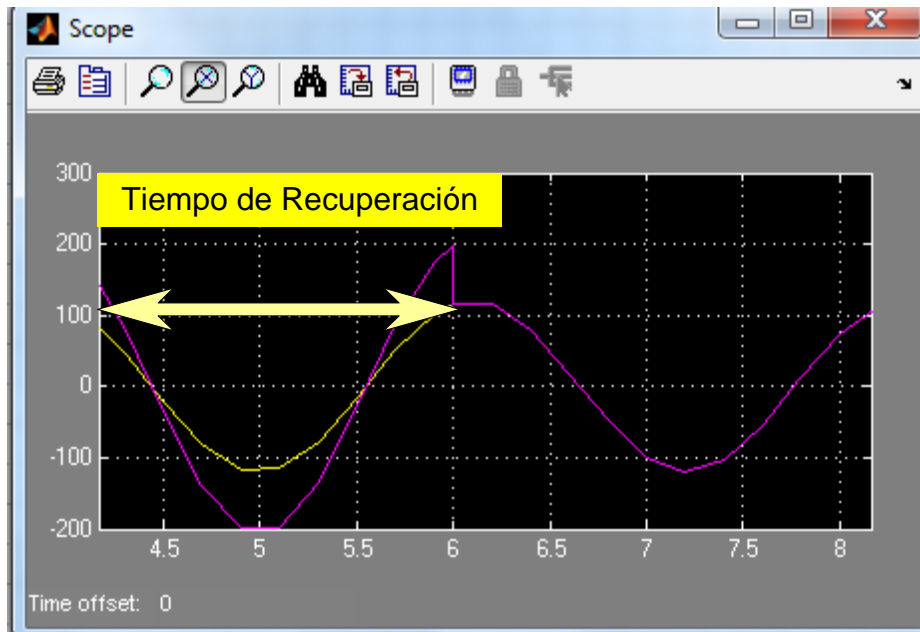
Figura 21. Tiempo de inicio Swells



Fuente. Los Autores

En la figura 21 es el producto de una simulación elaborada en simulink durante 10 segundos, se puede observar un tiempo de inicio del *Swell* de aproximadamente 3.3s, además de esto se parecía la diferencia entre una señal bajo el efecto de *swell* con respecto a una señal normal.

Figura 22. Tiempo de Recuperación de Swell



Fuente. Los Autores

En la figura 22, se aprecia el tiempo de recuperación del *swell* es decir, el tiempo exacto de transición entre el estado de *Swell* al estado normal como se aprecia en la figura, la línea amarilla indica una señal en estado normal, mientras que la línea morada indica una señal bajo el efecto de *Swells*.

3.4 Algoritmo Parpadeos (*Flickers*)

3.4.1 Fluctuación de tensión: los voltajes de fluctuación pueden ser atribuidos por varias causas. Las fluctuaciones de tensión son causadas por cambios en la carga de un nodo del sistema o un punto de conexión. La situación de carga en un

punto de conexión está determinada por la composición real de las cargas individuales, una carga también puede cambiar su consumo real de energía dependiendo de la operación. Las fluctuaciones importantes de tensión pueden ser causadas por las siguientes cargas:

- Salida de potencia emitida por el desborde de un control de tiro.
- Soldadores eléctricos.
- Puesta en marcha de unidades.
- Salida de potencia emitida por controles de termostato.
- Unidades con cambios abruptos de carga.
- Hornos de arco.

Fluctuaciones de tensión ocurren debido a fallos del sistema, como las fallas de fuga, cortocircuitos a tierra y los cortocircuitos en el suministro de energía eléctrica. Estas fallas perjudican la calidad de tensión en un punto de conexión, dependiendo donde está localizada la falla. La ubicación de la falla puede estar en el sistema de la compañía eléctrica de suministro, en régimen interior o en el sistema de una empresa de suministro de energía diferente, que se encuentra en las “proximidades eléctricas”.

Conectar y desconectar grades rectificadores y sistemas reactivos de compensación que están controlados en relación con la carga o potencia reactiva, puede dar lugar a fluctuaciones de tensión. Además de estas causas, las acciones de reconversión durante el funcionamiento del sistema de abastecimiento también pueden dar lugar a cambios de tensión.

Desde el punto de vista técnico, las fluctuaciones de tensión resultan del cambio total de todos los casos de reducción de tensión a través de las impedancias entre el punto de conexión y la fuente de alimentación., dependiendo de los cambios de corriente en el punto de conexión.

3.4.2 Parpadeos (*Flickers*): las fluctuaciones de tensión conducen a fenómenos de parpadeo, ya que el nivel numérico del parpadeo se deriva de la percepción de los fenómenos de parpadeo. Para ello, la fuente de luz se considera como una lámpara de espiral de (230V, 60W). Las fluctuaciones de tensión conducen a una impresión momentánea P_f (parpadeo), causado por la transmisión de las fluctuaciones luminosas a lo largo de la cadena “lámpara – ojo - cerebro”.

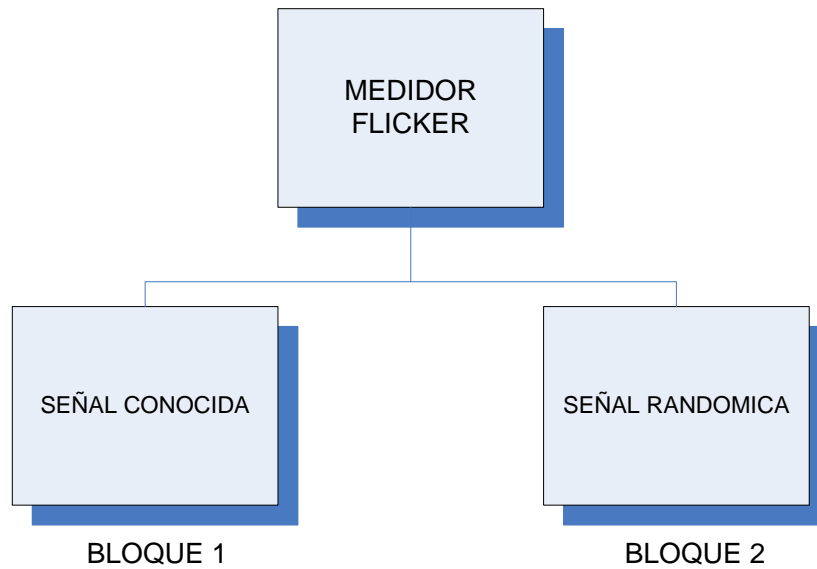
Las causas del parpadeo son las mismas causas de las fluctuaciones de tensión. Por supuesto, al considerar el parpadeo, la variable física, es decir, la tensión, no es evaluada directamente, sino que la evaluación se hace teniendo en cuenta una función de transmisión especial y una observación estadística sobre un rango de tiempo definido.

3.4.3 Medición de Flicker: En Colombia la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) se encarga de hacer regir la normatividad, acerca del fenómeno de *Flickers*.

Basándose en la norma internacional IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 61000-4-15, actualización del 2003, donde se normaliza un medidor analógico de Flicker para aplicar en lámparas de 60W, 120V y 60Hz.

Siguiendo esta normativa, se tiene el siguiente algoritmo de medición para el fenómeno de *Flickers*.

Figura 23. Diagrama de bloques Flickers



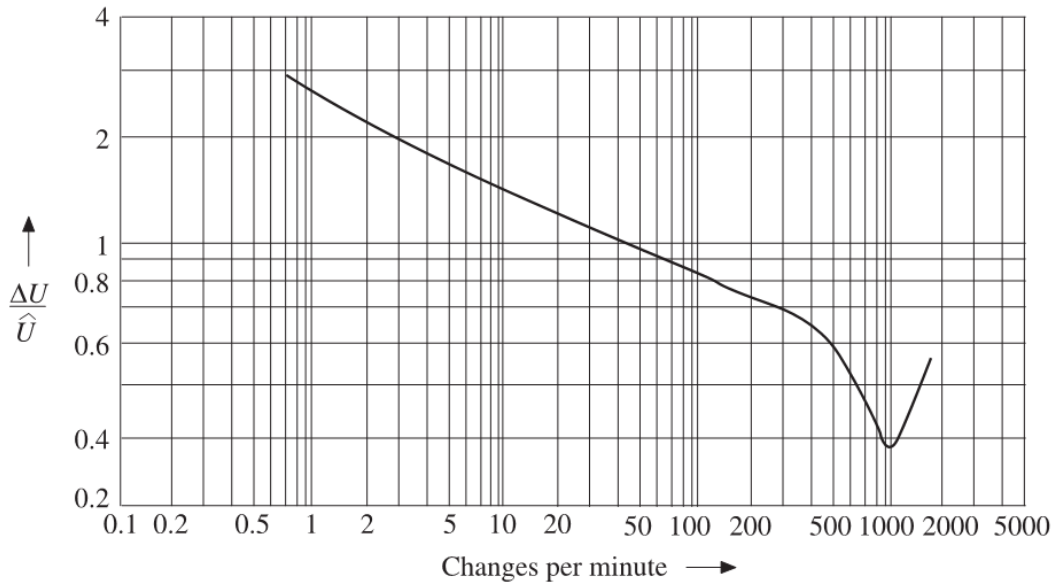
Fuente. Los Autores

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 23, es como debe dividirse un medidor de Flicker, ya que se deben plantear dos algoritmos totalmente distintos para el bloque uno, como para el bloque dos.

3.4.3.1 Bloque 1: La evaluación de parpadeo se basa en la percepción humana de las fluctuaciones de tensión, con ciertas formas externas y las diferentes frecuencias o las tasas de repetición.

Se supone que se utiliza una lámpara especial, esta lámpara es una luz en espiral (60W, 230V). Esta prueba se utiliza para diferentes tasas de repetición y para determinar las fluctuaciones de tensión. Una fluctuación en la luz podría ser clasificada de no visible, muy visible ó insoportable.

Figura 24. Límite de perturbación $Pst = 1$ para las variaciones de tensión rectangulares (curva IEC)



Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

En la figura 24 se muestra el resultado de estas pruebas (curva IEC), la mayor parte de esta curva se puede describir mediante fórmulas de aproximación simple. Las variables de mayor influencia en este caso son el cambio de tensión relativa $d(t)$ y la tasa de repetición r .

Una condición básica para el cálculo de parpadeo, es la determinación del cambio de tensión relativo. Cuando no se puede medir debe ser calculado a partir de la toma de datos.

3.4.3.1.1 Cálculo de la caída de tensión: para el cálculo de la caída de tensión que se produce en el punto de conexión de una carga, el procedimiento varía según el punto de conexión del consumidor. El cálculo más simple se hace considerando la simétrica de tres fases. Un circuito equivalente (como se muestra en la figura 25) puede ser elegido para este cálculo.

