

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Instituto Costarricense de Electricidad
ICE**

Monitoreo y análisis de la calidad de la energía generada en la empresa ICE

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero
en Electrónica con el Grado Académico de Licenciatura**

Johanny Fonseca Chacón

Cartago, agosto del 2003

RESUMEN

En la actualidad, la energía eléctrica es de suma importancia para la humanidad. La electricidad es utilizada en la industria y en el hogar en aplicaciones que van desde la iluminación hasta la operación de los equipos de trabajo y sistemas de cómputo. Por consiguiente, los disturbios y variaciones de voltaje afectan la vida humana de una u otra forma y desde este marco de referencia es que se hace necesario tener calidad en la energía.

La calidad de la energía es un concepto utilizado para referirse al estándar de calidad que debe tener la energía en términos de tensión o voltaje constante y de forma sinusoidal, de frecuencia de oscilación constante y de mínimas perturbaciones como armónicas y parpadeo (flicker), entre otros.

El presente trabajo brinda un resumen comparativo de las normas técnicas de calidad en la energía nacionales e internacionales, para llevar a cabo la configuración exitosa de un sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo que se configura es de la marca SIEMENS y está compuesto por un medidor de calidad SIMEAS Q diseñado para trabajar como esclavo en una red de comunicaciones bajo el protocolo Profibus DP.

Para finalizar, dado que la evaluación de los parámetros eléctricos que determinan la calidad de la energía involucran grandes cantidades de datos (desde 1008 hasta 60000 valores) se implementa un programa que permite el análisis de los parámetros muestreados por el sistema de monitoreo para realizar estudios y reportes de calidad de voltaje, frecuencia, desbalance, armónicos de voltaje y corriente, parpadeo de larga duración y factor de potencia en redes de mediana potencia.

Palabras clave para la búsqueda en Internet:

Calidad de Energía Norma EN 50160 Norma RG 2441 Monitoreo de Energía

ABSTRACT

Currently, electrical power is of supreme importance for humanity. Electricity is utilized in industrial and domestic applications that vary from a cities' illumination to the powering of construction equipment and computer systems. Consequently, the disturbances and variations of voltage affect the human life in one way or another and it is from this perspective that Power Quality becomes necessary.

Power Quality is a concept utilized to refer to the standard of quality that energy should have in terms of tension or constant voltage and sinusoidal form, of constant oscillation frequency and of minimal disruptions like harmonics and flicker. The level of fulfillment of the previous standards is the one which determines the Power Quality.

The present paper offers a comparative summary of the technical norms of Power Quality, national and international, in order to carry out the successful configuration of a power monitoring system that operates in accordance with the norms and standards of the industry. The power monitoring system that is configured is SIEMENS branded and is comprised of a SIMEAS Q Quality Meter designed to work in a Profibus DP net as a slave.

To conclude the study and in consequence to the fact that the evaluation of the electrical parameters that determine the Power Quality implicate large quantities of data (from 1008 until 60000 datas), a program is created that permits data analysis from sampling the Energy in the power system. This with the objective to carry out studies and reports that include: quality of voltage, frequency, unbalance, harmonics of voltage and current, flicker, long term flicker and power factor in networks of medium voltage.

Keywords:

Power Quality Norm EN 50160 Norm RG 2441 Power Monitor

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción de la empresa.....	1
1.2 Definición del problema y su importancia	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
Capítulo 2: Antecedentes.....	7
2.1 Estudio del problema por resolver	7
2.2 Requerimientos de la empresa.	8
Capítulo 3: Marco Teórico.....	9
3.1 La calidad de la energía.....	9
3.2 La calidad de la energía en Costa Rica	10
3.3 Normativas nacionales e internacionales	14
3.4 Resumen de las normativas.....	26
3.5 Los Generadores Térmicos.....	27
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.....	29
Capítulo 5: Descripción del <i>hardware</i> utilizado	36
5.1 El SIMEAS T.....	36
5.2 El sistema de monitoreo de calidad de energía	36
5.2.1 Descripción general del SIMEAS Q	38
5.2.2 Descripción general de la tarjeta CP-5613.....	39
5.3 El OMICRON CMC 256-6	39
Capítulo 6: Descripción del <i>software</i> del sistema	41
6.1 Descripción del <i>software</i> SIMEAS PAR	41
6.2 Descripción del <i>software</i> SIMEAS Q Parametrization	41
6.3 Descripción del <i>software</i> NCM PC V 5.1	41
6.4 Descripción general del programa SICARO Q Manager V2	42
6.5 Descripción general del programa MATLAB Release 6.0.....	43

Capítulo 7: Análisis y resultados	46
7.1 Configuración del Sistema de Monitoreo SIEMENS (S.M.S)	46
7.2 Análisis de las pruebas realizadas al Sistema de Monitoreo Siemens(SMS)	51
7.3 Explicación del diseño del programa.....	53
7.4 Alcances y limitaciones.....	104
Capítulo 8: Conclusiones.....	105
Capítulo 9: Recomendaciones	107
Bibliografía.....	108
Glosario.....	110
Lista de abreviaturas.....	113
Apéndices y anexos.....	114
Apéndice A.1: Experimento de medición de parámetros con el transductor SIMEAS T.....	114
Apéndice A.2: Manual de instalación de la tarjeta CP 5613 y configuración de la red Profibus DP.....	119
Apéndice A.3: Experimento de comprobación de medición de parámetros de calidad de energía con el S.M.S.	131
Apéndice A.4: Manual de usuario del programa ACED (Analizador de Calidad de Energía D)	149
Apéndice A.5: Reporte de Calidad de Energía.	169
Fórmulas.....	173

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Jerarquía administrativa que interviene en la calidad de producción de la energía eléctrica.....	11
Figura 5. 1 Diagrama general del Sistema de Monitoreo de Energía.....	36
Figura 5.2 Esquema específico del Sistema de Monitoreo de Energía.	37
Figura 7. 1 Diagrama de flujo para la instalación y configuración del S.M.S.- Parte 1.....	47
Figura 7.2 Diagrama de flujo para la instalación y configuración del S.M.S.- Parte 2.....	49
Figura 7.3 Diagrama de flujo para la interfaz de usuario.....	53
Figura 7.4 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 1.....	60
Figura 7.5 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 2.....	62
Figura 7.6 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 3.....	64
Figura 7.7 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 4.....	66
Figura 7.8 Diagrama de flujo de la función frec. Parte 1.....	69
Figura 7.9 Diagrama de flujo de la función frec. Parte 2.....	70
Figura 7.10 Diagrama de flujo de la función Desbalance. Parte 1	74
Figura 7.11 Diagrama de flujo de la función Desbalance. Parte 2	75
Figura 7.12 Diagrama de flujo de la función Armónicos_V.....	78
Figura 7.13 Diagrama de flujo de la función Armónicos_V-Caso Monofásico. .	80
Figura 7.14 Diagrama de flujo de la función Flicker. Parte 1.....	84
Figura 7.15 Diagrama de flujo de la función Flicker. Parte 2.....	85
Figura 7.16 Diagrama de flujo de la función Factor de potencia. Parte 1.....	88
Figura 7.17 Diagrama de flujo de la función Factor de potencia. Parte 2.....	89
Figura 7.18 Diagrama de flujo de la función Busca.	92
Figura 7.19 Diagrama de flujo de la función Graf.....	95
Figura 7.20 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 1.....	98
Figura 7.21 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 2.....	100
Figura 7.22 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 3.....	102

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas de carácter general.	16
Tabla 3.2 Intervalos Normal y Tolerable del Valor de Tensión de Servicio. (Media Tensión).....	16
Tabla 3.3 Distorsión máxima de voltaje en el punto de interconexión.....	19
Tabla 3.4 Límites de distorsión armónica de voltaje para usuarios del servicio.	20
Tabla 3.5 Límites de distorsión armónica de corrientes para usuarios del servicio.	21
Tabla 3.6 Perturbaciones de origen transitorio.	23
Tabla 3.7 Clasificación de las Interrupciones (Por Duración)	24
Tabla 3.8 Tensiones Nominales del S.N.I.....	25
Tabla 3.9 Resumen de las normativas.	26
Tabla 3.10 Características de los Generadores del Plantel Colima	27

Capítulo 1: Introducción

1.1 Descripción de la empresa

El Instituto Costarricense de Electricidad (**ICE**) fue creado como institución autónoma en el año 1949. Desde su origen fue concebido como el ente rector y ejecutor principal del desarrollo y administración de la industria eléctrica nacional. Con la creación del ICE, el país avanzó notablemente en el desarrollo del sector eléctrico en la segunda mitad del siglo XX. Asimismo, el servicio es confiable, de alta calidad, de cobertura nacional, sustentado en el uso racional de los recursos energéticos nacionales y soportado en políticas con planes de expansión a largo plazo.

El ICE trabaja en el área de energía y telecomunicaciones. Para ofrecer un mejor servicio al cliente se encuentra dividido en dos grandes sectores:

- ICE – Energía.
- ICE – Telecomunicaciones.

El sector ICE – Energía se encuentra subdividido en seis Unidades Estratégicas de Negocios (UEN):

- a) Producción de electricidad.
- b) Transporte de electricidad.
- c) Servicio al cliente.
- d) Proyectos y servicios asociados.
- e) Centro nacional de control de energía (CENCE).
- f) Centro nacional de planificación de energía.

El ICE tiene como principal función promover el desarrollo económico-social del país, mediante el suministro adecuado de la energía eléctrica y los servicios de telecomunicaciones; manteniéndose a la vanguardia tecnológica al actuar siempre con apego a las normas éticas y en busca de la excelencia, tanto en la utilización de los recursos disponibles como en el servicio al cliente.

Entre las políticas que se manejan en la institución se citan las siguientes:

1. Garantizar el financiamiento del sector eléctrico.
2. Promover la competencia del sector eléctrico.
3. Propiciar el desarrollo y explotación racional de fuentes de energía ambientalmente limpias.
4. Promover el uso racional y eficiente de la energía con participación del Estado y de las comunidades.
5. Regular el mercado eléctrico.
6. Desarrollar racionalmente las fuentes productoras de energía propias de Costa Rica, especialmente los recursos hidráulicos y estimular el uso de la electricidad para el desarrollo industrial y de su población.
7. Establecer y mejorar el funcionamiento de los servicios de comunicaciones telefónicas, telegráficas, radiofónicas y radiotelegráficas, tanto nacionales como internacionales.
8. Planificar, diseñar, construir, poner en servicio y ampliar las plantas generadoras, subestaciones, líneas de transmisión y redes de distribución del sector eléctrico, lo mismo que las centrales, redes, planta externa y demás elementos del sistema de telecomunicaciones.

El proyecto “Monitoreo y análisis de la calidad de la energía generada en la empresa ICE” se realizó específicamente en el Centro de Servicio Técnico Central; este pertenece a la Unidad Estratégica de Negocio (UEN) Producción de Electricidad que agrupa todas las plantas de generación eléctrica del país. La actividad principal del departamento es servir de apoyo técnico en las áreas de electricidad, mecánica, civil y química. Por lo tanto, existen ingenieros en cada una de las ramas indicadas, y son 10 en total. El departamento cuenta con laboratorios en las áreas de química, sistemas de automatismo, metrología, talleres de metalmecánica y de rebobinado de motores y transformadores.

El Centro de Servicio Técnico Central se encuentra localizado en el ICE plantel Colima, en la zona de Colima, Tibás, en la provincia de San José.

1.2 Definición del problema y su importancia

El problema radica en la necesidad de la UEN de Producción de Electricidad del ICE de detectar fallas en el funcionamiento de las unidades generadoras, como el desbalance producido por la caída de tensión de alguna de sus fases o variaciones de frecuencia.

Además, existe la necesidad de almacenar los datos de energías activas y reactivas producidas, para evaluar la eficiencia energética en los generadores y conocer las características eléctricas reales de la potencia producida por sus unidades, como la distorsión armónica en voltaje y corriente, transitorios y otros disturbios (ver página 9).

La importancia de la solución de este problema para la empresa radica en tener un mayor control sobre las características eléctricas de la energía producida, para garantizar calidad en el suministro.

Por todo lo anterior, es conveniente que el Centro de Servicio Técnico Central elabore una síntesis de la información de las normas nacionales e internacionales de calidad de la energía, y con estas realice la configuración de un equipo de monitoreo que permita la correcta medición de los parámetros eléctricos que determinan la calidad.

También, la empresa requiere el diseño de un programa versátil y de fácil uso para el análisis de los datos suministrados por el equipo de monitoreo; de tal forma que sea capaz de generar un reporte del estado de calidad del servicio de la red.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una síntesis de la información técnica de las normativas nacionales e internacionales de calidad en la generación de energía eléctrica, para configurar un sistema de monitoreo de los parámetros que intervienen en su evaluación y diseñar un programa que permita elaborar análisis de los datos proporcionados por este sistema.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar y analizar las características eléctricas de la red generadora de energía que se desea monitorear.
2. Conocer las normas sobre calidad de energía dictadas por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) y determinar cuáles normas internacionales se utilizarán para realizar la comparación, ya sean de la IEEE¹ o de la IEC².
3. Programar los parámetros del transductor SIMEAS T y utilizarlo en una práctica de medición de variables eléctricas de un sistema trifásico para familiarizarse con dicha tecnología.
4. Realizar la programación de los parámetros de medición del transductor SIMEAS Q y aprender a conectar adecuadamente dicho transductor.

¹ IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

² IEC: Comité Eléctrico Internacional.

5. Instalar y configurar la tarjeta de comunicación CP 5613 en la PC.
6. Configurar la red Profibus DP para habilitar la comunicación entre el SIMEAS Q y el programa SICARO Q Manager V2.
7. Utilizar el programa SICARO Q Manager V2 para realizar pruebas de laboratorio en la medición de parámetros que determinan la calidad de energía.
8. Poner a punto el sistema de monitoreo.
9. Realizar el Algoritmo y diagrama de flujo del programa que evaluará y analizará los datos que determinarán la calidad de la energía.
10. Desarrollar un programa de pruebas que permita manipular y presentar listas de datos en el Lenguaje MATLAB.
11. Implementar el programa con una interfaz de usuario amigable mediante los diagramas de flujo y documentar internamente su código.
12. Poner a punto el *software*.

Capítulo 2: Antecedentes

2.1 Estudio del problema por resolver

El Centro de Servicio Técnico Central del ICE adquirió un sistema de monitoreo compuesto inicialmente por un medidor de calidad SIMEAS Q, diseñado para trabajar en una red de dispositivos de control industrial a través de una tarjeta de comunicación bajo un protocolo llamado Profibus DP. La tarjeta de comunicación se adquirió posteriormente y es más moderna que la recomendada por los manuales para la implementación del sistema, con el inconveniente que utiliza un *software* distinto, por lo cual los manuales referidos para levantar la red con el SIMEAS Q como esclavo no son válidos. Este equipo se adquirió desde el año 1999 y hasta el momento no ha trabajado. La empresa realizó una inversión con miras a solucionar un problema de monitoreo de parámetros, pero dicha inversión no ha podido generar los beneficios que la empresa desea, en virtud de que se desconoce su funcionamiento y se carece del tiempo y del personal para realizar la investigación de su configuración.

Este problema involucra el hecho de conocer las normas nacionales publicadas por la ARESEP que rigen la evaluación de la calidad de la energía y comparar estas con las normas internacionales IEC 50160, IEEE 519, IEC 61000-4-30 para determinar en qué nivel se encuentran. Esto con el fin de configurar correctamente los parámetros de medición de cualquier sistema de monitoreo de calidad de la energía y de diseñar un programa capaz de realizar el análisis de los datos proporcionados por el sistema, generando reportes de evaluación.

2.2 Requerimientos de la empresa.

La empresa ICE plantel Colima, específicamente el Centro de Servicio Técnico Central requiere que, al finalizar este proyecto, se logre determinar en cuanto a las normas de calidad de la energía una referencia teórica. También, necesita que se monte y configure a nivel de laboratorio un sistema de monitoreo de los parámetros que determinan la calidad de la energía.

Además, espera que se implemente el diseño de un programa que permita el análisis de los datos con base en los estándares nacionales e internacionales de calidad en energía. Cabe destacar que es de suma importancia para la empresa la realización de los manuales de configuración del sistema de monitoreo y la documentación interna del código del programa diseñado para garantizar la transferencia de tecnología.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 La calidad de la energía

La energía eléctrica es de suma importancia para la humanidad. En la sociedad actual, la electricidad es utilizada en la iluminación y para la operación de diversos equipos tales como vídeo, aire acondicionado y sistemas de cómputo. Con la energía eléctrica se ha producido la mayoría de cosas. Por consiguiente, los disturbios y variaciones de voltaje que se producen afectan la vida de una u otra forma y desde este marco de referencia se hace necesario tener calidad en la energía.

La calidad de la energía es un concepto utilizado para referirse al estándar de calidad que debe tener la energía en términos de tensión o voltaje constante y de forma sinusoidal, de frecuencia de oscilación constante y de mínimas perturbaciones como armónicas y parpadeo (*flicker*), entre otros.

Algunos de los términos más utilizados y aceptados para definir los disturbios más comunes tanto por fabricantes como usuarios de equipos de monitoreo en el campo de la calidad de la energía, se presentan a continuación:

Distorsión armónica: La forma de la onda de tensión o corriente no es una senoidal pura. Esto resulta de la adición de una o más ondas armónicas que se superponen a la onda fundamental.

Hueco de tensión (*Sag*): Una disminución del valor eficaz (rms) de voltaje o corriente entre un 10 y un 90 % del valor de tensión nominal a la frecuencia fundamental de la red de distribución, con una duración entre medio ciclo y un minuto.