La impedancia del sistema, así como la carga, se caracterizan por un componente óhmica e inductiva.

La caída de tensión con la impedancia del sistema Z_n , que consiste en un componente óhmica e inductiva R_n y X_n , se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta U = \Delta I_L * Z_N \quad (4)$$

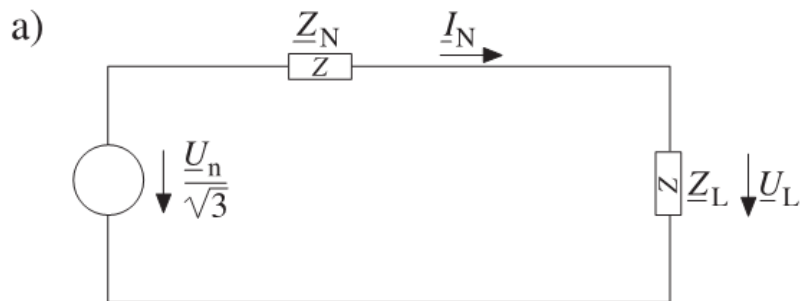
Ó

$$\Delta U \cong \Delta U_R + \Delta U_X = (R * \cos \varphi + x * \sin \varphi) \Delta I_L \quad (5)$$

La potencia de corto circuito está determinada por:

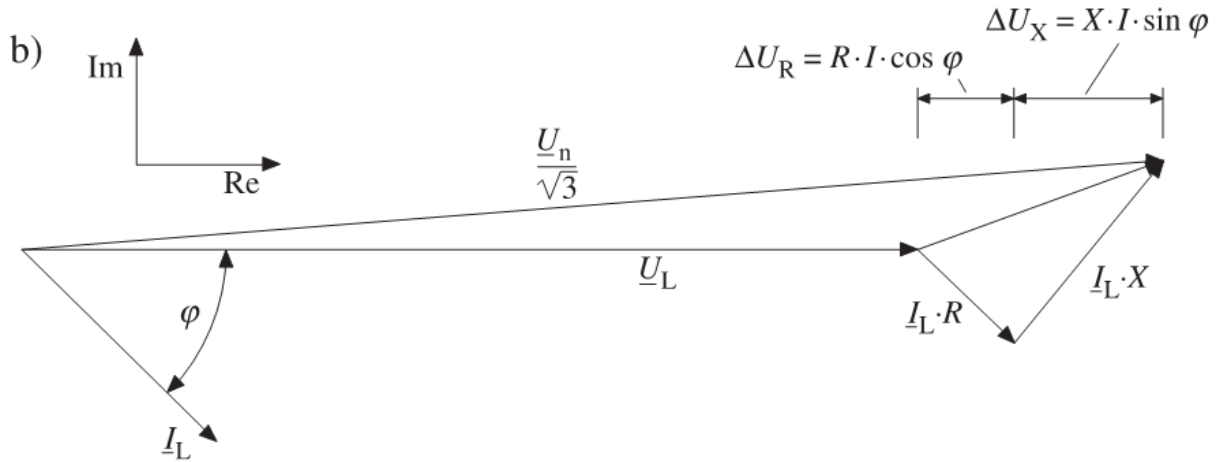
$$S''_{K3} = \sqrt{3} * U_N * I_K \quad (6)$$

Figura 25. Diagrama del circuito equivalente



Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

Figura 26. Diagrama de vectores



Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

Ó

$$S_{K3}'' = U_n^2 / Z_N \quad (7)$$

La corriente de carga I_L , se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta I_L \approx \Delta S_A / (\sqrt{3} * U_n) \quad (8)$$

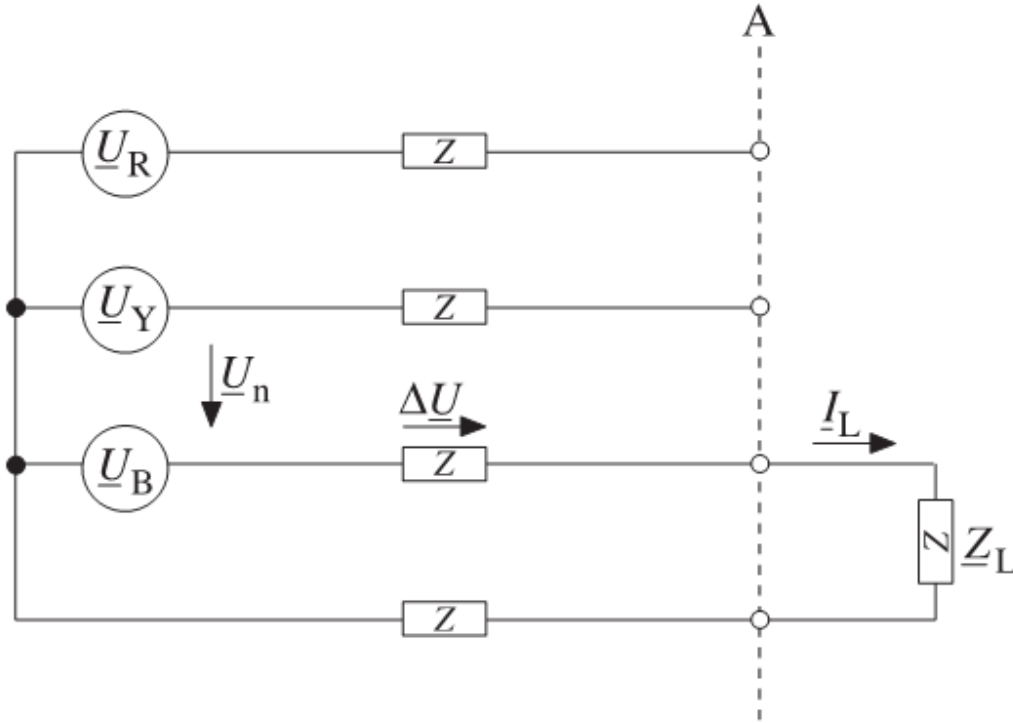
Por lo tanto se tiene que la caída de tensión es:

$$\Delta U = U_n * \Delta S_A / (\sqrt{3} * S_{K3}'') \quad (9)$$

Si se tiene un circuito trifásico, con la carga en dos fases como se muestra en la figura 27 la ecuación de caída de tensión es la siguiente:

$$\Delta U = \sqrt{3} (\Delta S_A / S_{K3}'') U_n \quad (10)$$

Figura 27. Diagrama de circuito equivalente trifásico



Fuente. Schlabbach, J, Blume, D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

3.4.3.1.2 Cálculo A_{st}/P_{st} : teniendo en cuenta la figura 24, el factor de perturbación causado por un evento puede ser determinado por la duración del efecto del mismo, siendo t_f el tiempo de duración.

$$t_f = 2.3s * (d * F)^3 \quad (11)$$

Donde d , es el cambio de tensión relativa en % y F es el factor de forma.

Cada factor de perturbación son linealmente superpuestos, el efecto de alteración total se calcula con la sumatoria de los factores de perturbación en relación con un intervalo de tiempo.

El valor de una perturbación de Flicker (A_{st}), se calcula de la siguiente manera:

$$A_{st} = (\sum t_f) / 600 \quad (12)$$

El t_f característico, representa un corto tiempo y generalmente se ha fijado en 10 minutos. Si la alteración del flicker es causado por un cambio de tensión regular, determinado por la tasa de repetición r , la ecuación se convierte en:

$$A_{st} = (2.3s * r * (d * F)^3) / 600s \quad (13)$$

Si la tensión de fluctuación esta descrita por una frecuencia, esto significa que la tasa de repetición de las fluctuaciones de tensión es el doble del valor, es decir, 1 Hz corresponde a dos cambios por segundo.

En algunos periodos de medición del tiempo, el nivel de parpadeo a largo plazo se define como aquel que se extiende sobre un periodo de dos horas. Para este caso el valor de 600s se reemplaza por 7200s como se muestra en la ecuación (12).

Como una alternativa a considerar los niveles de Flicker en forma de valores de A_{st} , también puede considerarse en forma de valores de P_{st} . La fórmula de aproximación para el cálculo del valor de P_{st} es el siguiente:

$$P_{st} = 0.36 * d * r^{0.31} * F \quad (14)$$

La relación entre A_{st} y P_{st} , se muestra en la siguiente ecuación:

$$A_{st} = P_{st}^3 \quad (15)$$

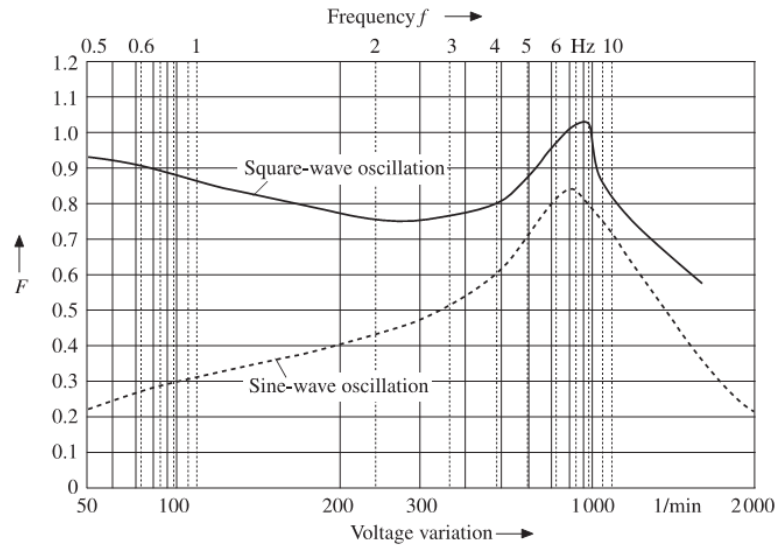
ó

$$P_{st} = \sqrt[3]{A_{st}} \quad (16)$$

De acuerdo con la ecuación (14), el valor P_{st} es proporcional al nivel del cambio de tensión. Mientras el valor A_{st} sigue siendo proporcional a la tasa de repetición.

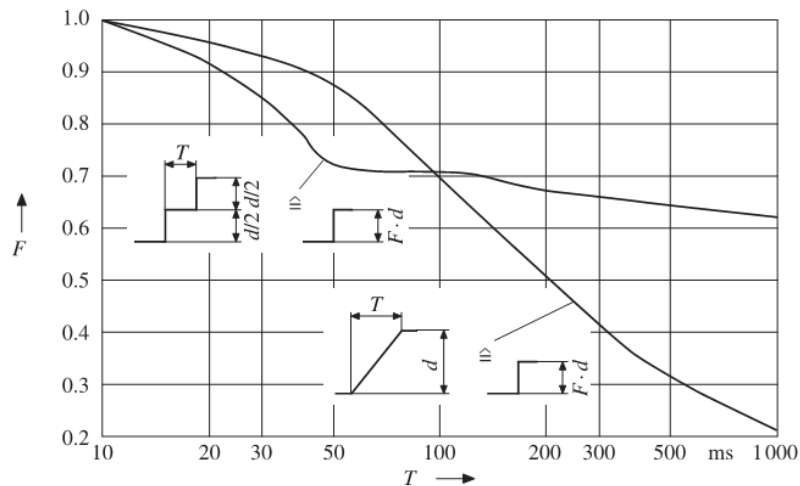
3.4.3.2 Bloque 2: El algoritmo para el cálculo de los *Flickers*, se basa en la evaluación de las fluctuaciones de tensión. Con la simulación del modelo de la percepción “lámpara – ojo - cerebro” como se aprecia en la figura 31.

Figura 28. Factor para una fluctuación de tensión periódica



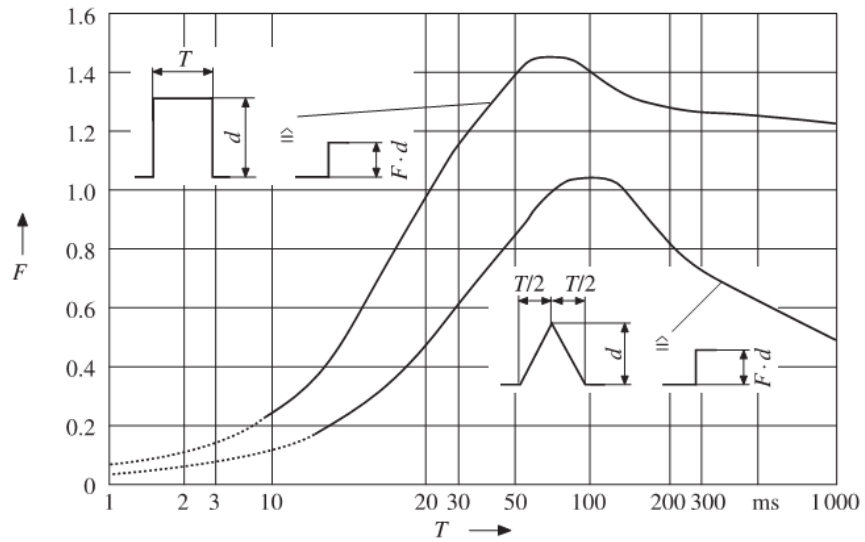
Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

Figura 29. Factor para rampas y saltos



Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

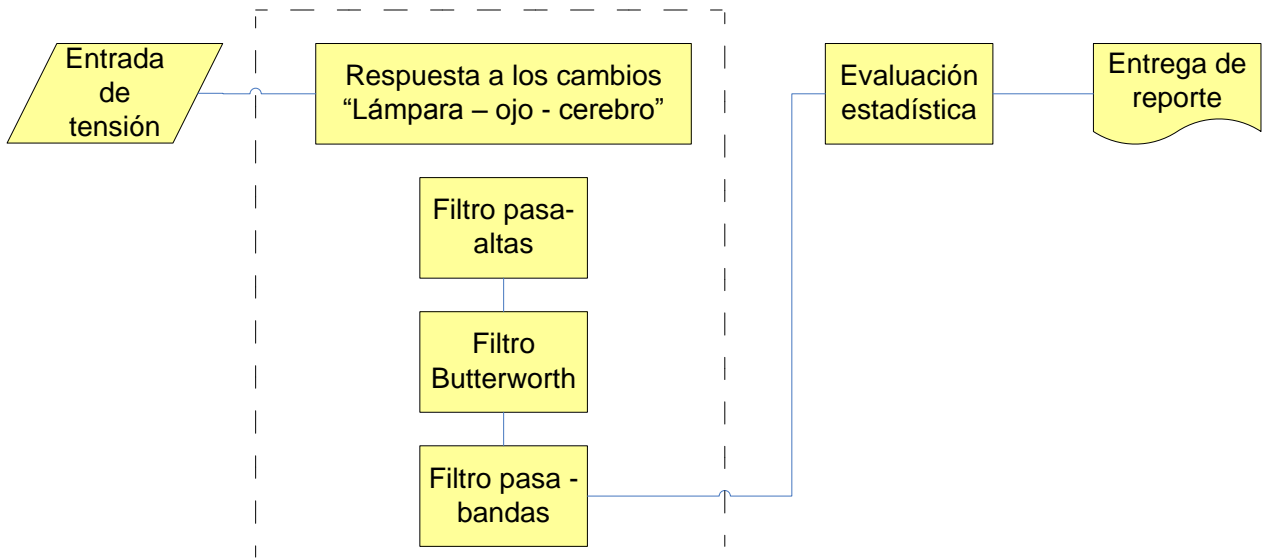
Figura 30. Factor para pulsos triangulares y rectangulares



Fuente. Schlabbach, J, Blume, D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

En la figura 31, se tiene el diagrama de bloques con el algoritmo de programación principal de una señal aleatoria de flicker.

Figura 31. Diagrama de bloques para cálculo señal de flicker



Fuente. Los autores

La función de transmisión de la luz en espiral, es una parte esencial del algoritmo de parpadeo.

Se puede simular la relación entre las fluctuaciones de tensión y cambios en el flujo luminoso, para lámparas de uso general de filamentos de tungsteno de una bobina que se calienta a una temperatura elevada. La potencia activa $P(t)$, es proporcional a la temperatura de la bobina. Sin las fluctuaciones, el flujo de luminoso sigue la temperatura y se atenúa por la inercia de la bobina.

$$P_L = (U^2 / R)[1 + \cos(2\omega t)] \quad (17)$$

Para fluctuaciones pequeñas de temperatura $\Delta\theta$, se tiene la siguiente ecuación:

$$m_w c [d(\Delta\theta) / dt] + P_m / C_L = P_{ab}(t) \quad (18)$$

Donde

$$P_{ab}(t) = P_L(t) - P_m, P_m = U^2 / R \quad (19)$$

Suponiendo que ϕ es proporcional a $\Delta\theta$, tenemos la ecuación 19:

$$\phi(t) = \phi \cos(2\omega t - \phi) \quad (20)$$

Donde

$$\phi(t) = K / \sqrt{1 + (2\omega\tau)^2} \quad (21)$$

La función de transmisión entre las fluctuaciones de la energía eléctrica de la lámpara y las fluctuaciones en el flujo de luminoso corresponden a un filtro pasa – bajas de primer orden.

Para una señal de tensión de amplitud modulada se tiene:

$$u = u \sin(\omega t)[1 + m \sin(\omega_f t)] \quad (22)$$

Donde $m = \Delta U / U$

El flujo luminoso esta en amplitud modulada, asumiendo $m \ll 1$ con ω_i , la siguiente ecuación se aplica para la lámpara de bobina en espiral.

$$\frac{\Delta\Phi/\Phi}{\Delta U/U} = \frac{3.8}{\sqrt{1+(\omega_f\tau)^2}} \quad (23)$$

Es necesario aplicar tres filtros a la señal de entrada.

El primer filtro, es un filtro pasa altas de primer orden, con una frecuencia de corte de -3 dB alrededor de 0,05Hz, tiene como finalidad eliminar las componentes de corriente continua de la señal de entrada.

El segundo filtro, es un filtro *Butterworth* de sexto orden, con una frecuencia de corte de -3 dB de 42Hz, que se emplea para eliminar el rizado de alta frecuencia de la salida del demodulador que se produce al multiplicar la señal de entrada al demodulador por ella misma.

El tercer filtro, es un filtro pasa bandas, el cual modela la reacción humana ante las variaciones del flujo luminoso con frecuencia central de 8.8Hz, descrito por el estándar IEC 61000-4-15 (Apéndice B) con la siguiente función de transferencia:

$$F(s) = \frac{K\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} * \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad (24)$$

Una vez aplicados estos filtros a la señal, se elabora un análisis estadístico para encontrar los valores de P_{st} y P_{lt} .

3.4.3.2.1 Cálculo del valor P_{st} y P_{lt} : La impresión momentánea del parpadeo, es transferido al nivel de parpadeo. El parpadeo momentáneo se clasifica en el período de tiempo del intervalo de medida, la frecuencia relativa de la oscilación momentánea se determina a partir de estos valores.

El nivel de parpadeo se determina mediante la evaluación de algunos puntos. La figura 32 muestra el posible curso de la frecuencia relativa acumulada de un intervalo de medida. Teniendo estipulado los valores acumulados de frecuencia, el nivel de la impresión momentánea Flicker se evalúa con la ecuación (25).

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1;g} + 0.0525P_{1.0;g} + 0.0657P_{3.0;g} + 0.28P_{10;g} + 0.08P_{50;g}} \quad (25)$$

El método de evaluación es un método suavizado en donde se determinan los siguientes valore:

$$P_{0.1;g} = P_{0.1}$$

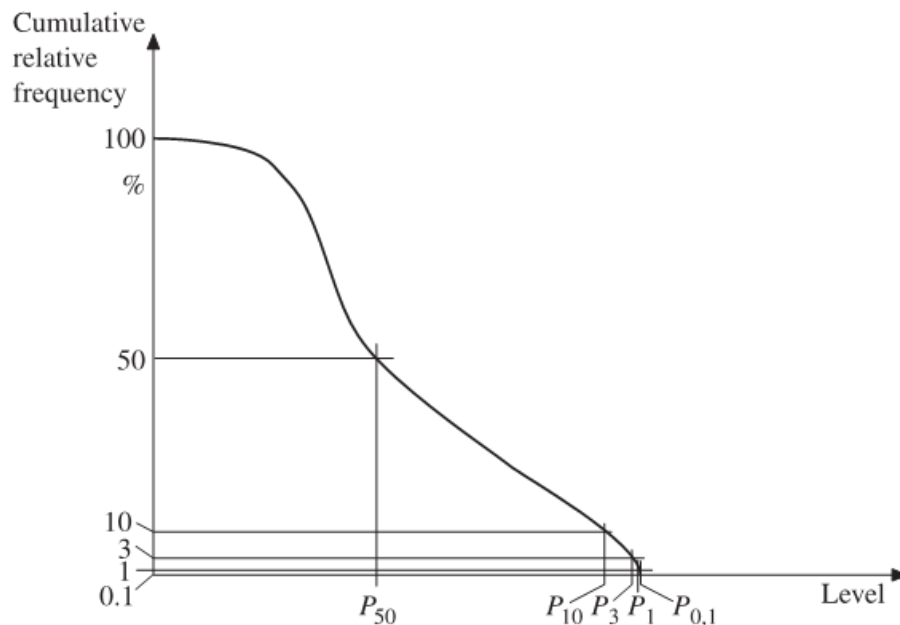
$$P_{1.0;g} = (1/3)(P_{0.7}+P_{1.0}+P_{1.5})$$

$$P_{3.0;g} = (1/3)(P_{2.2}+P_{3.0}+P_{4.0})$$

$$P_{10;g} = (1/5)(P_{6.0}+P_{8.0}+P_{10}+P_{13}+P_{17})$$

$$P_{50;g} = (1/3)(P_{30}+P_{50}+P_{60})$$

Figura 32. Evaluación de flicker Pst



Fuente. Schlabbach. J, Blume. D,S. (2000) Voltage Quality in Electrical Power Systems. The Institution of Engineering and Technology

Una variable más importante para evaluar los fenómenos de parpadeo, es provista por el nivel de flicker de largo plazo P_{lt} .

$$P_{lt} = \sqrt[3]{(1/N) \sum_{i=1}^N P_{sti}^3} \quad (26)$$

Para esta evaluación, los altos niveles de flicker son especialmente evaluados. El periodo de tiempo de observación en este caso es generalmente 2h ($N=12$). El P_{lt} se determina a partir de un intervalo de medición de deslizamiento. La ventaja es la transferencia directa de las fluctuaciones de tensión de diversas formas y amplitudes a un número de evaluación.