Impulso de tensión (transitorio): Un cambio súbito, unidireccional (positivo o negativo) en el voltaje o corriente, a una frecuencia diferente a la fundamental.

Interrupción: Se da cuando la tensión de servicio es menor que el 1% de la tensión declarada.

Parpadeo (*Flicker*): Impresión de inestabilidad de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo.

Perturbación: Modificación de un circuito eléctrico o de sus condiciones de funcionamiento. La perturbación describe el total acontecimiento que comienza con una falla y termina con el restablecimiento de las condiciones previas de calidad y confiabilidad en el suministro eléctrico.

Pico de tensión (*Swell*): Un aumento del valor eficaz (rms) de voltaje o corriente entre un 10 y un 80 % del valor de tensión nominal a la frecuencia fundamental de la red de distribución, con una duración entre medio ciclo y un minuto.

3.2 La calidad de la energía en Costa Rica

En Costa Rica, la energía es producida por el ICE y por los generadores privados (de conformidad con la Ley N.7200). La calidad de la energía generada involucra al CENCE y al ARESEP. La figura 3.1 muestra un diagrama de la jerarquía administrativa que interviene en la calidad de producción de la energía eléctrica. En el primer nivel de la jerarquía se muestra al ARESEP, en el segundo nivel al CENCE y en el tercer nivel a las empresas generadoras.

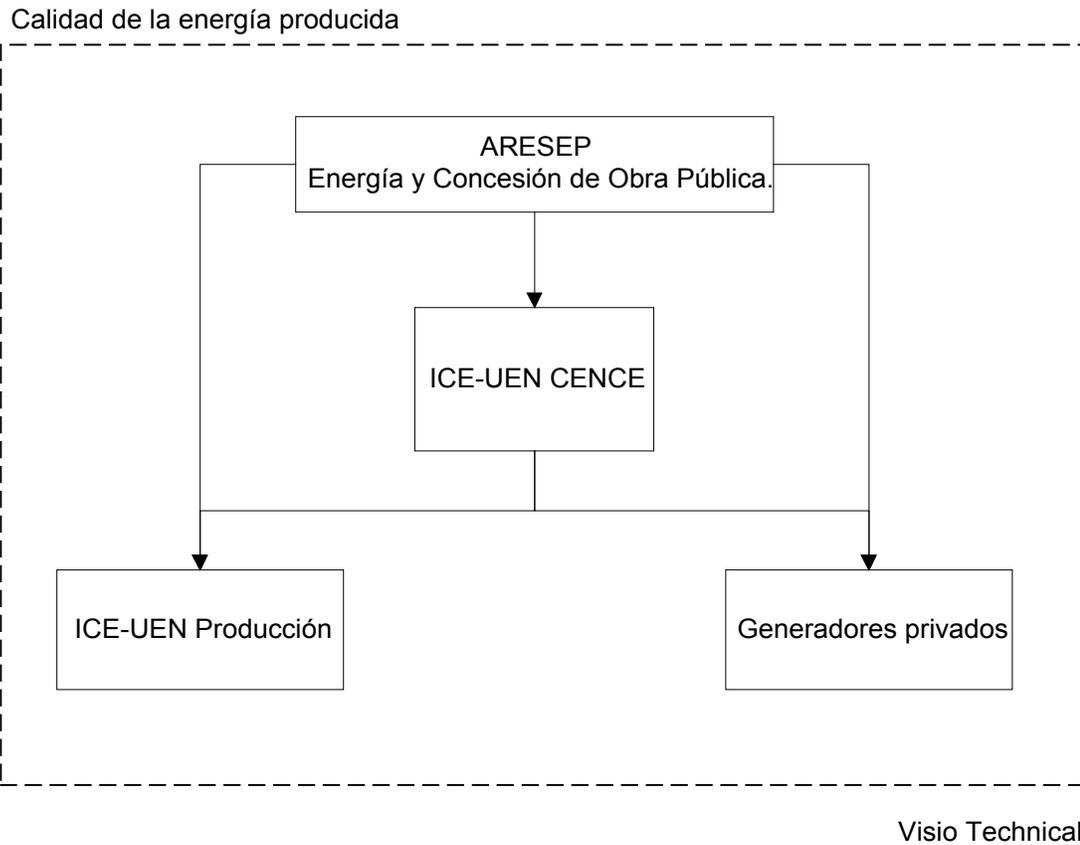


Figura 3.1 Jerarquía administrativa que interviene en la calidad de producción de la energía eléctrica.

Papel de la ARESEP en la calidad de la energía

La ARESEP es el Organismo Regulador de Costa Rica. Su estatus jurídico es de Institución Autónoma, cuya independencia está garantizada por la Constitución Política, por lo tanto, no depende de ningún ministerio o secretaría.

El órgano del ARESEP encargado de la regulación del sector electricidad es la Dirección de Energía y Concesión de Obra Pública. Esta actividad implica tanto el seguimiento, como las labores puntuales de trámites en cuanto a la calidad del servicio y los aspectos tarifarios. Entre las funciones principales de este órgano se citan las siguientes:

a. Elaborar los reglamentos que especifiquen las condiciones de calidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima con que deberán suministrarse los servicios públicos de electricidad, conforme a los estándares específicos existentes en el país o en el extranjero para cada caso.

b. Velar por el cumplimiento de las normas de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima, de acuerdo con sus reglamentos.

c. Probar la exactitud y confiabilidad de los instrumentos y sistemas de medición o conteo por medio de los cuales se brinda o suministra el servicio público de electricidad.

d. Realizar un seguimiento continuo de las condiciones tarifarias existentes en las industrias del servicio eléctrico.

Específicamente sobre el tema de calidad de la energía eléctrica, el ARESEP emitió normativas que establecen un estándar para la electricidad que debe ser generada y distribuida en el país (publicadas en la Gaceta N.5 el martes 8 de enero del 2002). De estas normativas, por su descripción técnica, se analizarán en la sección 3.3 de este documento las siguientes:

- RRG³-2441-2001. “ Calidad de Voltaje de Suministro.”
- RRG-2442-2001. “ Calidad de la Continuidad de Suministro Eléctrico.”
- RRG-2439-2001. “ Calidad en el Servicio de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica.”

Papel del CENCE en la calidad de la energía.

La cantidad de la energía por generar en Costa Rica es demandada por el CENCE que funge como cliente interno del ICE. El CENCE es responsable del planeamiento y coordinación de la operación integrada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el propósito de garantizar el suministro continuo y de calidad de la energía eléctrica.

Entre las funciones del CENCE se encuentran: realizar las evaluaciones pertinentes de los paros programados de las unidades generadoras, líneas de transmisión y subestaciones; cumpliendo con el plan de maniobras sobre la operación del SEN: plan de mantenimiento, conexión y desconexión. Además de monitorear el SEN, reporta inmediatamente las fallas al grupo de mantenimiento y despacha en condiciones de emergencia la reserva disponible.

³ Resoluciones del Regulador General.

De esta manera, las empresas públicas y privadas generadoras de energía eléctrica deben someterse a las normativas emitidas por la ARESEP y a las demandas realizadas por el CENCE para garantizar el buen funcionamiento del SEN.

3.3 Normativas nacionales e internacionales

A continuación se muestra un resumen comparativo de los aspectos técnicos que describen las normativas RRG-2439, RRG2441 y RRG2442, en cuanto a la calidad de la energía en redes de alimentación a media tensión, con las normativas internacionales EN 50160 (Características del Voltaje en Sistemas de Distribución Pública), IEC 61000-4-30 y la IEEE 519.

Frecuencia

La normativa RRG-2441 establece en el apartado 3.1:

La frecuencia nominal de la tensión suministrada debe ser 60 Hertzios (Hz). En condiciones normales de explotación, el valor medio de la frecuencia fundamental en redes de distribución debe estar comprendido en el siguiente intervalo:

- para redes acopladas por enlaces sincrónicos a un sistema interconectado:

$$60 \text{ Hz} \pm 0.5 \%$$

- para redes sin conexión sincrónica a un sistema interconectado:

$$60 \text{ Hz} \pm 2.0 \%$$

De los intervalos de variación de la frecuencia se puede observar que la norma no especifica el rango de tiempo para las mediciones. Es decir, durante qué porcentaje de tiempo de una semana o de un año se debe mantener la frecuencia nominal dentro de los límites declarados por la norma.

Por otro lado, la normativa RRG-2439 especifica que las tolerancias y variaciones de operación de la frecuencia nominal del Sistema Nacional de Interconectado (S.N.I) debe ser de 60 Hz \pm 0.5 %.

Además, de los criterios que se toman para la desconexión automática de cargas por baja frecuencia del SNI destacan los siguientes:

- a. En ningún momento la frecuencia debe ser inferior a 57.5 Hertz. Es decir, una máxima variación de -4.166% durante el 100% del tiempo.
- b. En contingencias, se debe minimizar el tiempo que la frecuencia permanezca por debajo de 58.5 Hertz.
- c. Cada “empresa distribuidora” debe habilitar su demanda para ser desconectada por relés de baja frecuencia, con el fin de que el SNI pueda soportar la salida de las mayores plantas de generación y, en consecuencia, evitar en lo posible colapsos totales.

La normativa internacional

En Europa, la frecuencia nominal de la red es de 50 Hz.

En resumen, la normativa EN 50160 en el apartado 2.1 establece que para las conexiones sincrónicas se permite una variación de +/- 1% para un 99.5 % del año. Por otro lado, establece que para un 100% del tiempo las variaciones deben estar entre -6% y un +4% de la frecuencia nominal del sistema.

Para las redes sin conexión sincrónica, la variación permitida es de +/- 2% de la frecuencia nominal durante un 95% de la semana; la máxima variación permitida es de +/- 15% durante el 100% del tiempo.

La normativa IEC-61000-4-30 propone realizar las mediciones de frecuencia promediando cada 10 segundos.

Amplitud de la tensión nominal

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.2 que:

Los valores eficaces (rms) de tensión nominal (V_n) para las redes de distribución generales de media tensión, tanto en distribución aérea como subterránea, se establece como se indica en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas de carácter general.

Sistema Tensión	Entre líneas activas (Voltios)	Entre líneas activas y neutro (voltios)
Trifásico 4 conductores	4160	2400
	13200	7620
	13800	7970
	24940	14400
	34500	19920

Amplitud de la tensión de servicio

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.3 que:

En condiciones normales de explotación, la amplitud de la tensión de servicio (V_s) de valor eficaz (rms), en redes generales de distribución a media tensión, debe estar comprendida en los intervalos que se muestran en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Intervalos Normal y Tolerable del Valor de Tensión de Servicio. (Media Tensión)

Sistema - U_c /Intervalo	Normal (Voltios)		Tolerable (Voltios)	
	V_{\min}	V_{\max}	V_{\min}	V_{\max}
Trifásico 4 conductores				
4160/2400 V	4050/2340	4370/2520	3950/2280	4400/2540
13200/7620 V	12870/7430	13860/8000	12504/7240	13970/8070
24940/14400 V	24320/14040	26190/15120	23690/13680	26400/15240
34500/19920	33640/19420	36230/20920	32780/18930	36510/21080

Notas sobre la tabla 3.2

- 1 *Los intervalos de tensión de servicio, "normal" y "tolerable", representan los límites máximos y mínimos de tensión permisible, ante los cambios de carga y potencia en el sistema de distribución, bajo condiciones normales de operación, de conformidad con la normativa RRG-2441, apartado 3.4, el cual es expuesto en este mismo documento.*
- 2 *Para el caso de media tensión, en redes con una densidad de demanda de potencia superior a 50 kVA/Km y que sirvan a zonas donde no exista división manzanas, no es permitido el intervalo de variación tolerable, salvo en condiciones especiales, por ejemplo: mantenimiento preventivo y correctivo, construcciones en la red, etc. En el caso de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, bajo las condiciones anteriores, la situación de voltaje tolerable no podrá exceder de 24 horas en redes aéreas y de 72 horas en el caso de redes subterráneas.*
- 3 *En redes con una densidad de demanda de potencia superior a 50 kVA y que sirvan a zonas donde exista división manzanas, la condición de tensión tolerable es permisible bajo el entendido de que la empresa debe efectuar, en un plazo no mayor de tres meses, los ajustes necesarios para alcanzar la banda de tensión normal.*

De la tabla 3.2 se puede deducir que la variación porcentual existente entre los valores de voltaje nominal y los valores mínimos y máximos tolerables están entre un $\pm 5.5\%$ aproximadamente, mientras que para los valores mínimos y máximos normales están entre un $+5\%$ y un -2.5% aproximadamente.

La normativa internacional

La normativa EN 50160 en el apartado 3.3 de mediana tensión establece que las variaciones del voltaje suplido pueden estar entre un $\pm 10\%$ de la tensión de servicio. Para este caso, la norma costarricense es más estricta.

Variaciones de tensión de servicio

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.4 que:

En condiciones normales de explotación, para cada período de una semana (7 días consecutivos), el 95 % de los valores eficaces, promediados en diez minutos, deben situarse en el intervalo normal del valor de tensión de servicio (V_s).

La normativa internacional

La normativa EN 50160 en el apartado 3.3 establece los mismos parámetros para la evaluación de las mediciones de la tensión de servicio.

Desbalance de las tensiones de fase

La normativa RRG-2439 determina en el apartado 5.2.3 que:

En condiciones normales de operación, la máxima componente de secuencia negativa del voltaje deberá permanecer por debajo del 1%. La fórmula para su cálculo se muestra en la sección de Fórmulas de este documento (ecuación 1).

Aunque esta normativa señala el valor límite superior por evaluar no indica el periodo en que se debe evaluar la norma ni el porcentaje de las mediciones que deben estar por debajo del límite para estar acordes con ella.

La normativa internacional

La normativa EN 50160 en el apartado 3.10 establece que, en condiciones normales de operación, la componente de secuencia inversa inferior, durante cada periodo de una semana, el 95 % de los valores eficaces, promediados en 10 minutos debe estar entre un rango de 0% y 2% y en algunas áreas de hasta 3%.

Tensiones armónicas

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.6 que:

Las distorsiones máximas de voltaje se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Distorsión máxima de voltaje en el punto de interconexión.

	< 69 kV	69-138 kV	> 138 kV
Armónico Individual (%)	3.0	1.5	1.0
THD(%)	5.0	2.5	1.5

En condiciones normales de explotación, para cada período de siete días consecutivos, el 95 % de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 minutos, no debe sobrepasar el 3% del valor de tensión nominal. Además, la tasa de distorsión armónica total de la tensión (THD) suministrada (comprendidos todos los armónicos hasta el orden 40) no debe sobrepasar el 5%.

La norma aclara que los valores especificados por esta son válidos siempre y cuando el abonado cumpla con las condiciones de corrientes armónicas.

Cabe destacar que esta norma establece los mismos criterios que la normativa IEEE 519 en el apartado 11.5 con respecto a las tensiones armónicas.

La normativa internacional

La normativa EN 50160 en el apartado 3.11 establece que en condiciones normales de operación, durante cada periodo de una semana, el 95 % de los valores eficaces de cada voltaje armónico individual promediados en 10 minutos debe ser menor o igual a los mostrados en la tabla 3.4. Además, el THD de voltaje suplido (incluyendo todos los armónicos hasta el orden 40) debe ser menor o igual al 8 %.

Tabla 3.4 Límites de distorsión armónica de voltaje para usuarios del servicio.

A				Armónicas Pares	
Armónicas Impares					
No Múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Tensión Relativa (%)	Orden h	Tensión Relativa (%)	Orden h	Tensión Relativa (%)
5	6	3	5	2	2
7	6	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6...24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

h: Orden de la armónica.

Nota: Para efectos prácticos no se muestran armónicos de orden superior de 25, ya que estos usualmente son muy pequeños.

Corrientes armónicas

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.7 que:

Los abonados o usuarios de tipo industrial y general, con servicios trifásicos, deberán ajustar sus instalaciones, con el fin de que la distorsión armónica de la corriente en el punto de entrega se encuentre dentro de los límites establecidos en la tabla 3.5

Tabla 3.5 Límites de distorsión armónica de corrientes para usuarios del servicio.

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE EN REDES GENERALES DE DISTRIBUCIÓN.						
(Tensión de 120 a 69000 voltios)						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2	1	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

h : Orden de la armónica.

I_{sc} : Máxima corriente de cortocircuito en el punto de entrega.

I_L : Máxima corriente demandada por la carga.

TDD: Total de distorsión de demanda de corriente, como un porcentaje de la máxima corriente demandada por la carga.

Notas:

1. I_L debe calcularse como el promedio de la máxima corriente demandada durante los doce últimos meses precedentes.
2. Los valores de distorsión para las armónicas de orden par deben limitarse al 25 % de los valores para las armónicas de orden impar.

La normativa internacional

La normativa IEEE 519 establece en la sección 10.4 los mismos límites para la evaluación de la distorsión armónica de corriente.

Severidad del parpadeo

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.8 que:

En condiciones normales de explotación, durante el 95% del tiempo, para cada período de una semana (siete días consecutivos), el nivel de severidad de larga duración del parpadeo ligado a las fluctuaciones de la tensión (P_{It}), debe ser inferior a 1.

La fórmula para el cálculo de la severidad de parpadeo se muestra en la sección de Fórmulas (ecuación 2).

La normativa internacional

La severidad de parpadeo o *Flicker* está definido de igual forma por la norma EN 50160 en la sección 3.4.2.

Para su medición, se debe seguir lo establecido por la norma EN 61000-4-15, norma que establece la medición del parpadeo de corta duración en intervalos de 10 minutos y de dos horas para P_{It} .

Variaciones de voltaje de corta duración.

La normativa RRG-2441 determina en el apartado 4 que:

Las perturbaciones de origen transitorio (huecos y picos de tensión e impulsos) aunque son inevitables por parte de la empresa distribuidora, pueden ser limitadas en cuanto a su amplitud, duración y frecuencia, minimizando así los efectos que estas ocasionan en los artefactos eléctricos.

La tabla 3.6 muestra las principales características de las perturbaciones transitorias, sus magnitudes y duraciones típicas, así como los límites de magnitud y duración permisibles.

Tabla 3.6 Perturbaciones de origen transitorio.

Categoría	Duración Típica	Magnitud Típica	Valores no permisibles
Impulso	5 μ seg. – 1 mseg.	0-800 %	Impulsos con magnitud mayor al 200 % de V_n .
Hueco de tensión	8.33 mseg –1 minuto	10-90 %	Huecos entre un 0 % y un 87 % de V_n con duración mayor a 8.33 mseg.
Pico de tensión	8.33 mseg a 1 minuto	110-180 %	Picos mayores a 115% de V_n de cualquier duración.

Los valores no permisibles indicados en la tabla 3.6 se deben utilizar como valores de umbral en los sistemas de monitoreo para la detección de fallas transitorias.

La normativa internacional

La normativa EN 50160 establece en la sección 3.5 que los fenómenos de huecos de tensión se permiten desde unas decenas hasta 1000 por año, con una profundidad inferior al 60% de V_n y duración inferior a 1s.

Clasificación de las interrupciones

La normativa RRG-2442 determina en el apartado 2.1 que:

En función de la duración de las interrupciones, estas se clasifican como se muestra en la tabla 3.7:

Tabla 3.7 Clasificación de las Interrupciones (Por Duración)

Tipo de Interrupción	Duración
Momentánea	Menor o igual a un minuto
Temporal	Superior a un minuto e inferior o igual a tres minutos.
Prolongada	Superior a tres minutos

La normativa internacional

La normativa EN 50160 define en la sección 3.6 que las interrupciones de corta duración en el 70% de los casos tienen una duración inferior a 1 segundo y ocurren desde una docena de veces hasta varios cientos por año. Mientras que las interrupciones de larga duración, según la sección 3.7 tienen una duración superior a 3 minutos y se permiten de 10 a 50 por año, sin considerar interrupciones programadas.

Tensiones del Sistema Nacional Interconectado

La normativa RRG-2439 determina en el apartado 2.1 que:

Las tensiones en el ámbito de transmisión del Sistema Nacional Interconectado, así como los correspondientes límites de variación tolerables, se establecen como se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Tensiones Nominales del S.N.I.

(Sistema de Transmisión)

Tensión Nominal (RMS)	Límites de variación normales ($\pm 5\%$)	Límites de variación tolerables ($\pm 10\%$)
230 kV	219 – 242 kV	207 – 253 kV
138 kV	131 – 145 kV	124 – 152 kV
69 kV	66 – 72.5 kV	62 – 76 kV

La potencia reactiva inyectada o absorbida en una unidad generadora, operando en estado estable, deberá estar completamente disponible en un rango de variación del voltaje del 5% hacia arriba, en el caso de sobreexcitación del generador, y de 5% por debajo, en el caso que la unidad esté trabajando en condición de subexcitación.

La presente norma, aunque parezca repetida, no lo es; por tanto, se añade como referencia. Además, dicha norma cumple con lo especificado por la norma EN 50160 en el apartado 3.3 de mediana tensión que permite una variación de +/- 10%.

3.4 Resumen de las normativas

Tabla 3.9 Resumen de las normativas.

Parámetro	EN 50160	ARESEP
Frecuencia	50Hz \pm 1% Síncrono 50Hz \pm 2% Asíncrono (10s/95%/semana) 50Hz +4%/-6% (todo el tiempo/100%/semana)	60 Hz \pm 0.5 % Síncrono 60 Hz \pm 2.0 %. Asíncrono 60 Hz – 4.166% (todo el tiempo/100%/semana)
Variaciones de Tensión	Uc \pm 10% (10m/95%/semana)	Uc \pm 5.5% tolerable (10m/95%/semana)
Desbalance	inferior al 2% (10m/95%/semana)	inferior al 1%
Armónicas de voltaje	Ver Tabla 3.4 (10m/95%/semana)	Ver Tabla 3.3 (10m/95%/semana)
Armónicos en corriente	Ver Tabla 3.5 (10m/95%/semana)
Parpadeo	inferior al 1% (10m/95%/semana)	inferior al 1% (10m/95%/semana)

La tabla 3.9 muestra un resumen de la comparación de las normas emitidas por la ARESEP con las emitidas por la EN 50160. Esta tabla se generó como una ayuda visual rápida que permita ver las tolerancias de variación que se aceptan para cada parámetro y los períodos sobre los que se deben hacer las mediciones.

Para el caso de fenómenos transitorios en voltaje ver la tabla 3.6.

3.5 Los Generadores Térmicos

La empresa ICE plantel Colima cuenta con seis generadores térmicos de energía, cuatro de los cuales tienen una capacidad de producción de 2 MW cada uno, mientras que los restantes generadores tienen una capacidad de producción de 3 MW cada uno. En total, la planta térmica de generación de energía está en capacidad de producir 14 MW.

Los generadores son de marca Westinghouse y consumen en promedio 677 litros de búnker por hora en plena carga, sus principales características se pueden apreciar en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Características de los Generadores del Plantel Colima

Características	Valor
Potencia (kVA)	3712,5
Tensión (V)	2400 / 4160
Corriente (A)	894 / 515
Factor de Potencia (%)	80
Fases	3
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (RPM)	240
Factor de carga (%)	100
Horas	24

Como se puede observar en la tabla 3.10 el factor de carga es de un 100% durante 24 horas, lo que significa que el régimen de operación de estas unidades generadoras puede llegar a ser continuo. Es decir, teóricamente, la demanda máxima de la carga podría alcanzar hasta un 100 % de su capacidad (3712,5 kVA) el 100 % de las horas de operación. El factor de potencia mínimo es de 80 %, y representa el valor mínimo garantizado al cual puede operar continuamente sin elevar su temperatura.

En la misma tabla se puede constatar que los generadores son trifásicos, y que producen una energía eléctrica con voltaje de 4160V, a una frecuencia de operación de 60 Hz.

En el funcionamiento de los sistemas eléctricos es necesario mantener en forma continua un equilibrio entre la generación eléctrica y la demanda variable de la carga, conservando la frecuencia existente, niveles de voltaje y condiciones de continuidad en cuanto al suministro de la energía eléctrica.

La demanda de los consumidores es de naturaleza variable y requiere consecuentemente de fluctuaciones de la energía total, de manera que se conserve el equilibrio de potencia.

La frecuencia del sistema sirve como una indicación de cualquier desequilibrio importante entre la carga y la generación, y se usa para controlar la potencia de salida de los generadores en corto tiempo por medio de reguladores que actúan en forma rápida y continua, estos reguladores detectan las desviaciones con respecto a un valor previamente ajustado de referencia y actúan directamente sobre el sistema de admisión de la turbina.

El control global de un sistema de generación está basado en la combinación de la retroalimentación para el control de voltaje y frecuencia conjuntamente con una acción de control o programación de generación basada en las predicciones de la demanda.

La diferencia entre las potencias generadas y consumidas debe ser continuamente monitoreada para garantizar que la acción de control aplicada a la generación mantiene el equilibrio. También, para ratificar que la energía que se está produciendo es de calidad para ser transmitida y distribuida por la red de servicio.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

A continuación se detalla la metodología empleada para alcanzar cada uno de los objetivos específicos. Por ello, la numeración entre el objetivo y la actividad coincide, para observar su dependencia.

1. Buscar la información sobre las características eléctricas de la red generadora de Colima en manuales de la empresa y consultando a los ingenieros de la empresa.

Esta actividad fue de suma importancia para enfocar correctamente la investigación sobre las normativas de calidad en energía; producto de esta actividad, se pudo limitar la investigación a sistemas de mediana potencia.

2. Estudiar las normas de calidad de la energía eléctrica dictadas por la ARESEP y el CENCE e investigar en bibliotecas y en Internet las normativas internacionales por utilizar, ya sean de la IEEE o de la IEC, para realizar un resumen comparativo con la información relevante.

Para la realización de esta actividad, se necesitó hacer las siguientes sub-actividades:

2.1 Investigación bibliográfica

Se realizó mediante libros y artículos de revistas. Durante el desarrollo de esta sub-actividad se recopiló la información que ayudó a comprender los fenómenos o perturbaciones eléctricas que degradan la calidad de la energía.

2.2 Investigación en Internet

A través de esta herramienta, se localizaron referencias que sirvieron de guía para determinar las normativas internacionales que se debían adquirir.

2.3 Investigación de campo

Para la realización de esta investigación, se concertaron reuniones con el Departamento de Calidad del ICE y con el CENCE (Centro Nacional de Control de Energía). El fin primordial de esta investigación era determinar y obtener las normas de calidad que estas empresas utilizaban en la evaluación de la calidad de la energía eléctrica.

También se contactó con personeros de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) para que facilitaran las normas de calidad de energía vigentes en el país.

2.4 Análisis de la información

Con la información recopilada, se generó un resumen comparativo de las especificaciones técnicas de las normativas de calidad de energía referentes a sistemas de media potencia.

3. Estudiar el manual del SIMEAS T para determinar la forma de conexión adecuada y su programación de parámetros, de acuerdo con las características de la red y realizar mediciones a nivel de laboratorio.

Este paso metodológico requirió las siguientes sub-tareas:

3.1 Estudio del manual del Transductor SIMEAS T

Mediante esta actividad, se conoció las características eléctricas y de aplicación del equipo. También, se extrajo la información que especifica la forma de conexión adecuada para realizar mediciones de parámetros eléctricos en una red trifásica y se aprendió a configurar sus parámetros de configuración.

3.2 Estudio del manual del programa SIMEAS PAR

Esta actividad se realizó para aprender a utilizar este programa que permite el control del SIMEAS T desde una computadora personal.

3.3 Elaboración de un procedimiento de laboratorio

Esta actividad se realizó por la necesidad de diseñar las pruebas controladas en las que se utilizaría el SIMEAS T en el laboratorio. De manera que las pruebas se hicieran respetando un procedimiento establecido con anterioridad.

3.4 Realización de pruebas

Mediante esta actividad, se puso en práctica el procedimiento de laboratorio en la obtención de mediciones de parámetros eléctricos.

4. Estudiar el manual del SIMEAS Q y utilizar su programa de parametrización para programarlo de acuerdo con las características de la red generadora de energía y realizar mediciones a nivel de laboratorio.

Esta actividad se realizó con el fin de obtener la información relevante del Transductor SIMEAS Q y del programa SIMEAS Q Parametrization. Además, para aprender a configurar los parámetros de medición del SIMEAS Q e identificar algunas de sus características más relevantes como capacidad de memoria y limitaciones de medición.

5. Investigar y conocer el procedimiento de instalación y configuración de la tarjeta de comunicación CP 5613 en su respectivo manual y ponerlo en práctica.

Esta actividad pretendía identificar la información requerida para el procedimiento de instalación y configuración de la tarjeta de comunicación CP 5613, para ser utilizada en una red Profibus DP.

Una vez localizada la información necesaria, se procedió a montar y configurar la tarjeta CP 5613.

6. Investigar y conocer el procedimiento de configuración de una red Profibus DP y ponerlo en práctica.

Para la ejecución de esta actividad, fue necesario realizar las siguientes sub-actividades:

6.1 Estudio de los manuales respectivos

En estos, se buscó específicamente la información del procedimiento de configuración de una red Profibus DP utilizando el SIMEAS Q como esclavo y la estación de trabajo que contiene la tarjeta CP 5613 como maestro.

6.2 Configuración de la red

Con la información adecuada, se llevó a cabo la configuración de la red Profibus DP, la cual se realizó mediante un programa de SIMATIC NET llamado NCM PC vrs 5.0.

7. Instalar y conocer el programa SICARO Q Manager V2 mediante su respectivo manual y realizar una interfaz de usuario que permita monitorear la energía.

Esta actividad se alcanzó mediante la realización de dos sub-actividades:

7.1 Estudio de manuales

Se estudió el manual del Programa SICARO Q Manager V2 para conocer su forma de operación a través de la red Profibus DP y para aprender a controlar desde este la operación del SIMEAS Q.

7.2 Instalación y uso del programa

Mediante esta actividad, se alcanzó la práctica necesaria para efectuar pruebas con el sistema de monitoreo.

8. Realizar pruebas de funcionamiento al sistema de monitoreo de la energía a nivel de laboratorio y corregir cualquier posible falla.

Para realizar la actividad, se ejecutaron estas cuatro sub-actividades:

8.1 Estudio del Equipo CMC 256-6

Esta es una fuente de pruebas controlada por una computadora personal, que se utilizó para realizar las pruebas al sistema de monitoreo.

8.2 Elaboración de un procedimiento de laboratorio.

Este procedimiento permitió realizar pruebas controladas en las que se utilizaría el sistema de monitoreo SIEMENS en el laboratorio.

8.3 Realización de pruebas

Mediante esta actividad, se puso en práctica el procedimiento de laboratorio en la obtención de mediciones de parámetros eléctricos.

8.4 Procesar los datos

Los resultados obtenidos de las desviaciones de las mediciones se compararon con los datos técnicos especificados por el fabricante.

9. Realizar la lógica de control y manipulación de los datos de acuerdo con los parámetros que definen las normas y estándares internacionales de calidad de energía que hayan sido definidas.

Este paso metodológico requirió las siguientes sub-tareas:

9.1 Limitar el diseño del programa

Según las posibilidades, los límites del programa por diseñar fueron definidos considerando los parámetros de calidad por evaluar de más trascendencia para la empresa ICE.

9.2 Desarrollo de la lógica de control

Esta se realizó para los parámetros de calidad por evaluar, según las normas seleccionadas.

10. Estudiar el manual de MATLAB para generar un programa de pruebas.

Este paso metodológico requirió las siguientes sub-tareas:

10.1 Investigación en Internet

A través de esta herramienta, se localizaron ejemplos de programación que fueron de gran ayuda.

10.2 Estudio de manuales

Se estudió lo relativo a cómo generar interfaces gráficas de usuario, manipulación de datos y matrices y todo lo referente a su lenguaje de programación.

Mediante esta actividad, se inició en la programación de MATLAB. El programa de pruebas que se generó analizaba los datos de frecuencia de una red de 60 Hz utilizando la normativa RG 2441 de la ARESEP. También, desplegaba en pantalla si la lista de datos aprobaba la norma y su respectivo gráfico.

11. Implementar en la computadora mediante el lenguaje de programación de MATLAB un programa capaz de realizar reportes de análisis de calidad de energía.

Mediante la ejecución de esta actividad, se logró implementar un programa con una interfaz de usuario amigable capaz de realizar el análisis de calidad de los parámetros de tensión, frecuencia, parpadeo de largo plazo, armónicos en voltaje y en corriente, factor de potencia y desbalance de tensiones para un sistema de mediana potencia, con la capacidad de generar reportes en formato HTML.

12. Realizar pruebas al programa diseñado basado en datos generados en laboratorio y corregir cualquier posible falla.

Con esta actividad se concluyó el proyecto.

Capítulo 5: Descripción del *hardware* utilizado

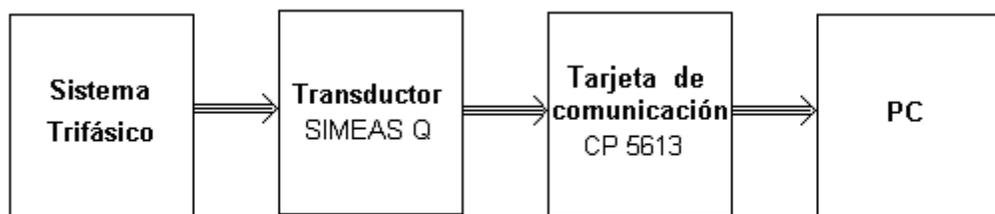
5.1 EI SIMEAS T

Es un transductor de variables eléctricas para sistemas trifásicos de cuatro o tres hilos o para sistemas monofásicos. Este transductor permite el monitoreo de los siguientes parámetros:

- a) Tensión y corriente efectiva (RMS).
- b) Potencia aparente y potencia reactiva.
- c) Frecuencia.
- d) Factor de potencia.
- e) Angulo de fase.
- f) Energía.

5.2 El sistema de monitoreo de calidad de energía

La figura 5.1, muestra un diagrama de bloques general del sistema de monitoreo de parámetros eléctricos de una red de mediana potencia, la figura 5.2 muestra el mismo sistema, pero de forma más específica.



Paint

Figura 5. 1 Diagrama general del Sistema de Monitoreo de Energía.

En la figura 5.1, se observa que básicamente el sistema de monitoreo está compuesto por un transductor SIMEAS Q capaz de sensor distintas variables de un sistema trifásico y donde los datos proporcionados por dicho transductor son muestreados mediante la tarjeta de comunicación CP 5613 a través de una red Profibus DP y proporcionados a una PC donde finalmente los datos son procesados.