3.5 Algoritmo de Armónicos

La tensión armónica, es una tensión sinusoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación. Las tensiones armónicas pueden ser evaluadas:

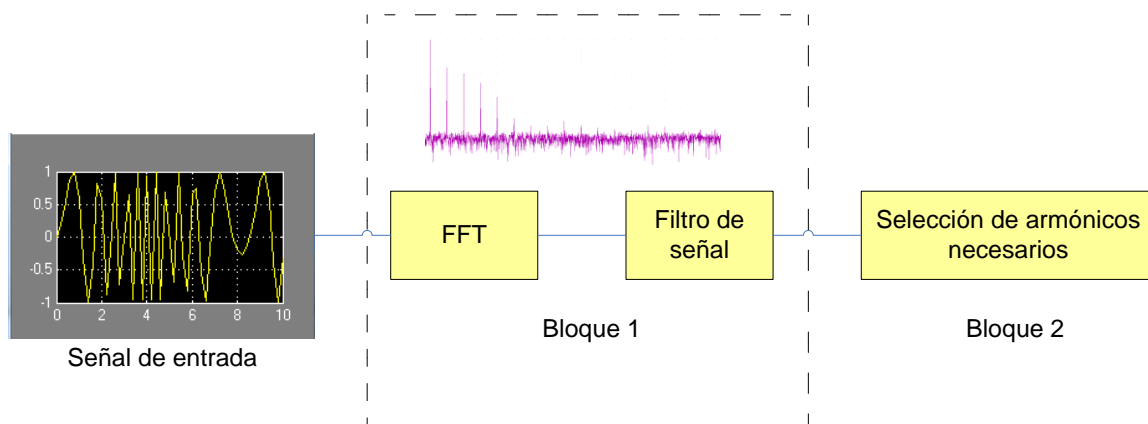
- Individualmente, según su amplitud relativa (U_h) con relación a la tensión fundamental U_1 , donde h representa el orden del armónico.
- Globalmente, es decir, según el valor de la tasa de distorsión armónica total THD.

Las tensiones armónicas de la red de alimentación son principalmente debidas a las cargas no lineales de clientes conectadas en todos los niveles de tensión de la red de alimentación. Las corrientes armónicas que circulan a través de las impedancias del circuito dan lugar a tensiones armónicas. Las corrientes armónicas, las impedancias de la red y por consiguiente las tensiones armónicas en los puntos de suministro varían en el tiempo (UNE-EN 50160).

La CREG en Colombia aplica la normatividad internacional IEC 61000-4-30, y sigue las recomendaciones por la IEEE Std 1159-1995, en donde da los límites máximos en la generación de armónicos por parte del consumidor en una red eléctrica.

En el siguiente diagrama de bloques (figura 33), se muestra el algoritmo implementado en el cálculo del sistema de medición de armónicos. Es necesario entender el funcionamiento de cada bloque, ya que la medición de armónicos es fundamental a la hora de ejercer una medición de calidad de energía en una red eléctrica.

Figura 33. Diagrama de bloques Armónicos



Fuente. Los Autores

3.5.1 Bloque 1: las series de Fourier pueden utilizarse para describir formas de onda periódicas no sinusoidales en términos de una serie de sinusoides. La relaciones de potencia para estos circuitos pueden expresarse en términos de los componentes de las series de Fourier.

Una forma de onda periódica no sinusoidal que cumple con determinadas condiciones pueden describirse mediante una serie de señales sinusoidales. La serie de Fourier para una función periódica $f(t)$ puede expresarse en forma trigonométrica de la siguiente manera:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \text{sen}(n\omega_0 t)] \quad (27)$$

Donde

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt \quad (28)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (29)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \text{sen}(n\omega_0 t) dt \quad (30)$$

Los senos y los cosenos de la misma frecuencia pueden combinarse en una misma senoide, generando la siguiente ecuación:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (31)$$

Donde

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{-b_n}{a_n}\right)$$

Ó

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \text{sen}(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (32)$$

Donde

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$

El término a_0 , es el valor medio de $f(t)$, y representa una tensión o una corriente continua.

El coeficiente C_1 es la amplitud del término de la frecuencia fundamental ω_0 . Los coeficientes C_2, C_3, \dots, C_n , son las amplitudes de los armónicos que tiene frecuencias $2\omega_0, 3\omega_0, \dots, n\omega_0$.

El valor RMS de $f(t)$ se calcula a partir de la serie de Fourier, se muestra en la siguiente ecuación:

$$F_{rms} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} F_{n,rms}^2} = \sqrt{a_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{C_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (33)$$

Luego de aplicar Fourier a la señal de entrada, aparece una componente negativa de esta señal. Esta componente negativa es eliminada ya que no se usa para la medición de los armónicos.

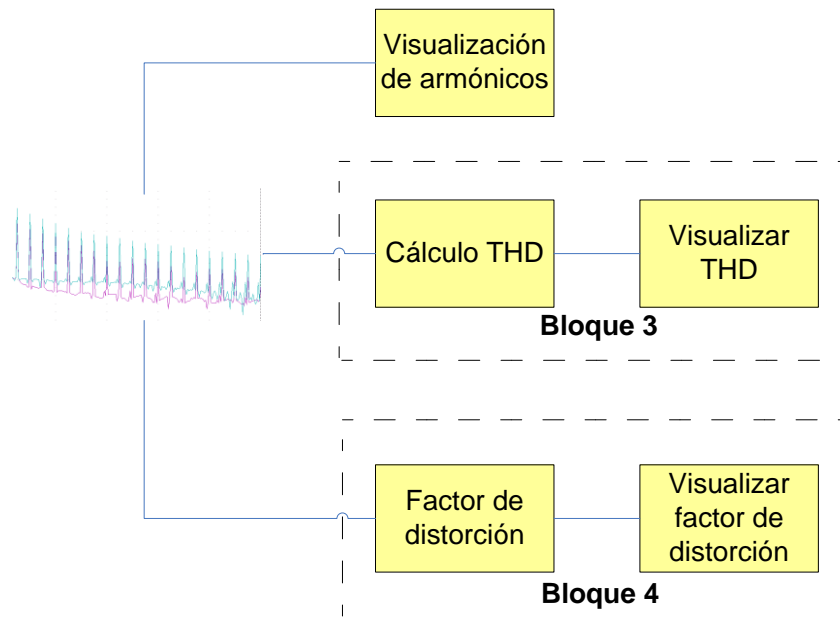
3.5.2 Bloque 2: Luego de obtener las componentes armónicas, en este bloque se seleccionan las componentes armónicas que se necesitan para la medición, ya que solo se están midiendo las componentes armónicas y no las componentes inter armónicas.

La componente armónica 0, se toma ya que pertenece al nivel de DC en tensión o en corriente que contiene la red eléctrica, se toma también el armónico 1 es el valor de la frecuencia fundamental, para este caso la frecuencia fundamental en una red eléctrica es 60Hz.

Luego para el armónico 2, 3,.....,n, el valor en frecuencia a tomar es ($n \cdot 60\text{Hz}$), obteniendo así las otras componentes armónicas del sistema eléctrico, es de mencionar que el sistema está diseñado solo para medir hasta el armónico 40 de la red eléctrica.

Una vez desarrollada esta selección de componentes armónicas se aplica el siguiente diagrama de bloques.

Figura 34. Diagrama de bloques armónicos segunda parte



Fuente. Los Autores

Una vez seleccionadas las componentes armónicas a utilizar, se visualizan. Esta visualización se hace en diagrama de barras en donde se muestra la frecuencia de cada componente armónica, con su respectivo valor de amplitud en RMS.

3.5.3 Bloque 3: En este bloque se calcula la distorsión armónica total, el cual es un término que cuantifica la propiedad no sinusoidal de una forma de onda. El valor de la distorsión armónica total, es la relación entre el valor eficaz de todos los términos correspondientes a las frecuencias distintas de la fundamental y el valor eficaz del término correspondiente a la frecuencia fundamental.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$\%THD = \frac{\sqrt{I^2_{arm_{rms}} + Idc^2}}{I_{fundamental_{rms}}} * 100 \quad (34)$$

Una vez obtenido el valor DAT en porcentaje, se visualiza en la pantalla de usuario.

3.5.4 Bloque 4: En este bloque se calcula el factor de distorsión. El DAT proporciona el contenido armónico total, pero no indica el nivel de cada uno de sus componentes. El factor de distorsión indica la cantidad de distorsión armónica que queda en una forma de onda particular después de que las armónicas de esa forma de onda hayan sido sujetas a una atenuación de segundo orden.

Por lo tanto el factor de distorsión, es una medida de la eficacia en la reducción de las componentes armónicas no deseadas, sin necesidad de especificar valores de un filtro de carga de segundo orden, se define por la siguiente ecuación:

$$FD = \sqrt{\frac{1}{1+(DAT)^2}} \quad (35)$$

Luego de obtener este valor de factor de distorsión, se visualiza en la pantalla de usuario del instrumento de medición.