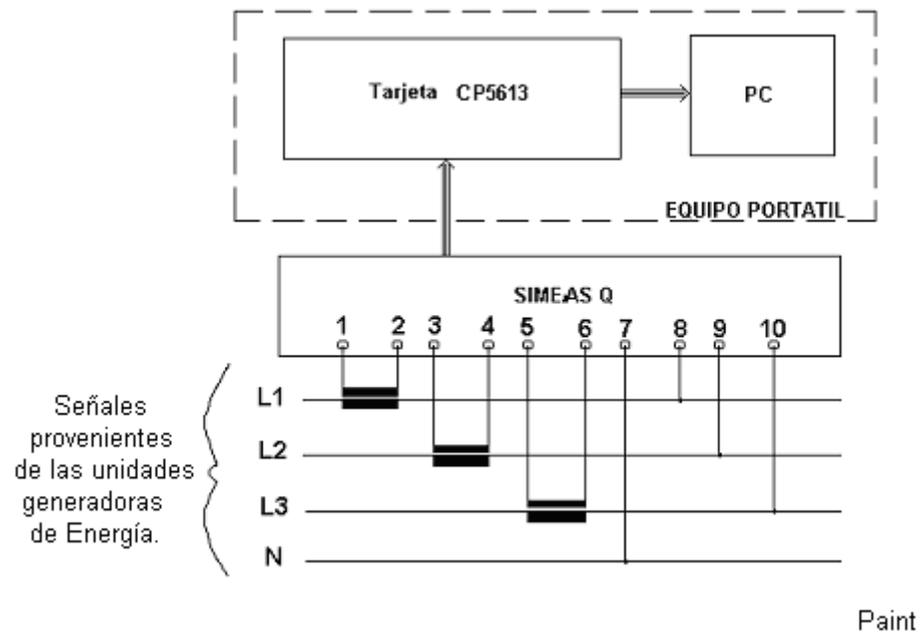


Figura 5.2 Esquema específico del Sistema de Monitoreo de Energía.

De la figura 5.2, se puede observar que el sistema será portátil, es decir, los dispositivos SIMEAS Q podrán estar instalados en equipos generadores de distintas plantas y existirá una sola computadora industrial portátil que contendrá la tarjeta y el *software* para realizar el monitoreo y analizar la calidad de la energía generada en la planta deseada. Dado que la solución es planteada a nivel de laboratorio, se empleará una fuente trifásica en lugar de las unidades generadoras de energía para facilitar las pruebas.

5.2.1 Descripción general del SIMEAS Q

El SIMEAS Q es un transductor de la empresa SIEMENS y está diseñado para sensar y almacenar las variables que tienen que ver con la calidad de energía; además, está hecho para trabajar en redes de baja tensión (hasta un 1KV voltaje nominal) y en redes de mediana tensión (hasta 35 KV voltaje nominal). Este transductor cuenta con su propio programa para realizar su parametrización, y es capaz de medir las siguientes variables:

- a) Tensión efectiva (RMS) de fase a tierra .
- b) Tensión efectiva (RMS) de fase a fase.
- c) Valores efectivos de las corrientes de fase.
- d) Potencia aparente y potencia reactiva por fase.
- e) Factor de potencia por fase y en el total del sistema.
- f) Distorsión armónica total por fase (THD) en voltaje y corriente hasta la armónica número 40.
- g) Energía activa.
- h) Energía reactiva (inductiva y capacitiva) y energía aparente del sistema total.
- i) Factor de simetría de la corriente y del voltaje.
- j) Severidad de parpadeo.

La capacidad de almacenamiento de datos en la memoria es de hasta 70000 mediciones. La exactitud con que el SIMEAS Q realiza las mediciones se puede apreciar en la tabla A.3.1 del Apéndice A.3.

Además, el SIMEAS Q está diseñado para trabajar en una red de comunicaciones maestro-esclavo por lo que cuenta con una interfaz que utiliza un protocolo llamado PROFIBUS DP.

El correcto funcionamiento del SIMEAS Q dependerá de su correcta conexión y de su parametrización, según sea la aplicación deseada.

5.2.2 Descripción general de la tarjeta CP-5613

Esta tarjeta es del tipo PCI y permite la comunicación entre el SIMEAS Q y la PC mediante el manejo del protocolo PROFIBUS DP. Por esta razón, antes de conectar el SIMEAS Q a la tarjeta es necesaria la configuración de la red PROFIBUS DP.

Esta tarjeta cuenta con su propio paquete de programas para realizar la configuración de la red y su chequeo.

5.3 EI OMICRON CMC 256-6

El CMC 256-6 es una fuente de pruebas controlada por una computadora personal ideada para probar los siguientes dispositivos:

- Relés protectores.
- Transductores.
- Contadores de energía.

Además de las funciones de prueba para los distintos tipos, existen funciones opcionales de medida de altas prestaciones [0 Hz (CC) ... 10 kHz] para diez entradas analógicas.

El CMC 256-6 forma parte del "OMICRON Test Universe" que, además del dispositivo de prueba, consta de un ordenador personal, del *software* de prueba y de amplificadores externos. Cabe destacar que la configuración y control del CMC 256-6 se efectúan por medio del *software* de prueba de OMICRON Test Universe.

Algunas de las características del CMC 256-6 son las siguientes:

- 4 salidas de tensión.
- 6 salidas de corriente.
- Control de amplificadores externos (hasta 6 señales de prueba suplementarias) por medio del interfaz de bajo nivel.
- Suministro de tensiones de corriente continua al equipo en prueba.
- Salida de señales binarias.
- Captura de señales, impulsos de contador y valores medidos de corriente continua.
- Medida y análisis de tensiones de corriente continua y corriente alterna.

Capítulo 6: Descripción del *software* del sistema

6.1 Descripción del *software* SIMEAS PAR

Este *software* se utilizó para la configuración de los parámetros del transductor SIMEAS T, con el objetivo de familiarizarse con este tipo de medidores. El mismo *software* permite la visualización de todas las variables medidas por dicho transductor.

En la sección de apéndices A.1 se muestran los resultados de un experimento realizado con este transductor.

6.2 Descripción del *software* SIMEAS Q Parametrization

SIMEAS Q Parametrization permite la configuración del SIMEAS Q mediante una interfaz RS 485. En este modo de operación, el medidor de calidad (SIMEAS Q) permite únicamente la configuración de los límites de los parámetros eléctricos y las bases de tiempo sobre las que se harán las mediciones. Dicho *software* solo permite la visualización de las tensiones y corrientes medidas.

6.3 Descripción del *software* NCM PC V 5.1

Mediante este *software* se configuró la red Profibus DP. Las redes Profibus DP facilitan una comunicación transparente desde un programa de control (en este caso el SICARO Q Manager V2). Estas redes están diseñadas para transferir pequeñas y medianas cantidades de datos a velocidades de hasta 1.5 Mbps.

El estándar Profibus DP se desarrolló para trabajar en sistemas de un maestro y de varios esclavos.

6.4 Descripción general del programa SICARO Q Manager V2

Entre las características fundamentales del programa SICARO Q Manager V2 se destacan las siguientes:

Transferir y almacenar datos medidos.

Despliegue de datos medidos en forma gráfica y alfanumérica.

Conversión de datos medidos en formato ASCII

El programa permite la realización de la interfaz que interactuará con el usuario en el momento del monitoreo de la red, mostrando el valor de las variables deseadas y permitiendo la posibilidad de configurar los parámetros del SIMEAS Q desde este. Para esta etapa, es de mucha importancia la investigación de las normas internacionales que rigen la calidad en la generación de la energía, ya que de acuerdo con ellas se realiza la interfaz.

La idea es aprovechar la ventaja que ofrece el SICARO Q Manager de conversión de datos al formato ASCII, y una vez en este formato exportarlos al programa que se diseñará para que realice el análisis y genere el reporte del estado de la calidad del servicio de la red, según los criterios formados de la investigación de las normativas.

6.5 Descripción general del programa MATLAB Release 6.0

MATLAB® es un lenguaje de alto nivel que integra el procesamiento de datos, la visualización y la programación en un ambiente de fácil uso donde los problemas y soluciones son expresados en notación matemática. MATLAB es de uso típico en las siguientes áreas y aplicaciones:

Matemáticas y Computación.

Desarrollo de algoritmos.

Modelado y simulación de sistemas.

Análisis, exploración y visualización del datos.

En el campo de la ciencia y de la ingeniería.

Desarrollo de aplicaciones incluyendo la construcción de interfaces gráficas para usuarios.

MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es un arreglo que no requiere dimensionarse. Esto permite resolver gran cantidad de problemas técnicos de la informática, especialmente los formulados con matrices y vectores en un fragmento del tiempo requerido por algún otro tipo de lenguaje no interpretado.

MATLAB es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory”. Originalmente escrita para proveer un uso eficaz al tratamiento matemático de matrices, desarrollado por proyectos LINPACK y EISPACK. Hoy, MATLAB usa el *software* desarrollado por proyectos LAPACK y ARPACK, que juntos representan el estado del arte en *software* para el procesamiento de matrices.

MATLAB en ambientes universitarios es una herramienta de instrucción para cursos de matemáticas, de ingeniería y de ciencias. En la industria, es la herramienta de opción por la alta productividad en la investigación, el desarrollo y el análisis.

MATLAB consta de cinco partes principales; a continuación se presenta cada una de ellas con una breve explicación :

Ambiente de desarrollo. Este es un conjunto de herramientas que ayudan a utilizar las funciones y archivos de MATLAB. Muchas de estas herramientas ofrecen una interfaz gráfica para el usuario. Incluye el *desktop* de MATLAB, la ventana de comandos (command window), el historial de comandos (command history), y un buscador para ver la ayuda y el espacio de trabajo (workspace).

La librería de Funciones Matemáticas de MATLAB. Es una colección vasta de algoritmos para el procesamiento matemático de datos; algunas de las funciones elementales son: la suma, el seno, el coseno, aritmética compleja, hasta funciones más sofisticadas como el inverso de una matriz, funciones de Bessel, y la transformada rápida de Fourier.

El lenguaje de MATLAB de alto nivel, está ideado para trabajar con arreglos y matrices, con declaraciones que permiten el control del flujo de datos, con funciones y estructuras características de una programación orientada a objetos. Esto permite programar con cantidades de código relativamente pequeñas y en corto tiempo aplicaciones de uso pesado para procesamiento de grandes cantidades de datos.

Handle Graphics® es el sistema de los gráficos de MATLAB. Incluye órdenes o comandos de alto nivel para la visualización de datos en dos y en tres dimensiones, procesamiento de imágenes, animación, y presentación de gráficos. También incluye comandos de bajo nivel que permiten personalizar la apariencia de los gráficos y construir interfaces de usuario gráficas para una determinada aplicación.

Application Program Interfase (API) es una biblioteca que permite escribir en los lenguajes C y Fortran, de manera que actúan recíprocamente con MATLAB, facilitando la realización de enlaces dinámicos para llamar rutinas.

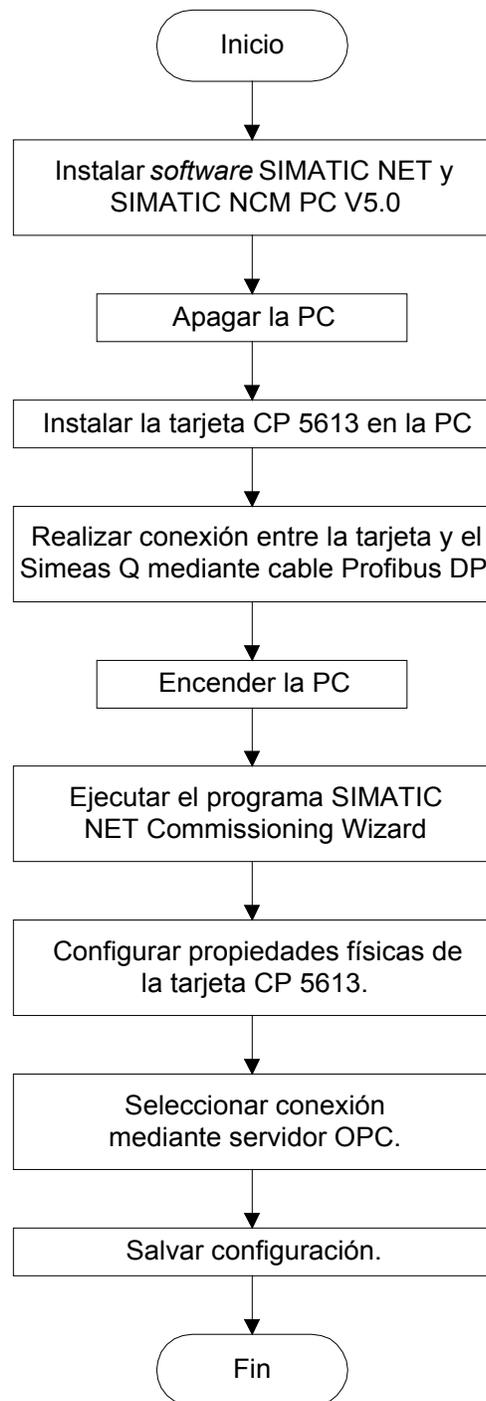
Capítulo 7: Análisis y resultados

7.1 Configuración del Sistema de Monitoreo SIEMENS (S.M.S)

La configuración del sistema de monitoreo SIEMENS se puede dividir básicamente en dos partes:

1. Instalación y configuración de la tarjeta CP 5613.
2. Configuración de la red Profibus DP.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.1 y 7.2 respectivamente.



Visio technical

Figura 7. 1 Diagrama de flujo para la instalación y configuración del S.M.S.-Parte 1.

En la figura 7.1 se observa que para instalar y habilitar la tarjeta CP 5613 en la PC es necesario ejecutar la siguiente secuencia de pasos:

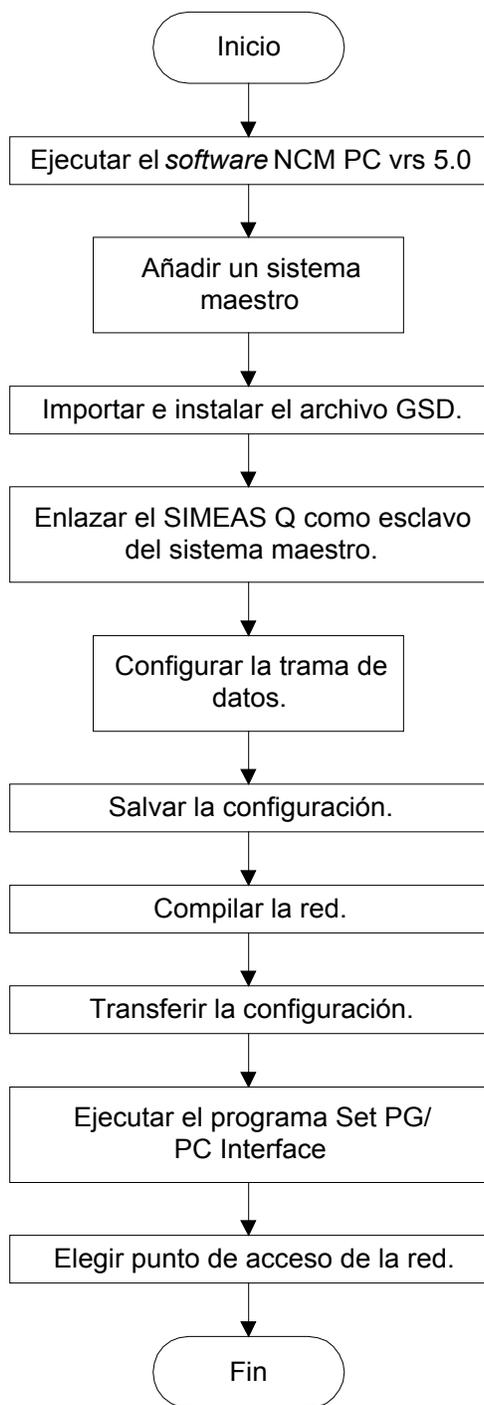
Instalación del software SIMATIC NET y SIMATIC NCM PC vrs 5.0. Estos son los programas que se encuentran en el disco llamado “SIMATIC NET Industrial Communication”. Simplemente se debe insertar el disco en el sistema y seleccionar la opción de instalar estos programas.

Instalación de la tarjeta CP 5613. Se debe apagar y desconectar la computadora. Se debe utilizar una pulsera con conexión a tierra con el fin de evitar que una descarga estática del cuerpo dañe a la tarjeta durante su manipulación. La tarjeta se instala en un *slot* PCI de la computadora.

Realizar conexiones. Concluida la instalación de la tarjeta en la computadora, el siguiente paso por realizar es conectar el SIMEAS Q a la tarjeta CP 5613 mediante un cable profibus DP.

Configurar la tarjeta. Se enciende la computadora y automáticamente se inicia una sesión con el programa SIMATIC NET Commissioning Wizard. Este programa lo lleva paso a paso a configurar las propiedades físicas de la tarjeta de comunicación; entre estas propiedades se configura la velocidad de transferencia de datos para el bus de la red, el tipo de bus utilizado, la dirección de la máquina que fungirá como maestro del sistema y el nombre de la tarjeta utilizada. En este mismo programa, se debe habilitar la opción de realizar una conexión mediante un servidor OPC; esto permitirá definir un sistema maestro para tener y accesar dispositivos esclavos como el SIMEAS Q.

Salvar. Para finalizar con la instalación y configuración de la tarjeta CP 5613 se debe salvar la configuración realizada.



Visio technical

Figura 7.2 Diagrama de flujo para la instalación y configuración del S.M.S.-Parte 2.

En la figura 7.2 se muestra la secuencia de pasos que se debe seguir durante la configuración de la red Profibus DP y a continuación se describen:

Ejecutar el programa NCM PC vrs 5.0. Este programa se localiza en la barra de inicio, específicamente dentro de programas en SIMATIC.

Agregar un sistema maestro. El sistema maestro se encuentra disponible únicamente si se seleccionó durante la configuración de la tarjeta el realizar conexión mediante un servidor OPC. Obviamente, si la opción de agregar un sistema maestro no está disponible entonces no se podrá continuar con la configuración de la red. Por lo que para tal caso se recomienda reiniciar la configuración de la tarjeta CP 5613.

Importar y ejecutar el archivo GSD. El archivo GSD contiene las características de la arquitectura del SIMEAS Q, si el programa NCM vrs 5.0 no conoce las características de este dispositivo, entonces no logrará incorporarlo a la red. Después del importe exitoso de dicho archivo, se encontrará dispuesto el dispositivo SIMEAS Q en el catálogo de herramientas del programa.

Enlazar el SIMEAS Q con el sistema maestro. El dispositivo se arrastra desde el catálogo de herramientas hasta el sistema maestro y de esta manera se enlaza.

Configurar la trama de datos por utilizar. La trama de datos es dependiente de la arquitectura del SIMEAS Q, por lo que se debe seleccionar la trama que corresponde al modelo. En este caso, se debe seleccionar la trama de 19 valores.

Salvar y compilar. Para transmitir la configuración de la red realizada a la tarjeta CP 5613 es necesario antes salvar y compilar la red.

Elegir punto de acceso a la red. Para que las aplicaciones como SICARO Q Manager V2 puedan tener acceso a la red de comunicaciones a través de la tarjeta CP 5613 es necesario definir un punto de acceso. Esto se logra mediante el programa Set PG/PC Interface donde se debe seleccionar el punto que contiene la tarjeta con el nombre correcto, es decir la CP-5613.

En el apéndice A.2 de este documento se muestra un manual paso a paso del procedimiento total de instalación y configuración de la tarjeta, así como el de configuración de la red. Este manual se elaboró producto de la experiencia adquirida durante la configuración de la red y el desarrollo de este proyecto.

Para este momento, el programa SICARO Q Manager tiene acceso al SIMEAS Q a través de la red Profibus DP configurada. De manera que se hace posible el monitoreo de calidad de energía desde el S.M.S.

7.2 Análisis de las pruebas realizadas al Sistema de Monitoreo Siemens(SMS)

El procedimiento completo utilizado para la realización de mediciones se muestra en el apéndice A.3 conjuntamente con los resultados obtenidos.

a. Comprobación de medición de voltaje

De la tabla A.3.4 y A.3.5 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de desviación son inferiores al 0.5 % para todas las fases, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (Desviación \leq 0.5 % max).

b. Comprobación de medición de corrientes

De la tabla A.3.6 y A.3.7 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de desviación son inferiores al 0.5 %, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (Desviación \leq 0.5 % max).

c. Comprobación de medición de frecuencia

De la tabla A.3.8 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de desviación son inferiores al 0.2 %, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (\pm 0.2 % del rango de salida).

d. Comprobación de medición de tensiones armónicas

Las desviaciones para las pruebas de armónicos de voltaje eran muy altas, como se puede observar en las tablas A.3.9, A.3.10, A.3.11, A.3.12, A.3.13, A.3.14 y A.3.15 del Apéndice A.3. La variación del error mostrado es polinomial de grado dos y para determinar cuál de los dos equipos presenta el problema se necesitará realizar una tercera prueba con otro equipo de medición. Esta evaluación no se efectuó dadas las limitaciones de equipo en la empresa para ejecutar este tipo de pruebas.

e. Comprobación de la medición de potencias y energías

e.1 Comprobación de medición de potencia activa

De la tabla A.3.16 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de error son inferiores al 0.2 %, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (± 0.2 % del rango de salida).

e.2 Comprobación de medición de potencia aparente y reactiva

De la tabla A.3.17 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de error son inferiores al 0.2 %, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (± 0.2 % del rango de salida).

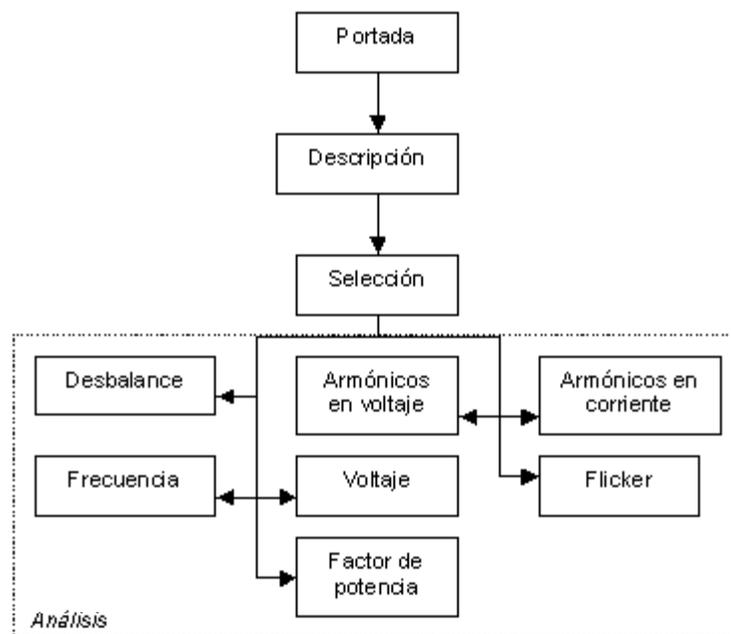
e.3 Comprobación de medición de energía activa, aparente y reactiva

De la tabla A.3.19, A.3.20 y A.3.21 del Apéndice A.3 se puede concluir que los porcentajes de error son inferiores al 0.2 %, acorde con lo declarado por el manual de SIMEASQ (± 0.2 % del rango de salida).

7.3 Explicación del diseño del programa

La explicación del programa diseñado se hará empezando por la interfaz de usuario. Después se irá avanzando en la explicación de las funciones programadas para atender cada petición de análisis del usuario.

El diagrama de flujo de la figura 7.3 muestra la relación existente entre las ventanas que guían al usuario en el análisis de los datos.



Visio technical

Figura 7.3 Diagrama de flujo para la interfaz de usuario.

Descripción de las ventanas programadas:

Portada: En esta ventana se presenta información general acerca del programa y un botón para continuar con la siguiente ventana, la cual es llamada Descripción.

Descripción: Esta ventana se diseñó para solicitar información de carácter general sobre la localidad donde se realizó el monitoreo de energía y demás. Los datos solicitados son:

- Ubicación geográfica del sitio.
- Características del servicio.
- Fecha de inicio de mediciones.
- Hora de inicio de mediciones.
- Fecha de finalización de mediciones.
- Hora de finalización de mediciones.
- Marca y modelo del equipo utilizado.

Cada dato solicitado es almacenado en variables globales de MATLAB, con el objetivo de ser extraídos después desde otras funciones.

En esta ventana se presentan dos botones: Anterior y Siguiente. El botón Anterior, regresa a la portada. El botón Siguiente continúa a la ventana de Selección.

Selección: En esta ventana se presenta una lista de los análisis disponibles. Por defecto se encuentra seleccionado el análisis de voltaje. Se debe seleccionar el nombre de un análisis y accionar sobre el botón Analizar, para invocar a la ventana relacionada con dicho análisis.

Los análisis disponibles son:

- Voltaje.
- Frecuencia.
- Desbalance.
- Armónicos en voltaje.
- Armónicos en corriente.
- *Flicker* a largo plazo.
- Factor de potencia.

Esta ventana también presenta el botón Anterior, que permite retroceder a la ventana de Descripción.

Voltaje: Si se seleccionó realizar análisis de voltaje, entonces al usuario se le solicitan cinco valores.

- Norma: Seleccionar entre RG-2441(valor por defecto) o EN50160.
- Voltaje de referencia: 4160 (valor por defecto), 13200, 13800, 24940, 34500, 2400, 7620, 14400, 19920.
- Sistema: Monofásico (valor por defecto) o trifásico
- Reportar informe: Reporta el informe con formato HTML.
- Nombre de la matriz de datos: debe ingresarse un nombre válido de variable de MATLAB y debe ser previamente definida.

Si no se ingresa un valor en el nombre de la matriz de datos, se reporta un error en la consola de MATLAB.

Se presentan dos botones.

1. Analizar: Realiza el análisis llamando a la función “Tensión”.

2. Ayuda: Información de referencia relacionada con el análisis actual.

Frecuencia: Se solicitan tres valores para realizar el análisis de frecuencia.

- Conexión: Sincrónico (valor por defecto) o Asíncrono.
- Reportar informe: Reporta el informe con formato HTML.
- Nombre de la matriz de datos: debe ingresarse un nombre valido de variable de MATLAB y debe ser previamente definida.

Si no se ingresa un valor en el nombre de la matriz de datos, se reporta un error en la consola de MATLAB.

Se presentan dos botones.

1. Analizar: Realiza el análisis llamando a la función "frec".
2. Ayuda: Información de referencia relacionada con el análisis actual.

Desbalance: Se solicitan tres valores para realizar el análisis de desbalance.

- Norma: Seleccionar entre RG-2441(valor por defecto) o EN50160.
- Reportar informe: Reporta el informe con formato HTML.
- Nombre de la matriz de datos: debe ingresarse un nombre valido de variable de MATLAB y debe ser previamente definida.

Si no se ingresa un valor en el nombre de la matriz de datos, se reporta un error en la consola de MATLAB.

Se presentan dos botones.

1. Analizar: Realiza el análisis llamando a la función "Desbalance".
2. Ayuda: Información de referencia relacionada con el análisis actual.

Flicker a largo plazo: Se solicitan tres valores para realizar el análisis de flicker a largo plazo.

- Tipo de sistema: Monofásico (valor por defecto) o trifásico.
- Reportar informe: Reporta el informe con formato HTML.
- Nombre de la matriz de datos: debe ingresarse un nombre válido de variable de MATLAB y debe ser previamente definida.

Si no se ingresa un valor en el nombre de la matriz de datos, se reporta un error en la consola de MATLAB.

Se presentan dos botones.

1. Analizar: Realiza el análisis llamando a la función "Flicker".
2. Ayuda: Información de referencia relacionada con el análisis actual.

Factor de potencia: Se solicitan tres valores para realizar el análisis de factor de potencia.

- Tipo de sistema: Monofásico (valor por defecto) o trifásico.
- Reportar informe: Reporta el informe con formato HTML.
- Nombre de la matriz de datos: debe ingresarse un nombre válido de variable de MATLAB y debe ser previamente definida.

Si no se ingresa un valor en el nombre de la matriz de datos, se reporta un error en la consola de MATLAB.

Se presentan dos botones.

1. Analizar: Realiza el análisis llamando a la función "FP".
2. Ayuda: Información de referencia relacionada con el análisis actual.

En el anexo A.4 se puede observar el manual de usuario del programa diseñado, mientras que en el anexo A.5 se puede mirar un reporte de datos en formato HTML obtenido con este programa.

Explicación de las funciones principales.

1. La función de cálculo "Tensión".

La función "Tensión" es una función que permite realizar el análisis de calidad de la magnitud de la tensión en una red de mediana potencia.

Recibe como entrada de datos los siguientes parámetros:

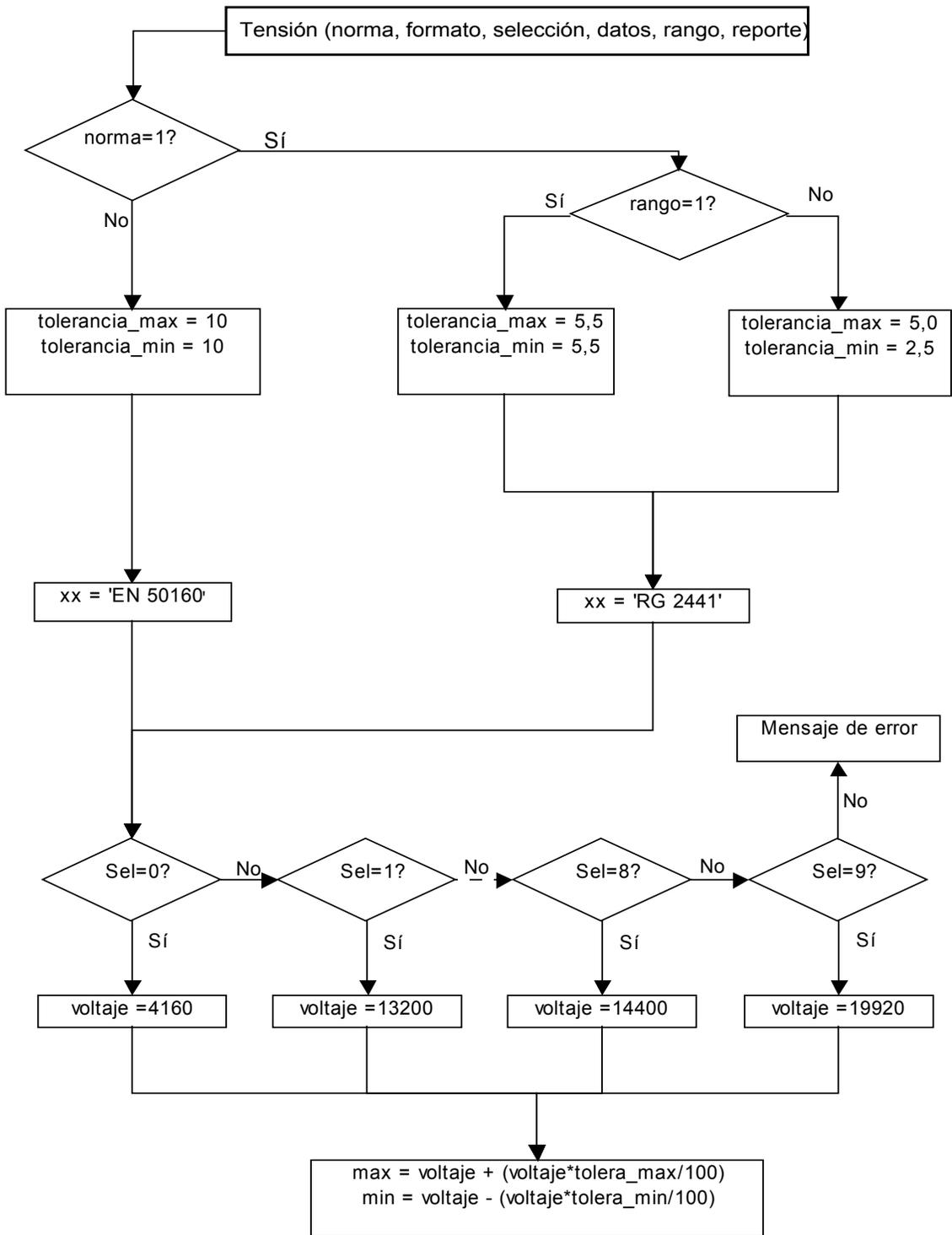
- a) Norma: especifica la norma que se usará para realizar el análisis de los datos, "1" si es la RG2441, "0" si es la EN50160.
- b) Formato: si el sistema es monofásico vale "1" o si es trifásico vale "0".
- c) Selección: Toma un valor entre "0" y "9" según la tensión de referencia de la red que se desea analizar.
- d) Datos: Es el nombre de la matriz de datos previamente definida. Esta matriz puede ser de 1 o 3 columnas. En ella se almacena el valor de los vectores de datos que se desean analizar.
- e) Rango: especifica la demanda de potencia, "0" si es mayor 50 KV, "1" si es menor.
- f) Reporte: parámetro binario que cuando vale "0" significa que el usuario desea un reporte de los datos analizados.

De la función "Tensión" se obtiene como salida las gráficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad. También si el usuario así lo dispuso se obtiene un reporte en formato HTML con la información más relevante del análisis.

El proceso de análisis que aplica dicha función se puede dividir en 4 partes, las cuales se enumeran a continuación:

1. Selección de la norma y de la tensión de referencia.
2. Evaluación de la matriz de datos.
3. Control de despliegue de mensajes.
4. Graficación de las tensiones y generación de reporte.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 respectivamente.



Visio technical

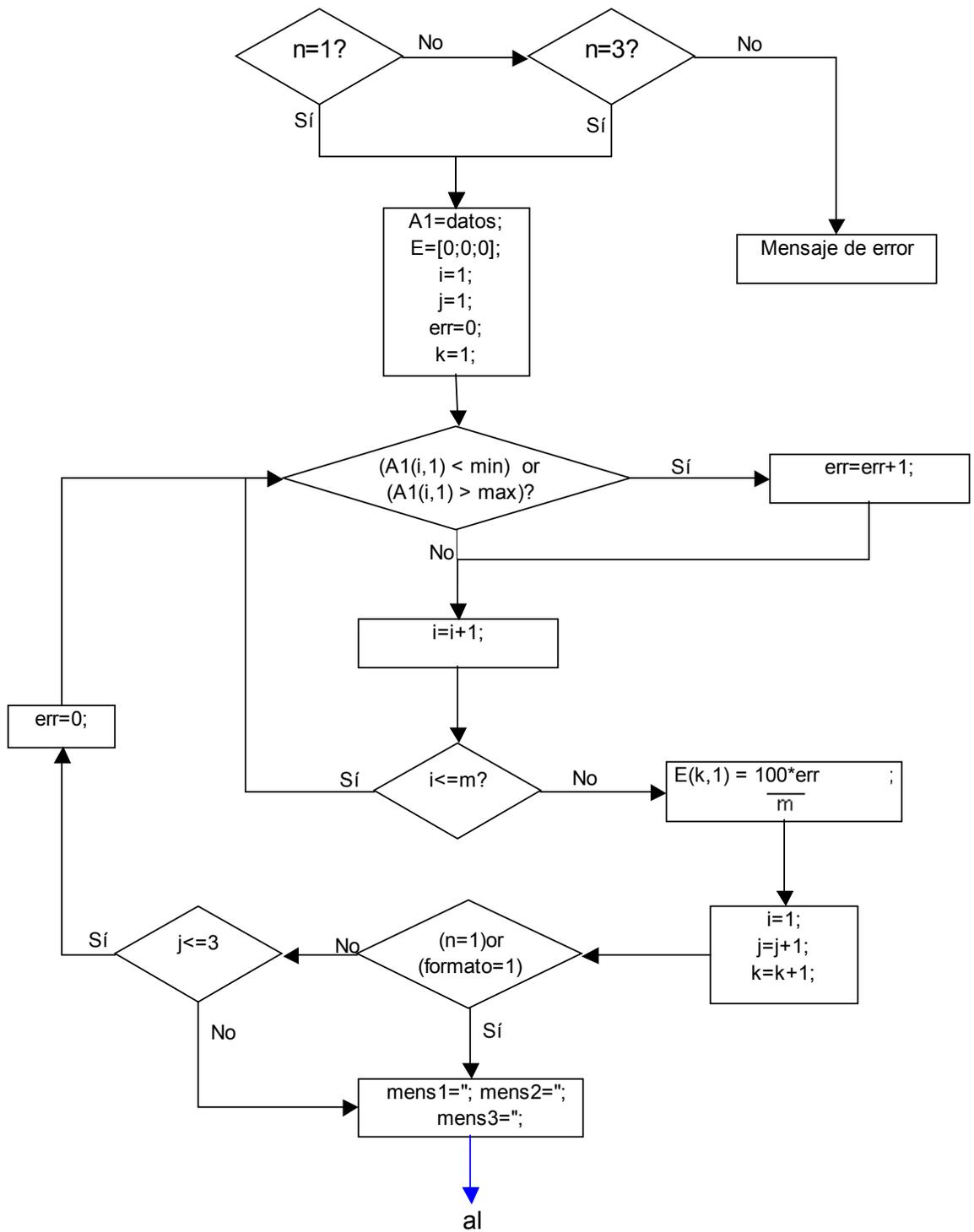
Figura 7.4 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 1.