4 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA EXPERIMENTAL

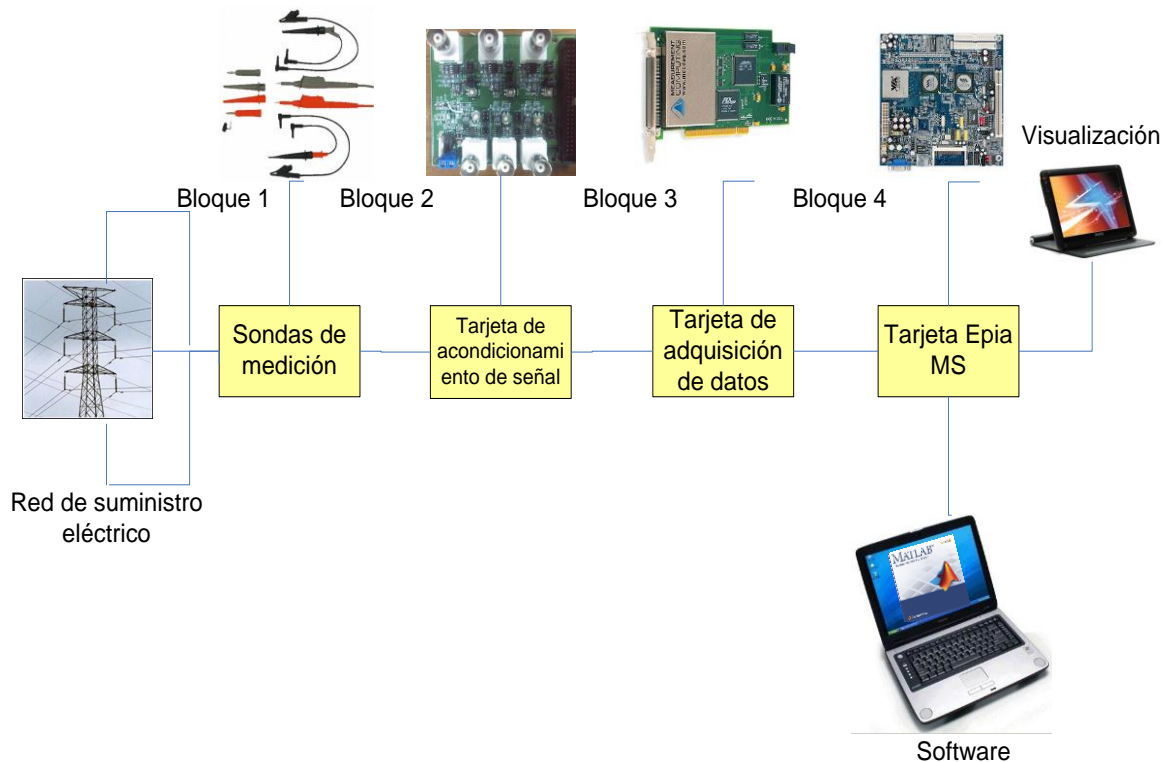
En los capítulos previos de esta tesis se desarrollan los algoritmos para el cálculo y la programación de las variables a medir.

En este capítulo se describe la plataforma experimental que se ha diseñado para validar las aportaciones de esta tesis, describiendo el hardware y software

empleado. Su misión es realizar los cálculos de los algoritmos de medición y visualizar en la interfaz de usuario.

En la siguiente gráfica se muestra la plataforma experimental que se diseñó.

Figura 35. Plataforma experimental



Fuente. Los Autores

A continuación se explica cada bloque que compone el proyecto:

4.1 Sondas de medición

4.1.1 Sonda de Tensión: La sonda DP 120 de FLUKE, es una sonda de tensión diferencial de diseño seguro para realizar mediciones de alta tensión flotante. La sonda puede utilizarse en convertidores electrónicos de alta potencia, controles de velocidad de motores, fuentes de alimentación con modo de conmutación y otros circuitos de alta tensión.

4.1.1.1 Características: FLUKE garantiza las características expresadas en valores numéricos con la tolerancia establecida. Los valores numéricos especificados sin tolerancia indican los valores que se podrían esperar nominalmente del término medio de un conjunto de sondas de tensión diferencial idénticos.

4.1.1.1.1 Características de entrada:

- Tensión máxima de entrada con respecto a la masa:

600V CAT III

1000V CAT II

La categoría III de instalación se refiere al nivel de distribución y a los circuitos fijos existentes en el interior de un edificio. La categoría II de instalación se refiere al nivel local, que es aplicable a los aparatos eléctricos y al equipo portátil.

- Tensión máxima diferencial dinámica:

1000 VCC

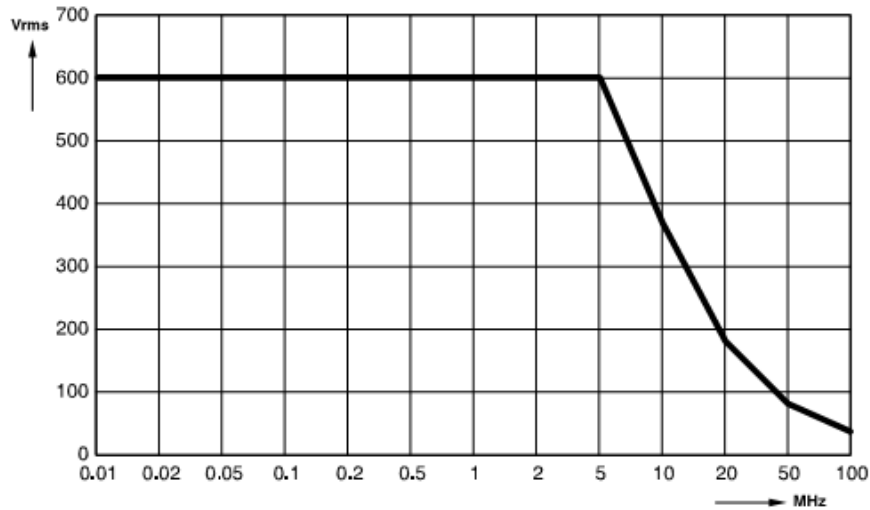
1000 V eficaces

1200V (CC+CA pico)

El límite (CC+CC pico) es determinado por el punto en que las sondas de diferencias de tensión empieza a trincar.

Para la reducción de la potencia de la sonda se tiene la siguiente figura:

Figura 36. Sonda de tensión Vrms Vs.frecuencia



Fuente. Hoja de instrucciones FLUKE DP 120

4.1.1.1.2 Características de salida:

- Conector BNC de diseño seguro.
- Rango de tensión de salida máxima:
 $\pm 6.5V$ en $1M\Omega$

4.1.1.1.3 Características eléctricas:

- Atenuación:
200x y 20x.
- Ancho de banda en ($1M\Omega$, 50pF):
200x: CC a 20MHz (-3dB)
20x: CC a 20MHz (-3dB)
- Exactitud:
 $\pm 2,5\%$
- Tiempo de subida:
200x: 17.5 ns
20x: 17.5 ns
- Rechazo en modo común:
200x: a 60Hz => 80dB, a 1MHz=> 50dB
20x: a 60Hz => 70dB, a 1MHz => 40dB

- Impedancia de entrada:
Entre cada entrada para pantalla BNC: 5MΩ, 6pF
Entre las entradas: 10MΩ, 5pF
- Impedancia de salida:
50MΩ
- Ruido:
200x: <2mV eficaces
20x: <3mV eficaces

La cantidad de sondas de tensión que contiene el equipo son dos, pero queda la alternativa para adquirir una tercera sonda y así el funcionamiento del instrumento sea más completo.

4.1.2 Sonda de corriente: FLUKE 80i-110s es una sonda de corriente de CA/CC de pinza diseñada para reproducir formas de onda de corriente encontradas en sistemas comerciales e industriales modernos de distribución de energía eléctrica. El funcionamiento de la sonda se ha optimizado para la reproducción precisa de corrientes a la frecuencia de red y hasta el quincuagésimo armónico. La 80i-110s es compatible también con cualquier instrumento capaz de medir milivoltios. La sonda de corriente presenta las siguientes ventajas:

- Mediciones de corrientes exactas de CA, CC y CA+CC para aplicaciones eléctricas, electrónicas y de automoción.
- Blindada para proporcionar una alta inmunidad a las interferencias en las proximidades de dispositivos electrónicos.
- Amplio rango de medida entre 50 miliamperios y 100 amperios; útil para 10miliamperios.
- Mandíbula diseñada con una forma que permite un fácil acceso a espacios estrechos.
- Conector BNC aislado para 600 voltios con diseño de seguridad.

- Salida seleccionable de 10 milivoltios por cada 1 amperio para el rango de 100A, 100 milivoltios por cada 1 amperio para el rango de 10A.

4.1.2.1 Especificaciones eléctricas:

- Rangos de corriente
0 a 10 A cc o ca máx
0 a 100 A cc o ca máx.
- Señales de salida:
Rango de 10 A: 100mV/A
Rango de 100 A: 10mV/A
- Precisión básica:

Cuadro 3. Precisión básica

Corriente de entrada (CC o CA máx.)	Error (después de la comprobación del cero):	
	100mV/A	10mV/A
0 a 10 A	<3% de lectura +50mA	-
0 a 40 A	-	<4% de lectura +50mA
40 a 80 A	-	<12% de lectura +50mA
80 a 100 A	-	<15% de lectura

Fuente. FLUKE80i-110s Hoja de instrucciones

- Precisión expandida:

Cuadro 4. Precisión expandida

Frecuencias	Error adicional	
	100mV/A	10mV/A
1 a 5 KHz	3%	3%

5 a 20 KHz	12%	12%
>20 KHz	No especificado	No especificado

Fuente FLUKE 80i-110s Hoja de Instrucciones

- Ancho de banda útil (-3dB):
0 a 100KHz
- Nivel de ruido de salida:
10mV/A valor típico: 480 μ V pico a pico
100mV/A valor típico: 3mV pico a pico
- Corriente máxima no destructiva:
0 a 2KHz 140 A máx.
2 a 10KHz 110 A máx.
10 a 20KHz 70 A máx.
20 a 50KHz 30 A máx.
50 a 100KHz 20 A máx.

4.2 Tarjeta de acondicionamiento de señal

4.2.1 Canales de tensión: Son tres canales de tensión, cada canal se compone con los mismos materiales y la misma configuración. En la entrada se encuentra un conector BNC, ya que es necesario puesto que las sondas de tensión tienen terminal BNC.

Luego tenemos un integrado AD8031, que ofrece un rendimiento de alta velocidad con 80MHz de ancho de banda de pequeña señal, 30V/ μ s velocidad de subida y 125ns tiempo de estabilización. Ofrece una excelente calidad de señal de sólo 800 μ A de corriente de alimentación por amplificador, -62 dBc THD es con un PP 2V, 1 señal de salida MHz, y -86 dBc a 100KHz, 4.6 V pp en señal de +5V suministro. La baja distorsión y rápido tiempo de estabilización, lo hacen ideal como un amortiguador de ADC de prestación única.

El AD8031 es ideal para una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de pilas con grandes requisitos de ancho de banda para sistemas de alta velocidad donde la densidad del componente requiere menor disipación de potencia.

Este integrado, se deja en una configuración de seguidor de voltaje, ya que es la necesidad para este proyecto.