En la figura 7.4 se muestra que una vez invocada la función Tensión se evalúa el valor de la variable “norma”; esta se utiliza para determinar la norma que se ocupará para la evaluación de la matriz de datos. Si “norma” es “1” entonces la norma utilizada para el análisis será la RRG2441 dictada por la ARESEP; de lo contrario, si “norma” es “0” entonces se utilizará la norma EN 50160.

Después de seleccionada la norma, se cargan los valores porcentuales de tolerancia máximo y mínimo respectivamente, según la norma escogida; estos valores se cargan en las variables llamadas: “tolera_max” y “tolera_min”, a la vez que se carga en otra variable llamada “xx” el nombre de la norma seleccionada.

Inmediatamente después, se evalúa el parámetro de entrada llamado “selección” del que se obtiene un valor entre “0” y “9” que se utiliza para determinar el valor de la tensión que se usará como referencia para la evaluación de los datos; este valor se carga en la variable llamada “voltaje”.

Una vez seleccionado el valor de la tensión de referencia se cargan en las variables “max” y “min” los valores máximos y mínimos de tensión permitidos, según la norma escogida y el voltaje de referencia.



Visio technical

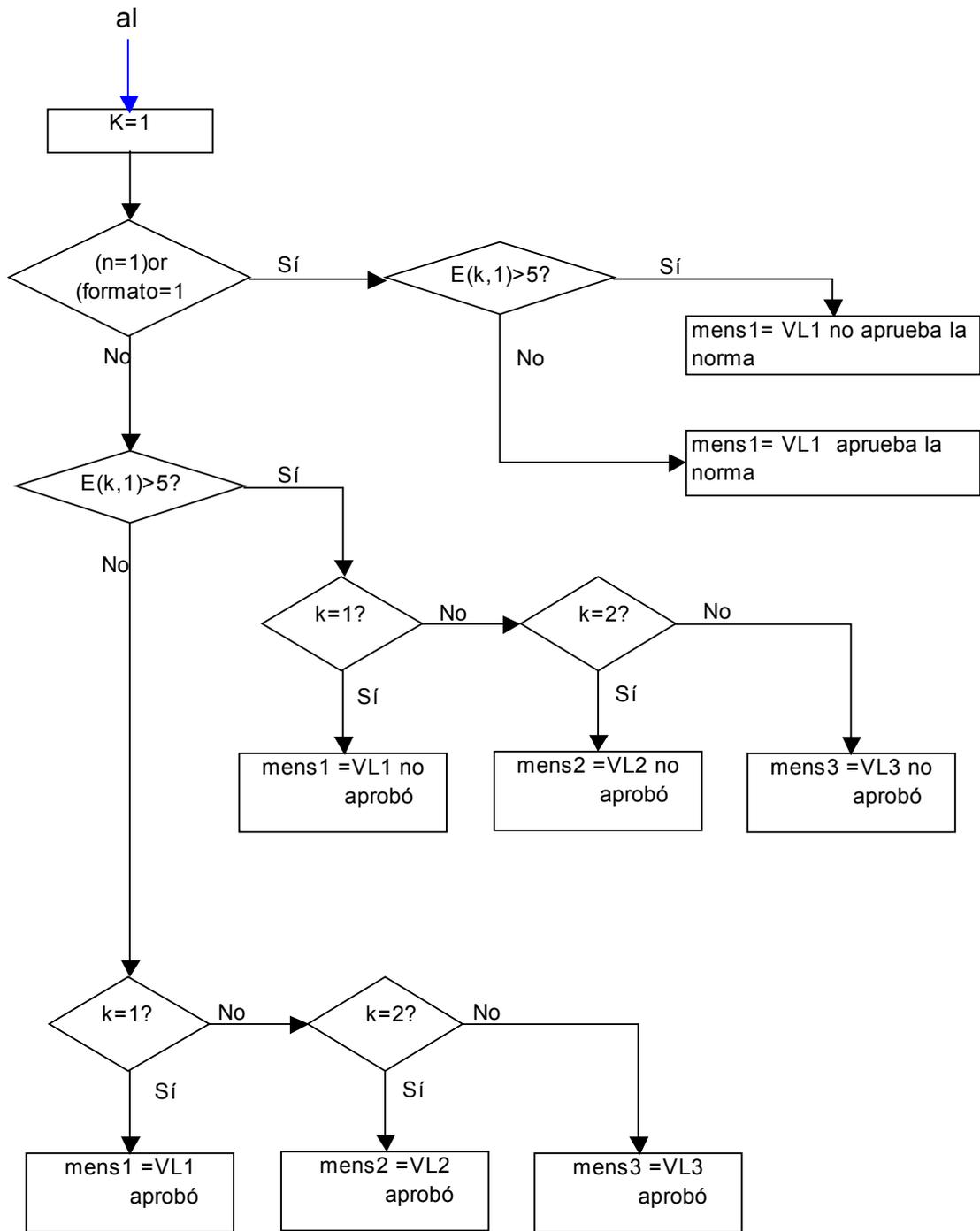
Figura 7.5 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 2.

En el diagrama de flujo de la figura 7.5 se observa el procedimiento de evaluación de la matriz “datos”. Donde, la primera instrucción “[m,n]=size(datos)” devuelve el tamaño de la matriz datos, la cantidad de filas se almacena en “m” y la cantidad de columnas en “n”. Con el valor de “n” se chequea que la matriz de datos corresponda a la de un sistema monofásico o trifásico. De lo contrario, devuelve un mensaje de error.

De seguido, se carga el valor de la matriz llamada “datos” en la variable denominada “A1” y se crea un vector de nombre “E” de 3 filas donde se almacenará el porcentaje de las mediciones fallidas para cada tensión de fase (V_{L1} , V_{L2} , V_{L3}).

Después se inicializa los contadores “i”, “j”, “k” y “err” en cero.

Cada columna de la matriz “datos” corresponde a una de las tensiones de fase. Se recorre cada valor de la columna de la matriz “A1” aumentando el valor de la fila y preguntando si el valor que se encuentra es mayor al valor “max” o menor al valor “min”; si es cierto entonces aumenta el valor del contador “err”. Una vez que termine de recorrer la columna calcula el porcentaje de las mediciones que han fallado y lo almacena en el vector “E”. Luego, en el caso de que el sistema sea trifásico, se aumenta el valor del contador “j” para acceder a la próxima columna. Una vez recorrida la primera columna en caso del sistema monofásico o las primeras 3 columnas en el caso del sistema trifásico, se inicializan las variables de texto llamadas “mens”. Estas variables son 3.



Visio technical

Figura 7.6 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 3.

La figura 7.6 muestra la estructura de control para el despliegue de mensajes.

Explicación:

Al chequear si la variable “formato” es igual 1, lo que está es controlando si el sistema es monofásico. Evalúa si el porcentaje de las mediciones que han fallado es mayor al cinco por ciento y de serlo despliega el mensaje de “No aprobación de la norma escogida”. Si es menor despliega el mensaje de “aprobación de la norma seleccionada”.

Si “formato es cero”, entonces el sistema es trifásico por lo que se deberá desplegar tres mensajes, uno para cada fase. Ahora, además de evaluar si el error es mayor que cinco deberá saber en qué fila se encuentra de la matriz “E”, por lo que deberá recorrer dicha matriz evaluando la condición de error y desplegando el respectivo mensaje, según sea el caso.

La forma como se diseñó el despliegue de datos fue pensando en el modo más cómodo para generar el reporte en formato HTML.

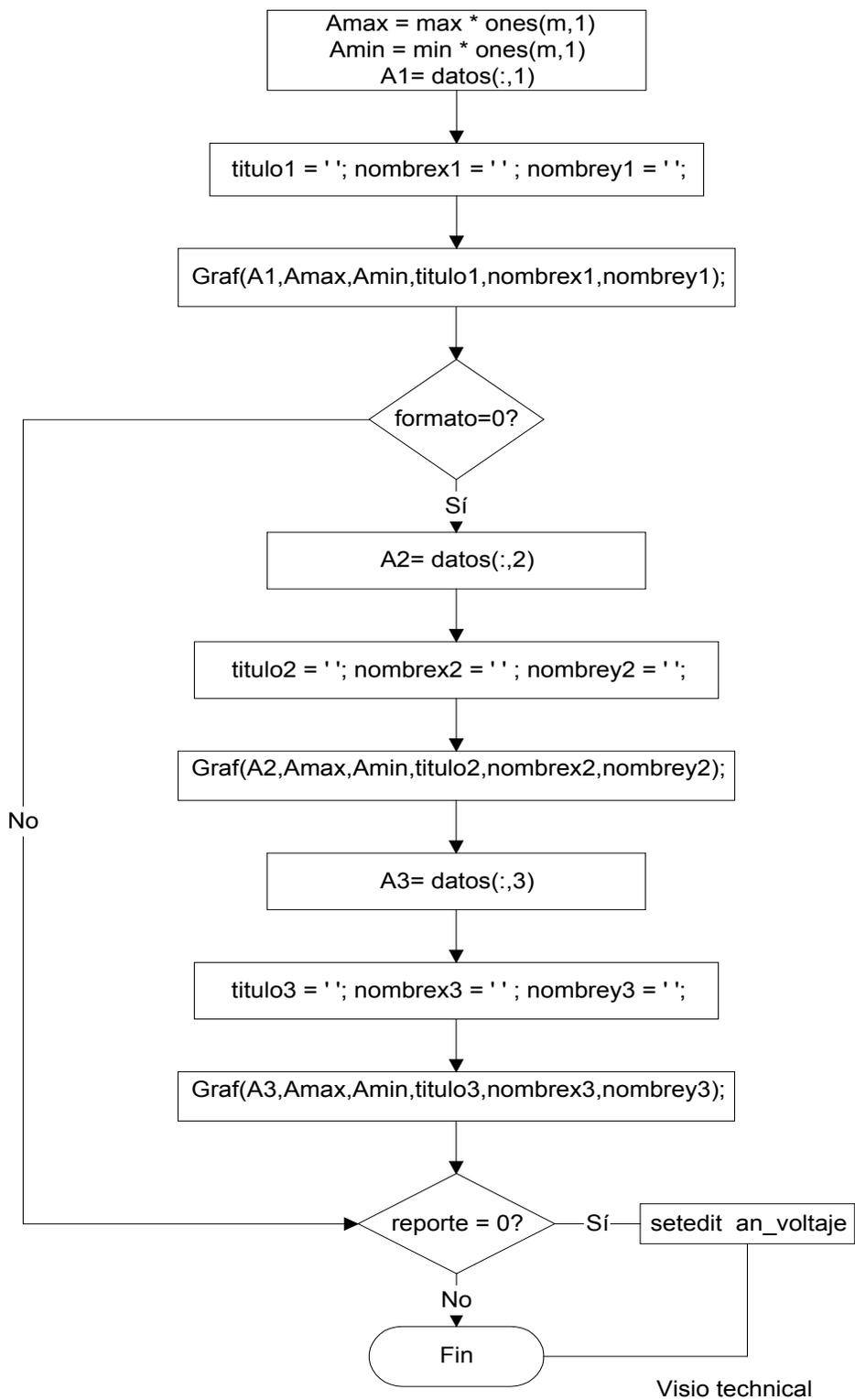


Figura 7.7 Diagrama de flujo para la función Tensión-Parte 4.

En la figura 7.7 se muestra el diagrama de flujo para el procedimiento de graficación. La idea es que carga los nombres de los ejes de datos y del título del gráfico en variables. Esta información junto con el vector de datos que se desea graficar se manda a la función "Graf". Esta función devuelve el gráfico realizado. Luego chequea si el sistema es trifásico y si lo es entonces realiza el mismo procedimiento otras dos veces más.

Una vez finalizado el procedimiento de graficación entonces se evalúa la variable "reporte". Si el contenido de la variable "reporte" es cero entonces se genera un reporte con la información más relevante del análisis; de lo contrario, finaliza la sesión de análisis de voltaje.

2. La Función de cálculo "frec".

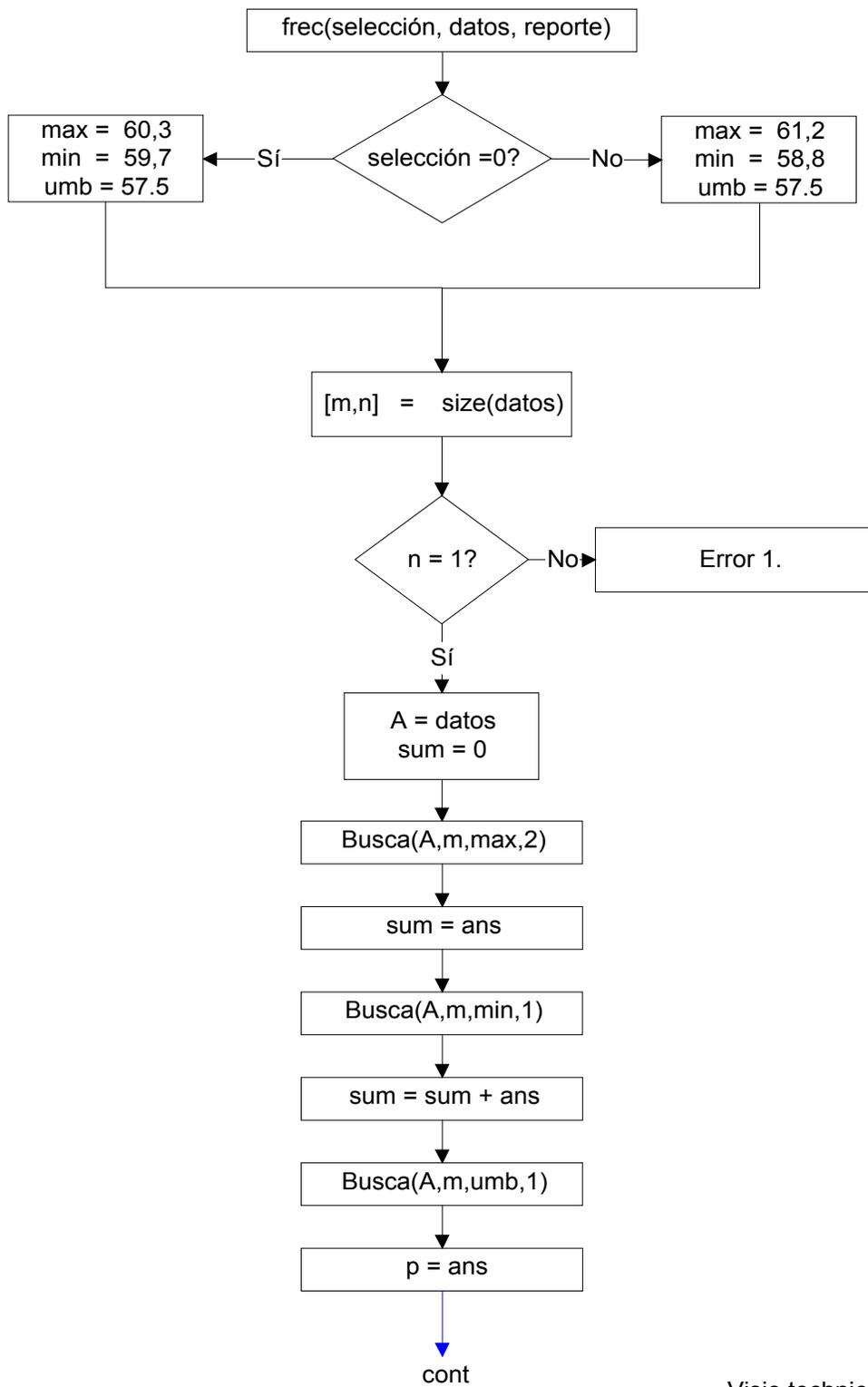
Esta función permite realizar el análisis de la frecuencia.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

- a) Selección: si es "0" realiza el análisis de datos considerando que la red que se está analizando es sincrónica, si es "1" para asincrónica.
- b) Datos: Es el nombre de la matriz de datos previamente definida. Esta matriz puede ser únicamente de una columna.
- c) Reporte: parámetro binario que cuando vale "0" significa que desea reporte.

De esta función se obtiene como salida las gráficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad RG-2441. Además, si el usuario así lo seleccionó, la generación de un reporte en formato HTML con la información más relevante.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de esta función se muestran en las figuras 7.8 y 7.9 respectivamente.



Visio technical

Figura 7.8 Diagrama de flujo de la función `frec`. Parte 1.

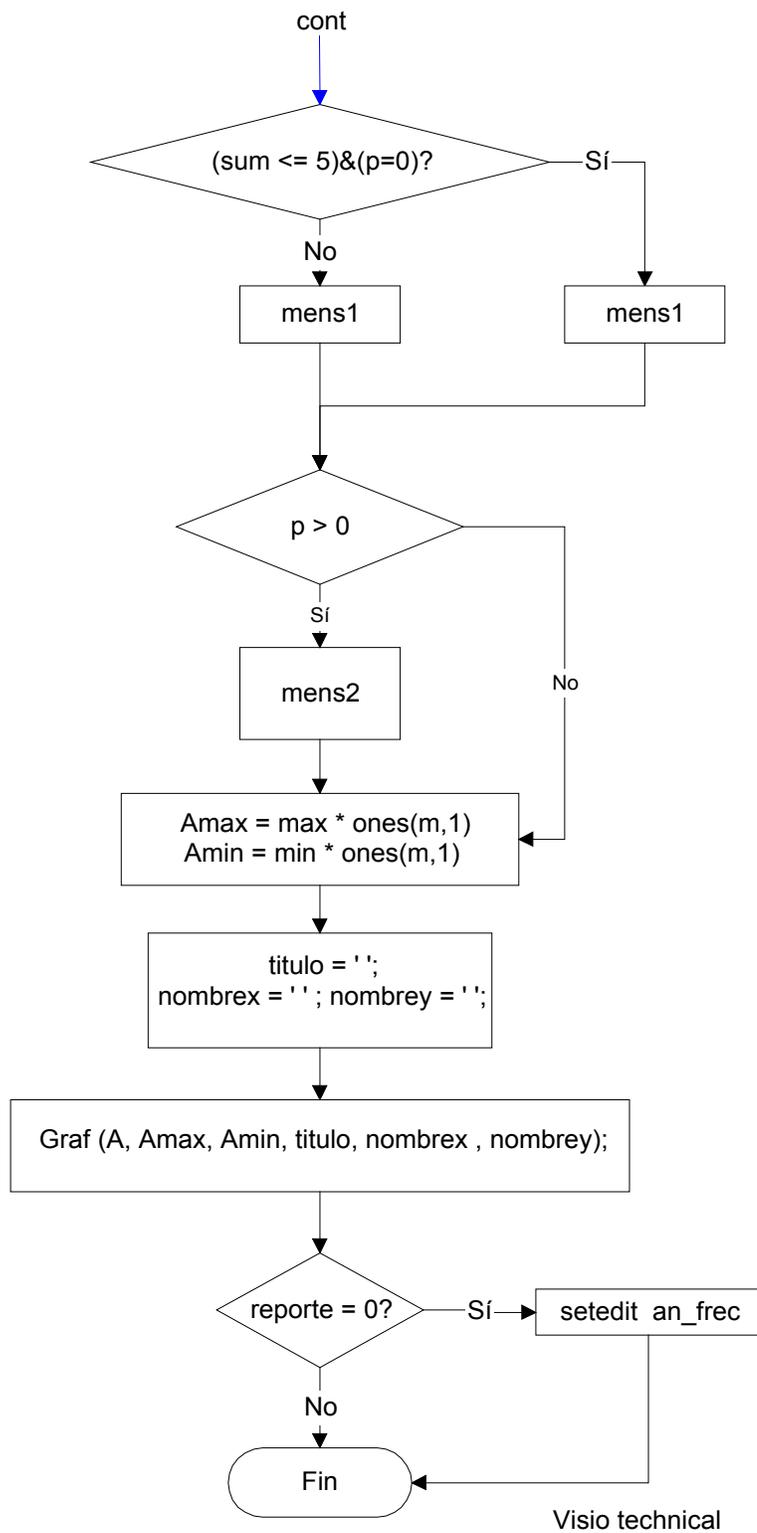


Figura 7.9 Diagrama de flujo de la función frec. Parte 2.

Explicación del diagrama de la función “frec”, figuras 7.8 y 7.9:

Una vez invocada esta función el procedimiento que realiza es el siguiente:

- 1) Evalúa el valor de la variable binaria “selección”, si es cero entonces carga los valores límites para el análisis de una red sincrónica en las variables “max”, “min” y “umb”; de ser uno entonces carga los valores límites para el análisis de una red asincrónica en las mismas variables.
- 2) Extrae el tamaño del vector de datos y si tiene más de una columna entonces desplegará un error.
- 3) Carga en la variable “A” el contenido del vector “datos” e inicializa el valor de la variable “sum” en cero.
- 4) Analiza el vector de datos “A” enviándolo junto con la variable “max” a la función “Busca”, la cual devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones que sobrepasan el límite superior de la norma RG-2441. El valor contenido en la variable “ans” se carga en la variable “sum”.
- 5) Se analiza nuevamente el vector de datos “A”, esta vez enviándolo junto con la variable “min” a la función “Busca”, la cual devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones que se escapan del límite inferior de la norma RG-2441. El valor contenido en la variable “ans” se le suma al guardado en la variable “sum”.
- 6) Llama otra vez a la función “Busca” pero para analizar que ningún valor contenido en el vector “A” sea inferior al especificado por la variable “umb”. Dicha función devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones inferiores al valor umbral de la norma RG-2441. El valor contenido en la variable “ans” se carga en la variable “p”.

- 7) Evalúa si el porcentaje de las mediciones que están por fuera del rango permitido es menor al 5% y si no existieron valores por debajo del umbral. Si es afirmativo, entonces el mensaje que se despliega es de aprobación de la norma, de lo contrario es de reprobación.
- 8) Manda a graficar el vector de datos "A" con la función "Graf".
- 9) Chequea el valor de la variable reporte; si es cero entonces llama a la función an_frec que se encarga de realizar el reporte de calidad de frecuencia de una red de mediana potencia. De lo contrario, finaliza la sesión de análisis de armónicos en frecuencia de una red de mediana potencia.

3. La Función de cálculo “Desbalance”.

Esta función se encarga de realizar el análisis de calidad de los datos obtenidos durante la medición del desbalance de un sistema trifásico de mediana potencia.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

Norma: especifica el tipo de norma, "1" si es RG2441, "0" si es la EN50160.

Datos: Es el nombre de la matriz de datos previamente definida. Esta matriz puede ser de una o tres columnas.

Reporte: parámetro binario que cuando vale "0" significa que desea reporte.

De esta función se obtiene como salida las graficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad RG-2441 o EN 50160. Además, si el usuario así lo seleccionó, la generación de un reporte en formato HTML con la información más relevante.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.10 y 7.11 respectivamente.

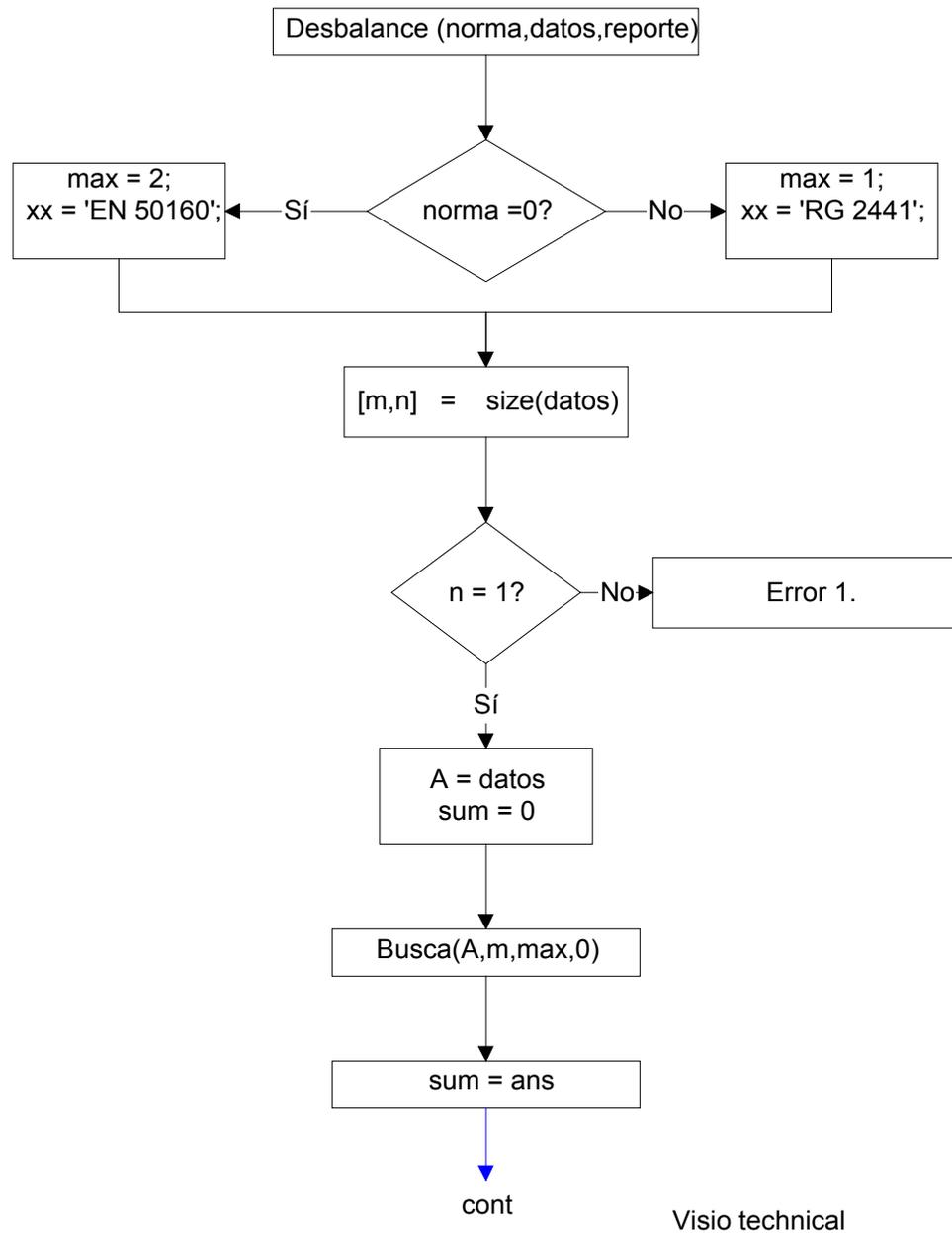


Figura 7.10 Diagrama de flujo de la función Desbalance. Parte 1.

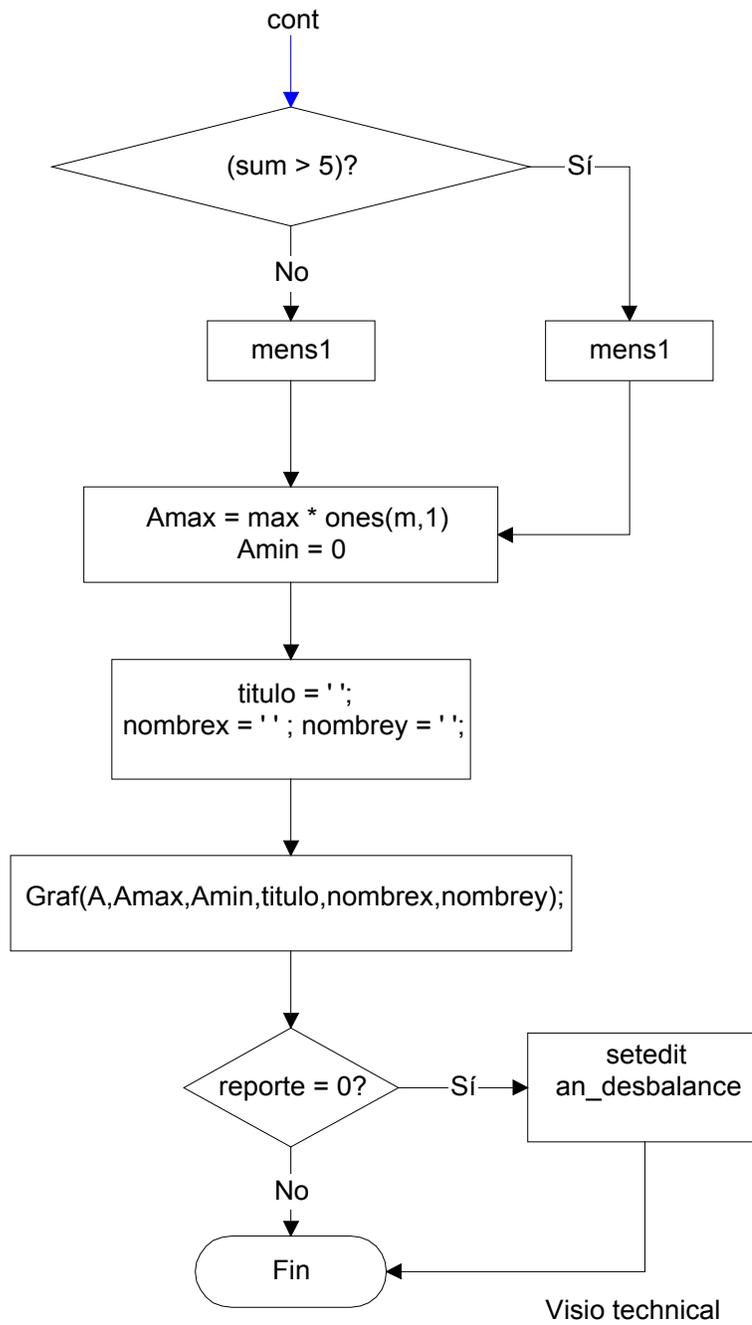


Figura 7.11 Diagrama de flujo de la función Desbalance. Parte 2.

Explicación del diagrama de la función “Desbalance”, figuras 7.10 y 7.11 :

Una vez invocada esta función el procedimiento que realiza es el siguiente:

- 1) Evalúa el valor de la variable binaria “norma”; si es cero entonces carga los valores límites para el análisis de una red bajo la norma EN 50160 en las variables “max”, y el nombre de la norma en la variable “xx”; de ser uno entonces carga los valores límites para el análisis de una red bajo la norma RG 2441 en las mismas variables.
- 2) Extrae el tamaño del vector de datos y si tiene más de una columna entonces desplegará un error.
- 3) Carga en la variable “A” el contenido del vector “datos” e inicializa el valor de la variable “sum” en cero.
- 4) Analiza el vector de datos “A” enviándolo junto con la variable “max” a la función “Busca”, la cual devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones que sobrepasan el límite superior de la respectiva normativa. El valor contenido en la variable “ans” se carga en la variable “sum”.
- 5) Evalúa si el porcentaje de las mediciones que están por fuera del rango permitido es menor al 5%. Si es afirmativo, entonces el mensaje que se despliega es de aprobación de la norma, de lo contrario es de reprobación.
- 6) Manda a graficar el vector de datos “A” con la función “Graf”.
- 7) Chequea el valor de la variable reporte, si es cero entonces llama a la función an_frec que se encarga de realizar el reporte de calidad de frecuencia de una red de mediana potencia. De lo contrario, finaliza la sesión de análisis de desbalance en voltaje de una red de mediana potencia.

4. La Función de cálculo “Armónicos_V”.

La función “Armónicos_V” es una función que permite realizar el análisis de los armónicos en voltaje en una red de mediana potencia.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

- a) Formato: Especifica si la red por analizar es monofásica o trifásica.
- b) VL1, VL2, VL3: Son matrices de datos, donde cada matriz contiene 40 columnas, es decir una por armónica individual y un número indefinido de filas. Las filas representan el valor de la distorsión armónica medida, de manera que si los datos se promedian cada 10 minutos y las mediciones se realizan por un período de una semana, la cantidad de filas deberá de ser de 1008 en total.
- c) THD: Es el vector que especifica el valor de la distorsión armónica total medido para cada fase.
- d) Reporte: Es una variable binaria que especifica si el usuario desea o no reporte.

De esta función se obtiene como salida las gráficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad RG-2441. Además, si el usuario así lo seleccionó, la generación de un reporte en formato HTML con la información más relevante.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.12 y 7.13 respectivamente.