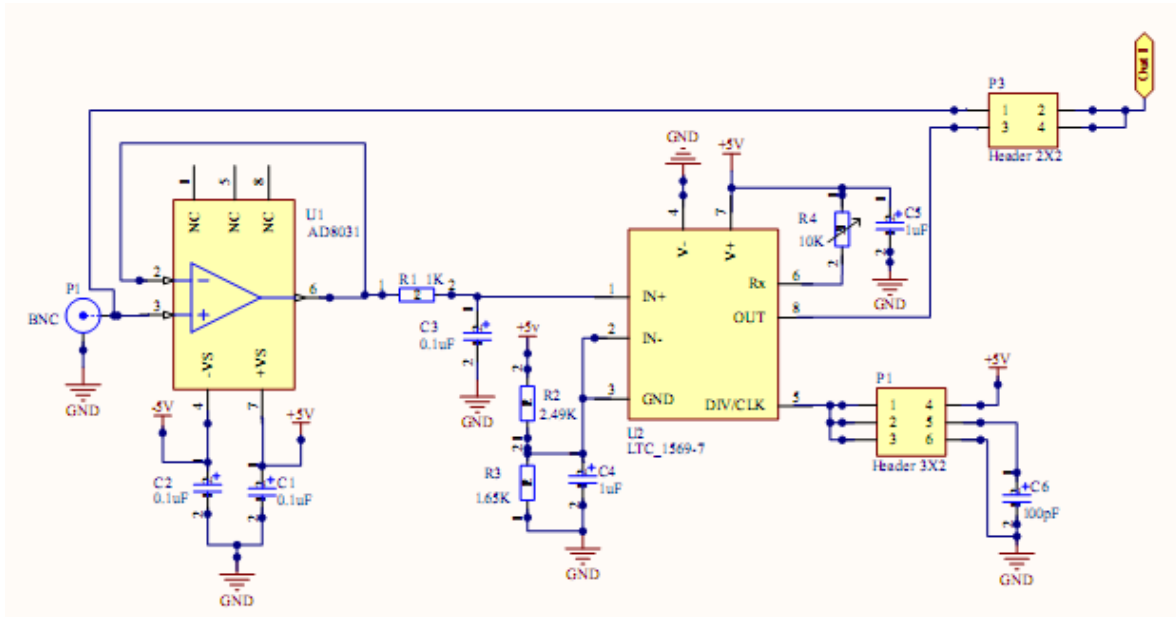
Luego la señal se pasa por un integrado LTC1569-7, el cual es un filtro pasa bajo de orden 10, con fase lineal y una raíz con respuesta de la amplitud del coseno. La alta selectividad junto con su fase lineal en la banda de paso lo hace adecuado para la filtración, tanto en comunicaciones de datos y sistemas de adquisición de datos.

Por otra parte la frecuencia de corte se puede ajustar con un reloj externo y la frecuencia de corte a razón de reloj es 32:1. La relación entre la frecuencia de muestreo interna a la frecuencia de corte del filtro es 64:1. Estas frecuencias de corte pueden ser 128KHz, 256KHz y 300KHz.

Este integrado es necesario, ya que es el encargado en eliminar ruido proveniente de factores que externos que pueden causar un mal desempeño del instrumento a la hora de hacer la medición.

En la figura 37 se muestra el diagrama del canal de tensión

Figura 37. Canal de tensión



Fuente. Los Autores

4.2.2 Canal de corriente: Se emplean tres canales de corriente, los cuales tienen a la entrada conector BNC, ya que la sonda de corriente trae en su terminal conector BNC.

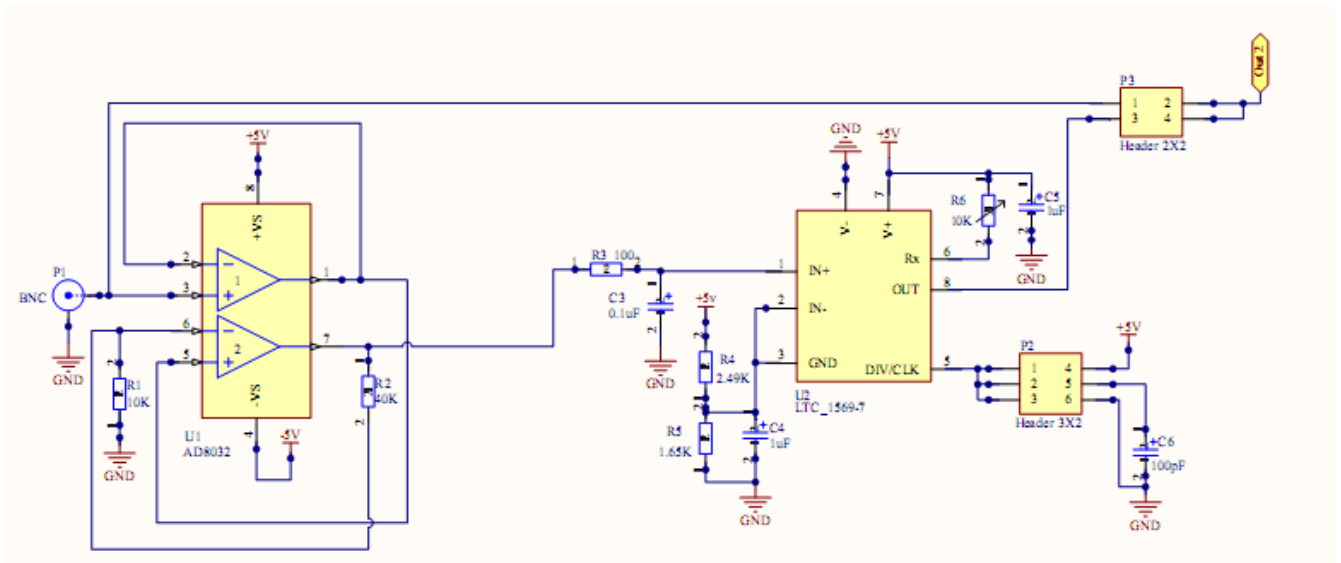
Luego la señal es llevada a un integrado AD8032, el cual tiene las mismas funciones y especificaciones que el integrado AD8031 simplemente se diferencian en que el AD8032 trae dos amplificadores en su encapsulado.

La configuración de este integrado es de amplificador con ganancia 4, ya que es necesario debido a que las señales de corriente vienen muy pequeñas por la escala de la sonda de medición.

Por último esta señal amplificada es llevada al integrado LTC 1569-7, el cual se encarga de hacer el filtrado en el mismo caso que los canales de tensión.

En la figura 38 se parecía la configuración del canal de corriente.

Figura 38. Canal de corriente



Fuente. Los Autores

4.3 Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos del sistema es la DAS 6036 de Measurement Computing, el procedimiento para escoger esta tarjeta fue el siguiente:

El primer paso es identificar el bus de comunicación del sistema embebido, el sistema embebido utilizado en este proyecto tenía un sistema de comunicación de datos por bus PCI, así que ya era una prioridad que la tarjeta de adquisición fuera por bus PCI.

El segundo paso a tener en cuenta fue buscar las diferentes marcas y precios de tarjetas de adquisición de datos, para que el equipo resultara económico y con un coste beneficio alto. Es así como se llegó a la empresa Measurement Computing, la cual es competencia de National Instruments, pero con un software no tan cerrado y de un coste mucho menor que National.

Por último se busca la compatibilidad, y los respectivos drivers entre Matlab, *Data Adquisición Toolbox* y la tarjeta de adquisición de datos. En la página de

Mathwords, se encuentran las diferentes tarjetas de adquisición de datos que soporta Matlab y en especial la *Toolbox de Data Adquisición*.

Algunas características principales de la tarjeta de adquisición de datos seleccionada son:

- 16 canales A/D con una resolución de 16 bits.
- 200 kS/s de velocidad de muestro máxima.
- Dos canales de 16 bits D/A a 10 KS/s.
- Ocho E/S digital.
- Dos contadores de 16 Bits.

4.4 Tarjeta Epia-MS

Proporcionar una mayor flexibilidad en el diseño y la telemática a los desarrolladores de sistemas de entretenimiento digital, prototipos de investigación, etc, la tarjeta VIA epia-ms redefine las plataformas de bajo perfil con un diseño único. La integración de toda la conectividad y expansibilidad disponible, presenta una matriz de pines a bordo para las conexiones de salida de TV, hasta seis puertos USB 2.0 y 6 canales de sonido envolvente, permitiendo que los diseñadores de sistemas tengan fácil acceso a los conectores de la tarjeta y así tenga más bajo perfil que una tarjeta madre de PC.

La VIA epia-ms dispone de un procesador de 1GHz, con un consumo de energía extremadamente bajo y un funcionamiento silencioso. Este procesador incorpora el VIA padlock security suite que puede suministrar la generación de números aleatorios del estado de la técnica y la criptografía AES para programas de seguridad.

La tarjeta VIA ofrece un rendimiento mejorado digital a través del chipset VIA con CLE266 integrada VIA UniChrome 2D/3D y un acelerador de gráficos de un archivo MPEG-2.

Altas velocidades de transferencia de datos se obtienen a través del ancho de banda de memoria DDR266 SDRAM de 1G importante de apoyo y ATA 133.

Una matriz de almacenamiento y opciones de conectividad se proporcionan, incluyendo a bordo de una CompactFlash y ranuras PCI. La VIA epia-ms ofrece soporte para 6 conectores USB 2.0, audio de 6 canales, S-video y RCA de salida de TV (NTSC & PAL) y Fast Ethernet 10/100Mbps.

Es muy importante resaltar que esta tarjeta VIA es compatible con Microsoft Windows y sistemas operativos Linux y ofrece soporte para una serie de paneles LCD incorporados.

4.5 Software

4.5.1 Matlab: Todo el software del instrumento, es desarrollado en Matlab, el cual nos brinda un entorno de programación de alto nivel y una herramienta poderosa para unir varios procesos a desarrollar al tiempo.

4.5.2 Data Adquisición Toolbox: El software de Adquisición de datos ofrece un conjunto completo de herramientas para la entrada analógica, salida analógica y digital I/O de una variedad de hardware de adquisición de datos compatible con PC o un sistema embebido. Esta Toolbox permite configurar los dispositivos de hardware externo, se leerán los datos de Matlab y Simulink para el análisis de los entornos inmediatos, y enviar datos.

La toolbox de adquisición de datos permite personalizar las adquisiciones, acceder a las características de los dispositivos de hardware e incorporar el análisis y características de visualización de Matlab y cajas de herramienta relacionadas con el diseño. Se puede analizar y visualizar datos, guardarlos después de la transformación, y hacer cambios iterativos para la configuración de su análisis en función de los resultados de su análisis. Esta toolbox permite el uso de Matlab

como un único entorno integrado para apoyar la adquisición de datos completo, análisis de datos y el proceso de desarrollo de aplicaciones.

Esta toolbox también es compatible con Simulink, con bloques que le permiten incorporar datos en tiempo real o la configuración de hardware directamente en los modelos de Simulink.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se desarrolló el algoritmo de medición de *Sags*, aprendiendo su comportamiento, y observando cual es la influencia de este fenómeno perturbador en la red eléctrica.
- Se implementó el algoritmo de medición de *swells*, el cual está sujeto a las normas internacionales de compatibilidad electromagnética.
- Se implementó un algoritmo de medición de *Flicker* a partir de muestras de la señal de tensión adquiridas a 1024 muestras por segundo.
- Se evaluó el algoritmo desarrollado empleando las condiciones de prueba sugeridas por los estándares CEI 61000-4-15 y CEI 61000-4-30 para un medidor de *Flicker*. Este algoritmo desarrollado cumple con los requerimientos propuestos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).
- Se investigaron las diferentes perturbaciones en una red eléctrica, y así se seleccionó las más importantes, desarrollando el algoritmo de medición de cada una de estas y sujetándonos a la normativa nacional e internacional para desarrollar un equipo de bajo coste y con alto nivel y capacidad de medición.
- Se implementó una plataforma experimental robusta, capaz de desarrollar de forma adecuada todos los algoritmos propuestos, cumpliendo con normas de compatibilidad electromagnética y seguridad industrial, para así obtener un equipo de desarrollo capaz de adaptarse a la industria colombiana.

- Se deja a la universidad un equipo de medición robusto, para el uso de investigación, de profesores o estudiantes, con una interfaz de usuario de fácil manejo y amigable al usuario.
- Como recomendación, se deja abierta una plataforma robusta a la Universidad Pontificia Bolivariana, capaz de desarrollar cualquier equipo de medición a nivel de industria, equipos médicos y monitoreo de sensores, para el fortalecimiento de la investigación de la Universidad.
- Con el desarrollo de este equipo, se deja abierta la posibilidad del mejoramiento del mismo, como el caso de implementar un software libre, y un algoritmo mucho más compilado para un mejor desempeño del equipo y una mejor adaptabilidad a las diferentes exigencias que se presenten en una industria.

BIBLIOGRAFIA

- Akagi, H, (1996) *Trends in active power line conditioner*. IEEE Transactions on Power Electronic.
- Akagi, H., Watanabe, H. and Aredes, M. (2007). *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. New York. IEEE Press.
- Arrilaga. J., Bradley, D. A., and Bodger. P. S. (1985). *Power System Harmonics Analysis*. Jhon Wiley and sons.
- Arrilaga, J, Watson , N, R, and Chens , S. (2000). *Power System Quality Assessment*. Jhon Wiley and Sons.
- Schlabbach. J, Blume. D, S. (2000). *Voltage Quality in Electrical Power Systems*. The Institution of Engineering and Technology.
- EN-50160. (1996). *Características de la Tensión Suministrada Por Las Redes Generales de Distribución*, UNE.
- IEC61000-1-1. (1992). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and Interpretation of Fundamental Definitions and Terms*, Technical Report IEC - 61000-1-1. IEC.
- IEC61000-2-2. (2002). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low-Voltage Power Supply Systems*, International Standard 61000-2-2. IEC.
- IEC61000-4-30. (2003). *International Standard IEC 61000-4-30, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques power quality measurement methods*. IEC
- IEEE Std 519-1992. (1992). *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System*. IEEE.
- IEC61000-4-15 (2003). *Compatibilidad electromagnética (CEM) –Parte 4 Técnicas de ensayo y medida. Sección 15. Medidor de Flicker*.

APÉNDICE A

ORGANISMOS REGULADORES

COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS (CREG)

Nación en 1994 cuando el gobierno nacional a través de las leyes 142 y 143 creó las Comisiones de Regulación, con el fin de regular las actividades de los servicios públicos.

Es una entidad eminentemente técnica y su objetivo es lograr que los servicios de energía eléctrica, gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) se presten al mayor número posible de personas, al menor coste posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión.

Funciones:

La ley 142 de 1994, artículo 74, asignó la CREG las siguientes funciones específicas:

- Regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, propiciar la competencia en el sector de minas y energía y proponer la adopción de las medidas necesarias para impedir abusos de posición dominante y buscar la liberación gradual de los mercados hacia la libre competencia. La comisión podrá adoptar reglas de comportamiento diferencial, según la posición de las empresas en el mercado.
- Expedir regulaciones específicas para la autogeneración y cogeneración de electricidad y el uso eficiente de energía y gas combustible por parte de los consumidores y establecer criterios para la fijación de compromisos de ventas garantizadas de energía y potencia entre las empresas eléctricas y entre éstas y los grandes usuarios
- Establecer el reglamento de operación para realizar el planeamiento y la coordinación de la operación del sistema interconectado nacional y para

regular el funcionamiento del mercado mayorista de energía y gas combustible.

- Fijar las tarifas de venta de electricidad y gas combustible; o delegar en las empresas distribuidoras, cuando sea conveniente dentro de los propósitos de esta ley, bajo el régimen que ella disponga, la facultad de fijar estas tarifas.
- Definir las metodologías y regular las tarifas por los servicios de despacho y coordinación prestados por los centros regionales y por el centro nacional de despacho.

Similarmente, la ley 143 de 1994 asigna las siguientes funciones a la Comisión de Regulación de Energía y Gas.

La ley 143 de 1994, Art. 23. La Comisión de Regulación de Energía y Gas con relación al servicio de electricidad tendrá las siguientes funciones:

- Crear las condiciones para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente capaz de abastecer la demanda bajo criterios sociales, económicos, ambientales y de viabilidad financiera, promover y preservar la competencia.

En el sector eléctrico, la oferta eficiente tendrá en cuenta la capacidad de generación de respaldo, la cual será valorada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, según los criterios que establezca la Unidad de Planeación Minero Energética en el plan de expansión.

- Determinar las condiciones para la liberación gradual del mercado hacia la libre competencia.
- Definir la metodología para el cálculo de las tarifas por el acceso y uso de las redes eléctricas, y los cargos por los servicios de despacho y coordinación prestados por los centros regionales de despacho y el centro nacional de despacho.

- Aprobar las tarifas que deban sufragarse por el acceso y uso de las redes eléctricas, y los cargos por los servicios de despacho y coordinación prestados por los centros regionales de despacho y centro nacional de despacho.
- Definir la metodología para el cálculo de las tarifas aplicables a los usuarios regulados del servicio de electricidad.
- Fijar las tarifas de venta de electricidad para los usuarios finales regulados. Esta facultad podrá ser delegada en las empresas distribuidoras, en cumplimiento de sus funciones de comercialización, bajo el régimen de libertad regulada.
- Definir, con base en criterios técnicos, las condiciones que deben reunir los usuarios regulados y no-regulados del servicio de electricidad.
- Definir los factores que deban aplicarse a las tarifas de cada sector de consumo con destino a cubrir los subsidios a los consumos de subsistencia de los usuarios de menores ingresos. Estos factores deben tener en cuenta la capacidad de pago de los usuarios de menores ingresos, los costos de la prestación del servicio y el consumo de subsistencia que deberá ser establecido de acuerdo a las regiones.
- Establecer el Reglamento de Operación para realizar el planeamiento y la coordinación de la operación del Sistema Interconectado Nacional, después de haber oído los conceptos del Consejo Nacional de Operación.
- Establecer pautas para el diseño, normalización y uso eficiente de equipos y aparatos eléctricos.
- Interpretar las definiciones contempladas en el artículo 11 de la presente ley.

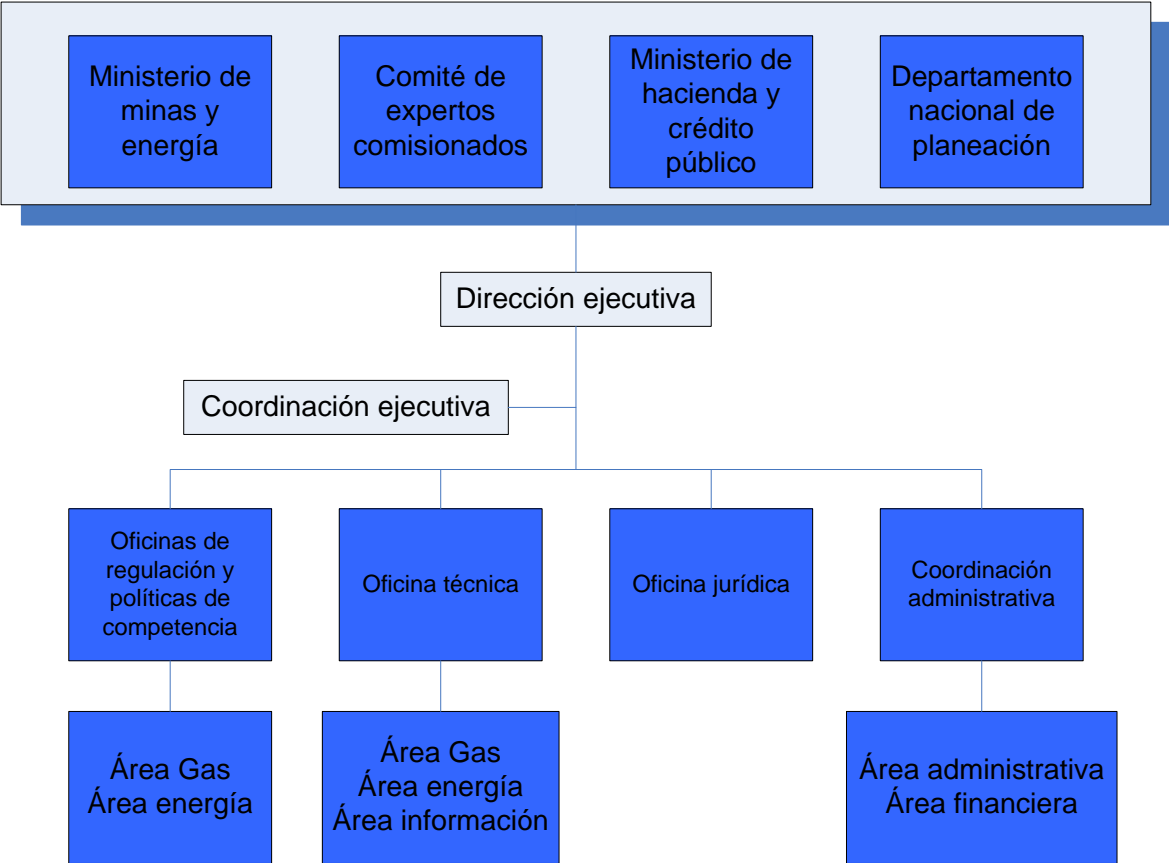
Organización:

Está organizada como una unidad administrativa especial del Ministerio de Minas y Energía de acuerdo con lo previsto en los artículos 69 de la ley 142 de 1994 y 21 de la ley 143 de 1994.

La CREG está conformada por el Ministerio de Minas y Energía, quien la preside el Ministro de Hacienda y Crédito público; el Director del Departamento Nacional de Planeación; Comisionados Expertos nombrados por el Presidente de la República para períodos de 4 años y el Superintendente de Servicios Públicos Domiciliarios, con voz pero sin voto.

Para el cumplimiento de las funciones el decreto 1894 de 1999 estableció la siguiente estructura interna:

Figura 39. Estructura CREG



Fuente. Comisión de Regulación de Energía y Gas

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC)

Es un organismo que trabaja para fomentar la normalización, la certificación, la metrología y la gestión de la calidad en Colombia. Está conformado por la vinculación voluntaria de representantes del Gobierno Nacional, de los sectores privados de producción, distribución y consumo, el sector tecnológico en sus diferentes ramas y por todas aquellas personas jurídicas y naturales que tengan interés en pertenecer a él.

En el campo de la normalización, la misión del instituto es promover, desarrollar y guiar la aplicación de Normas Técnicas Colombianas (NTC) y otros documentos mejoramiento de la calidad y también facilitar las relaciones cliente – proveedor, en el ámbito empresarial nacional o internacional.

ICONTEC, como organismo de Normalización (ONN) representa a Colombia ante organismos de normalización internacionales y regionales, como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), y la Comisión Panamericana de Normas de la Cuenca del Pacífico (COPANT).

Adicionalmente, el instituto es miembro activo de los más importantes organismos regionales e internacionales de normalización, lo cual permite participar en la definición y desarrollo de normas internacionales y regionales, y así estar a la vanguardia en información y tecnología.

Principales servicios:

- Normalización.
- Certificación.
- Educación y desarrollo.
- Acreditación en salud.
- Metrología.
- Servicio de cambio climático.

Normalización:

Es la actividad que establece disposiciones para uso común y repetido, encaminadas al logro del grado óptimo de orden con respecto a problemas reales o potenciales, en un contexto dado. En particular, la actividad consta de los procesos de formulación, publicación e implementación de normas.

En lo relacionado con el Servicio de Normalización, ICONTEC es asesor del Gobierno Nacional de acuerdo con los Decretos 767 de 1964 y 2416 de 1971 es reconocido por el Gobierno Colombiano como Organismo Nacional de Normalización mediante el Decreto 2746 de 1984, reconocimiento que fue ratificado por el Decreto 2269 de 1993. En este campo, la misión del Instituto es promover, desarrollar y guiar la aplicación de Normas Técnicas Colombianas y demás documentos normativos para la obtención de una economía óptima de conjunto, el mejoramiento de la calidad y facilitar las relaciones cliente-proveedor a nivel empresarial, nacional o internacional.

Representaciones:

ICONTEC es representante por Colombia ante los organismos de normalización internacionales y regionales como la ISO (International Organization for Standardization); IEC (International Electrotechnical Commission) COPANT (Comisión Panamericana de Normas de la Cuenca del Pacífico) y también es soporte del Gobierno Nacional en los grupos de negociación para la Comunidad Andina, para el Área de Libre Comercio de las Américas – ALCA y para el Tratado de Libre Comercio- TLC con los Estados Unidos de América.

Etapas del proceso de normalización nacional:

Factibilidad y planeación: identificar las necesidades, evaluar la factibilidad y planificar las actividades para la elaboración o actualización de los documentos normativos.

Gestión de comité: gestionar el estudio y aprobación de los documentos normativos en los comités técnicos de normalización y actividades complementarias, relacionadas con el trabajo de los comités técnicos (publicaciones, actividades de divulgación, reglamentos técnicos). Incluye las actividades relacionadas con corrección de estilo y traducción para los documentos normativos.

Consulta pública: someter a una amplia consideración de las partes interesadas el estudio de los proyectos de documentos normativos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los principios de transparencia e imparcialidad del proceso de normalización.

Aprobación: someter el documento normativo a consideración de una entidad independiente del comité, con el fin de avalar los acuerdos técnicos del comité, garantizar la coherencia normativa y el cumplimiento de reglamento de normalización.

Edición y difusión: asegurar que las versiones vigentes de los documentos se encuentren disponibles en los puntos de consulta, y que se realice la distribución de los bonos a las entidades que participan en el 75% de los estudios oportunamente. Realizar las actividades de divulgación, mediante canales de comunicación electrónicos, impresos, foros y charlas técnicas, con el propósito de que los documentos y las publicaciones lleguen a los diferentes sectores productivos y académicos en el ámbito nacional e internacional.

APÉNDICE B

NORMATIVA Y RECOMENDACIONES

En el cuadro 5, el cuadro 6 y el cuadro 7 se recogen las principales normas fundamentales y genéricas que tratan sobre las perturbaciones en redes públicas de baja y media tensión. La mayor parte de las normas técnicas han sido elaboradas por el comité TC77 de compatibilidad electromagnética. Estos forman parte de la serie IEC 61000, que, a su vez, está dividida en nueve partes: Parte 1. Generalidades; Parte 2. Entornos; Parte 3. Límites de emisión e inmunidad; Parte 4. Técnicas de ensayo y medidas; Parte 5. Guía para la instalación y protección; Parte 6. Normas generales; Parte 7-8. No se han determinado; Parte 9. Varios. En general, la parte 6 de la normativa IEC (61000-6-x) corresponde a normas genéricas, el resto son normas fundamentales y la parte 3 de la normativa IEC (61000-3-x) define las normas del producto. Como complemento, el cuadro 8 recoge los principales informes técnicos sobre calidad de suministro y el cuadro 9 las normas y recomendaciones Americanas (IEC, 1992, 2002; IEEE, 1993; UNE, 1996).

En el cuadro 10 se encuentran las normas que cumplen las sondas de medida de tensión y se mencionan las normas de seguridad de la sonda de corriente.

Cuadro 5. Norma internacional calidad de suministro (Parte 1)

Norma	Título	IEC	EN	UNE
61000-2-2	Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en baja tensión.	2002	2002	2003
61000-2-4	Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia en las instalaciones industriales.	2002	2002	2004
61000-3-2	Límites de emisión de corriente armónica en redes de baja tensión para equipos con corriente asignada inferior a 16A.	2005	2000	2001
61000-3-3	Limitación de las fluctuaciones de tensión y del flicker en redes de baja tensión para equipos con corriente asignada inferior a 16A.	2005	1995	1997
61000-3-12	Limitación de emisión de corriente armónica en redes de baja tensión para equipos con corriente asignada inferior a 75A.	2004	2005	-
50160	Características de la tensión suministrada por las redes públicas de distribución.	-	1999	-
61000-4-7	Guía general para las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de alimentación y equipos.	2004	2002	2004

Cuadro 6. Norma internacional calidad de suministro (Parte 2).

Norma	Título	IEC	EN	UNE
61000-4-15	Medidor de Flicker. Especificaciones funcionales y de diseño.	2003	1998	1999
61000-4-1	Visión de conjunto de la serie IEC 61000-4.	2000	2000	2001
61000-4-11	Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión.	2004	2004	2005
61000-4-13	Ensayos de inmunidad a baja frecuencia de armónicos e interarmónicos incluyendo las señales transmitidas en los accesos de alimentación en corriente alterna.	2002	2002	2003
61000-4-14	Ensayos de inmunidad a las fluctuaciones de tensión.	2002	1999	2001
61000-4-16	Ensayos de inmunidad a perturbaciones conducidas en modo común, en el rango de frecuencias de 0 a 150KHz.	2002	1998	1998
61000-4-17	Ensayos de inmunidad a la ondulación residual en la entrada de potencia en corriente continua.	2002	1999	2001
61000-4-27	Ensayos de inmunidad a los desequilibrios.	2000	2000	2002
61000-4-28	Ensayos de inmunidad a la variación de frecuencia de alimentación.	2002	2000	2000
61000-4-29	Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión en los accesos de alimentación en CC.	2000	2000	2002

Cuadro 7. Norma internacional calidad de suministro (Parte 3).

Norma	Título	IEC	EN	UNE
61000-4-30	Técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro.	2003	2003	2004
61000-6-1	Inmunidad en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.	2005	2001	2002
61000-6-2	Inmunidad para entornos industriales.	2005	2005	2002
61000-6-4	Emisión para entornos industriales.	1997	2001	2002

Cuadro 8. Técnicas sobre calidad de suministro

Norma	Título	IEC
61000-1-1	Aplicación e interpretación de las definiciones y términos fundamentales.	1992
61000-2-5	Clasificación de los entornos electromagnéticos. Publicación básica de CEM.	1995
61000-2-1	Descripción del entorno electromagnético para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes generales de alimentación.	1990
61000-2-6	Evaluación de los niveles de emisión de las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes generales de alimentación.	1995
61000-2-8	Medidas estadísticas de las interrupciones y huecos de tensión en redes de suministro público.	2002
61000-3-4	Limitación de las emisiones de corrientes armónicas en las redes de baja tensión para equipos con corriente asignada superior a 16 A.	1998
61000-3-5	Limitación de las fluctuaciones de tensión y del flicker en redes de baja tensión para los equipos con corriente de entrada superior a 16 A.	1994

Cuadro 9. Recomendaciones y Normativas Americanas

Norma	Título
ANSI/IEEE std 519-1981	Guía de aplicación y límites de emisión recomendados por los convertidores estáticos de potencia conectados en sistemas de distribución de corriente alterna. No cubre la interferencia de radio de frecuencia.
IEEE std 519-1992	Técnicas recomendadas para la limitación y control de armónicos en sistemas eléctricos.
IEEE std 1159-1995	La medida de la calidad de potencia en sistemas de potencia de corriente alterna. Definiciones y términos usados en la calidad de potencia eléctrica, mediana del impacto de una deficiente calidad de potencia en la empresa suministradora y usuarios.
IEEE std 1531-2003	Guía para la aplicación y especificación de filtros armónicos.

Sondas de tensión:

Cuadro 10. Normativa sondas de tensión

Norma	Título
EN 50081-1	Compatibilidad electromagnética. Norma genérica de emisión: EN 55022 y EN 60555-2.
EN 50082-2	Compatibilidad electromagnética. Norma genérica de inmunidad: CEI 1000-4-2, -3, -4, -5

Cumple con la directiva 2004/108/EC relativa a la compatibilidad electromagnética y a la directiva 2006/95/EC relativa a baja tensión.

En seguridad cumple con:

EN61010-2-31 (CEI 1010-2-31)

UL3111-1

CSAC22.2 # 1010.1-92

Sondas de corriente:

Cumple con la norma estadounidense de la industria UL61010-1(2004) y 61010-2-032 (2004) y las normas europeas EN/CEI 61010-1 2 edición y EN/CEI 61010-02-032.

Cumple con la directiva 89/336/CEE relativa a la compatibilidad electromagnética y la directiva 73/23/CEE relativa a baja tensión.