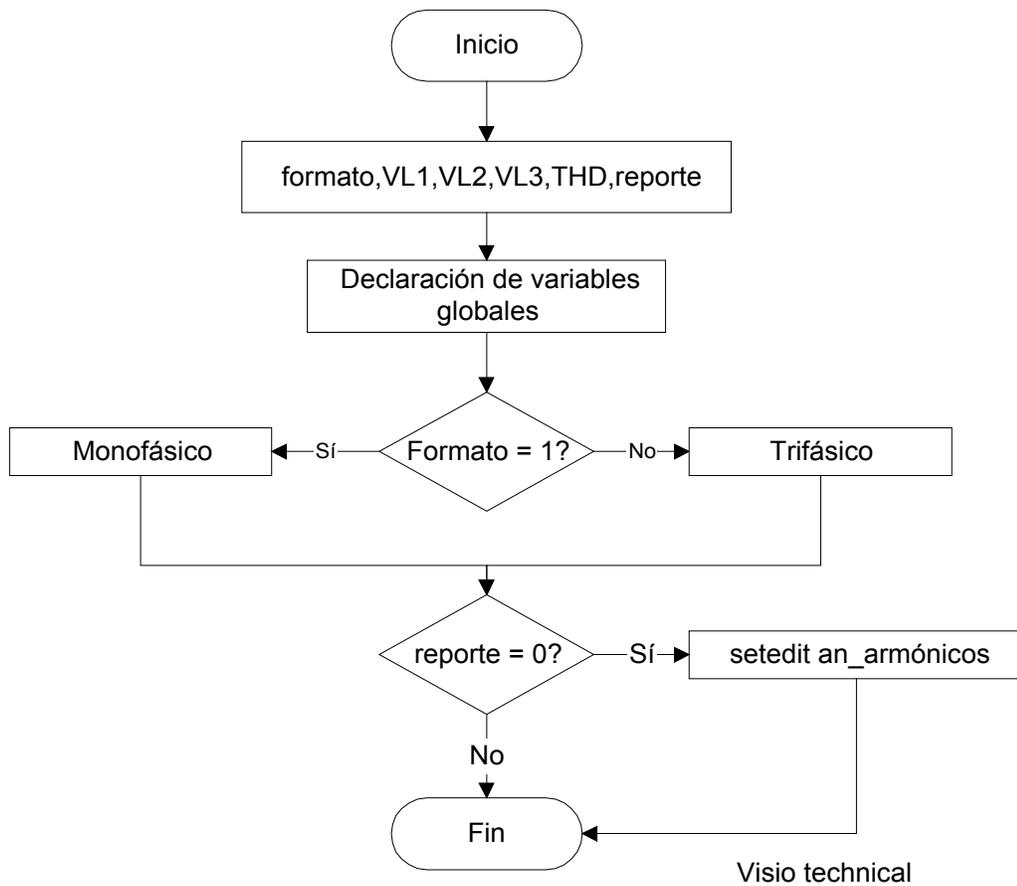


Figura 7.12 Diagrama de flujo de la función Armónicos_V.

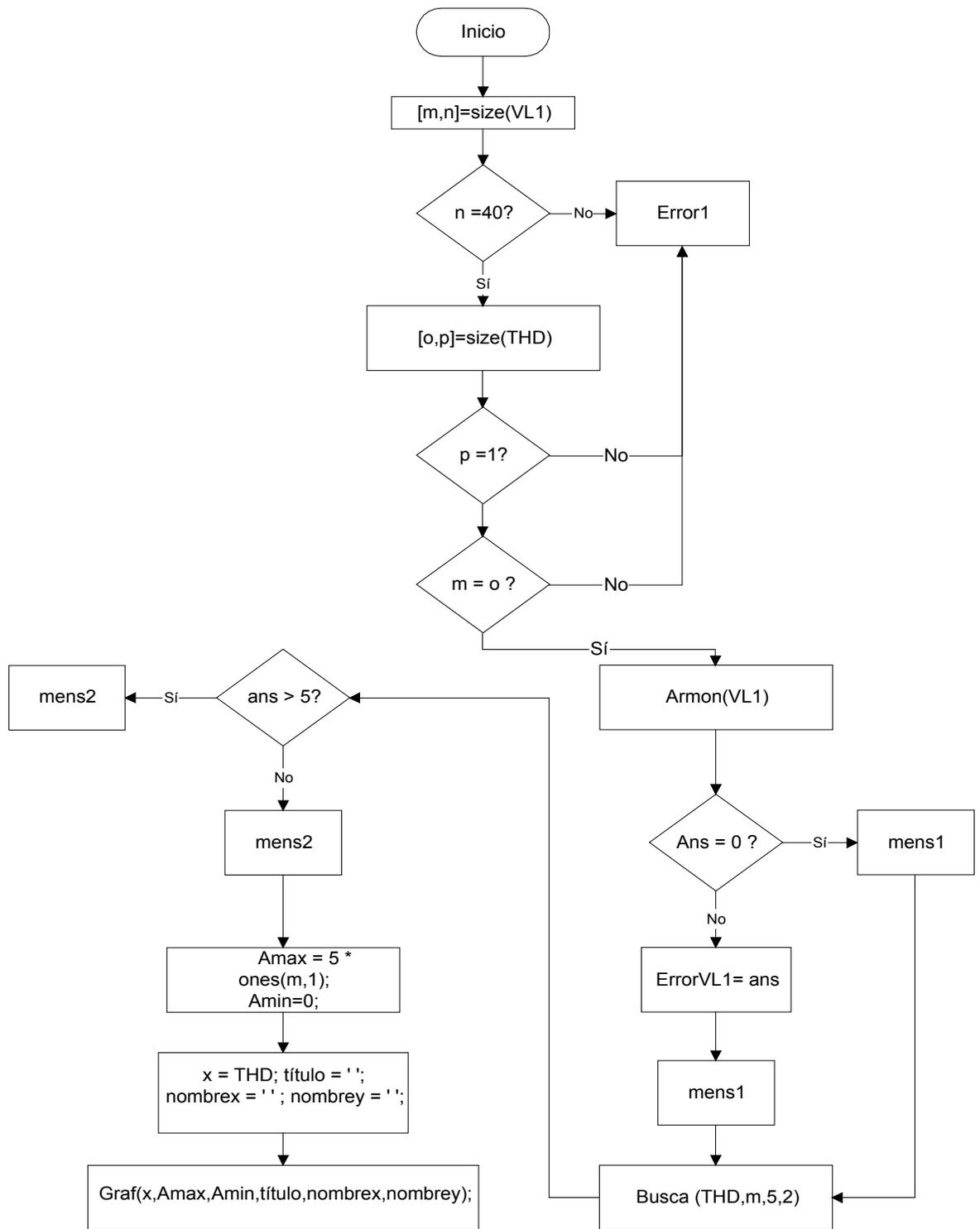
Explicación del diagrama de la función “Armónicos_V”, figura 7.12:

Una vez llamada la función “Armónicos_V ”, esta realiza la siguiente secuencia de pasos:

Declara una serie de variables globales de tipo texto; estas variables contendrán los mensajes referentes al análisis de los datos que se desplegarán en pantalla. El objetivo de declararlas como globales reside en poder extraerlas desde otras funciones.

Chequea el valor de la variable formato. Si formato es “1” la red que se analizará corresponde a una de tipo monofásico; de lo contrario corresponde a una red trifásica (ver explicación de la figura 7.13).

Evalúa el valor de la variable reporte, si es cero entonces llama a la función an_armónicos que se encarga de realizar el reporte de calidad de armónicos en el voltaje de una red de mediana potencia. De lo contrario, finaliza la sesión de análisis de armónicos en voltaje de una red de mediana potencia.



Visio technical

Figura 7.13 Diagrama de flujo de la función Armónicos_V-Caso Monofásico.

Explicación del diagrama de la función “Armónicos_V- Caso Monofásico”, figura 7.13:

Una vez invocada, esta función realiza la siguiente secuencia de pasos:

- Chequeo de la existencia de errores en los vectores de datos ingresados.
- Análisis de la matriz de datos VL1.
- Análisis del vector THD.

Explicación.

Chequea la existencia de errores en los vectores de datos ingresados.

Obtiene el tamaño de la matriz VL1 mediante el comando *size* de MATLAB.

Corroborar que el número de columnas de VL1 sea igual a 40; de lo contrario, desplegará un error explicando que las dimensiones del arreglo no son válidas para el análisis.

Chequea las dimensiones del vector THD. Si tiene más de una columna o si contiene un número de filas diferente al de la matriz VL1 despliega un error.

Análisis de la matriz de datos VL1.

La matriz de datos VL1 se analiza mediante la función llamada Armon. Esta función, no se explicará sino más adelante, basta decir que devuelve una variable con el nombre de Ans, donde:

Si Ans es igual a cero entonces el mensaje contenido en la variable mens1 es de aprobación de la norma de armónicas individuales. De lo contrario, si algunas armónicas individuales reprobaban la norma, entonces Ans devuelve una matriz que contiene dos columnas: la primera especifica la armónica individual que reprobó, mientras que la segunda columna especifica el porcentaje de mediciones que falló la respectiva armónica. De seguido, se despliega el mensaje de reprobación de la norma contenido en la variable mens1 y el valor de la matriz Ans.

Análisis del vector THD.

Se analiza el vector THD, mediante la función llamada Busca (THD,m,5,2).

Donde:

- THD: es el vector por analizar.
- m: es el número de filas del vector THD.
- 5: especifica el valor del límite por evaluar.
- 2: especifica que el valor del límite está contenido dentro del intervalo de aprobación de la norma.

Dicha función devuelve la variable con el nombre Ans, que en este caso es el porcentaje de mediciones que reprobaban la norma. Si Ans es mayor que 5%, entonces el mensaje contenido en la variable mens2 es el de reprobación de la norma. De lo contrario, el mensaje contenido en la variable mens2 es de aprobación de la norma.

Conjuntamente con cada mensaje se despliega el valor porcentual de los datos que no aprobaron la norma.

Se crea el vector Amax y Amin. El vector Amax especifica el límite máximo expresado por la norma RRG-2441, es decir el valor de la distorsión armónica total de tensión no debe sobrepasar el 5%. Amin recibe el valor de cero indicando que su valor no debe ser tomado en cuenta en la graficación.

Se definen las variables que contienen los nombres para el título del gráfico, para el eje de las ordenadas y el de las abscisas. Se llama a la función Graf con estos parámetros para que grafique el valor del vector de datos THD.

La función de Armónicos_V para el caso trifásico sigue el mismo procedimiento, por lo que su explicación resulta redundante.

5. La Función de cálculo “Flicker”.

La función “Flicker” es una función que permite realizar el análisis del parpadeo o *flicker* de larga duración en una red de mediana potencia.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

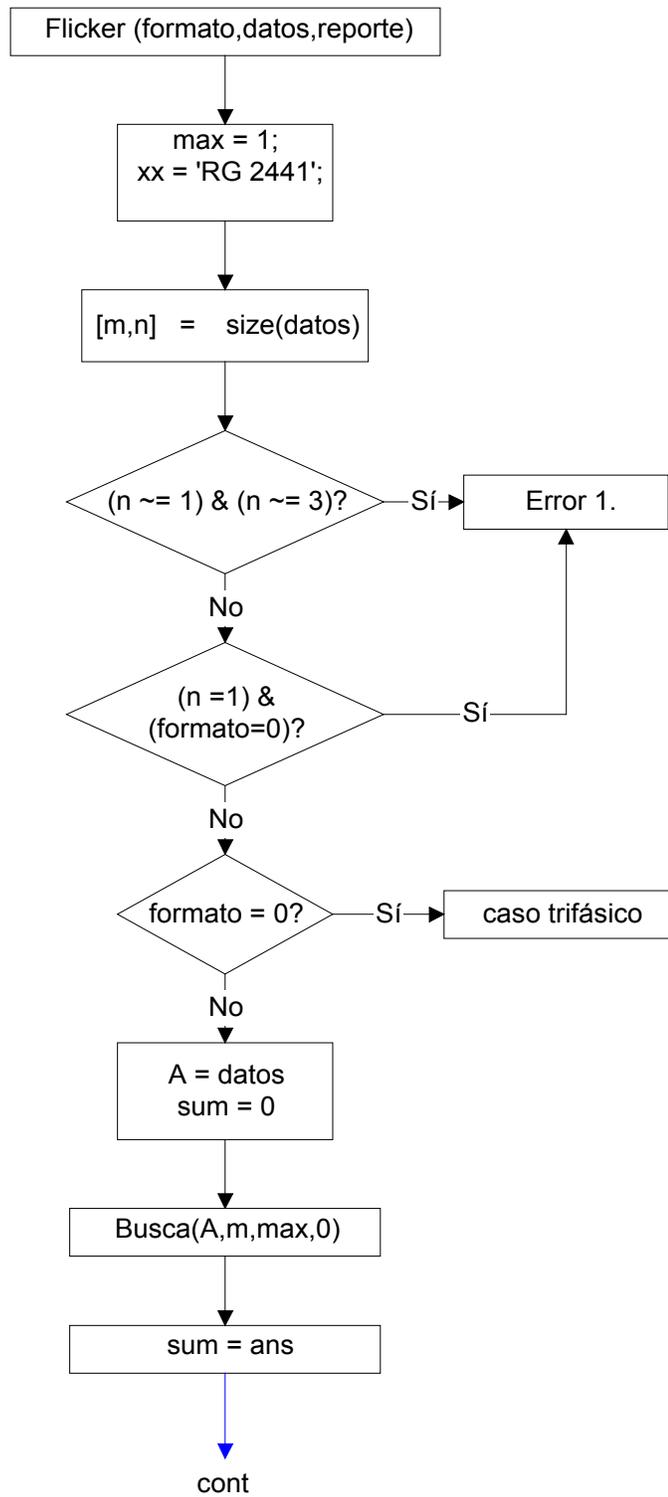
Formato: si el sistema es monofásico(1) o si es trifásico(0).

Datos: Es el nombre de la matriz de datos previamente definida. Esta matriz puede ser de una o tres columnas.

Reporte: parámetro binario que cuando vale "0" significa que desea reporte.

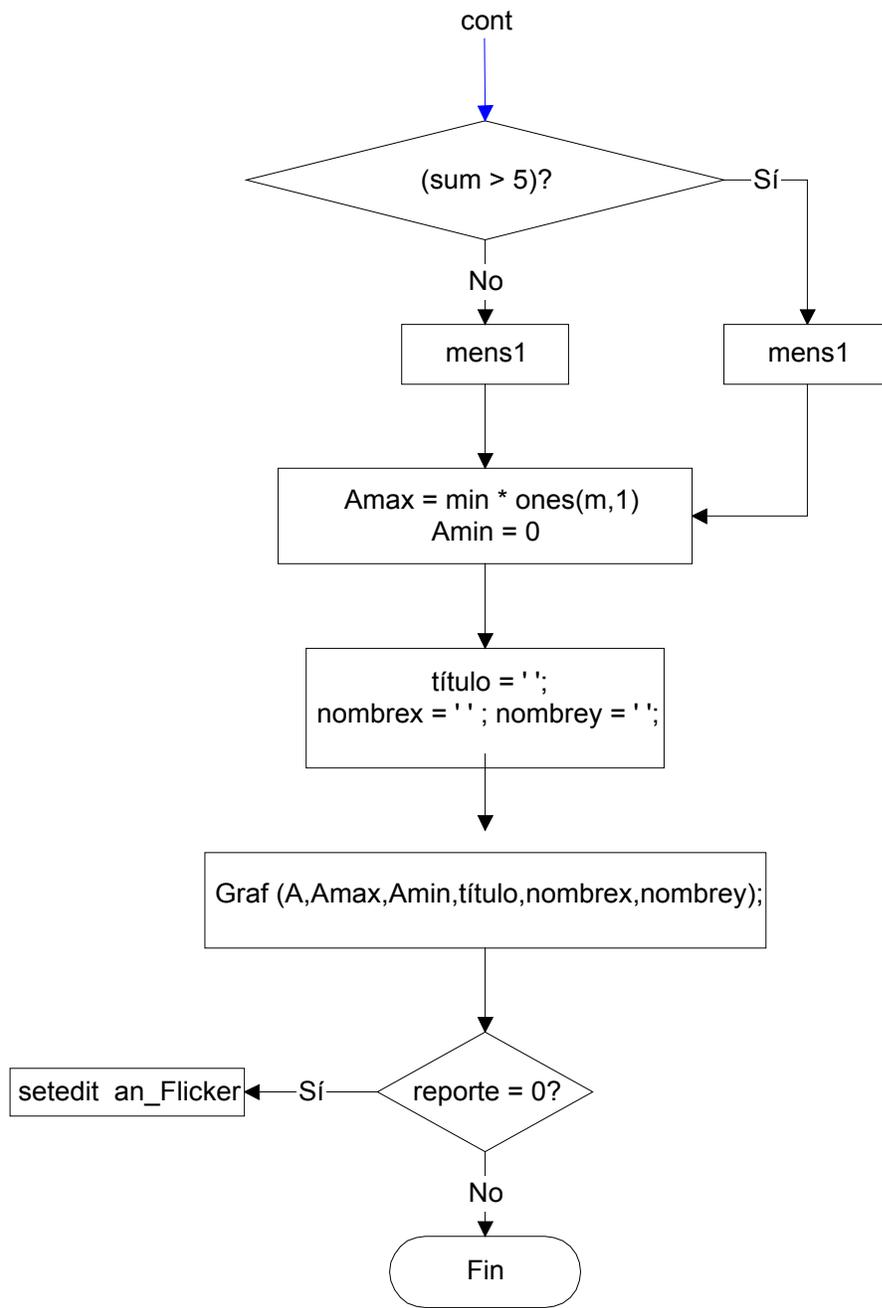
De esta función se obtiene como salida las gráficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad RG-2441. Además, si el usuario así lo seleccionó la generación de un reporte en formato HTML con la información más relevante.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.14 y 7.15, respectivamente.



Visio technical

Figura 7.14 Diagrama de flujo de la función Flicker. Parte 1



Visio technical

Figura 7.15 Diagrama de flujo de la función Flicker. Parte 2

Explicación del diagrama de la función “Flicker”, figuras 7.14 y 7.15 :

Una vez invocada esta función el procedimiento que realiza es el siguiente:

1. Carga el valor límite en la variable “max” para evaluar el parpadeo de larga duración.
2. Extrae el tamaño del vector de datos y si tiene un número de columnas distinto de una o tres entonces desplegará un error.
3. Evalúa si el sistema es trifásico o monofásico. A continuación se explica el procedimiento por seguir cuando la selección del tipo de sistema es monofásico.
4. Carga en la variable “A” el contenido del vector “datos” e inicializa el valor de la variable “sum” en cero.
5. Analiza el vector de datos “A” enviándolo junto con la variable “max” a la función “Busca”, la cual devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones que sobrepasan el límite superior de la respectiva normativa. El valor contenido en la variable “ans” se carga en la variable “sum”.
6. Evalúa si el porcentaje de las mediciones que están por fuera del rango permitido es menor al 5%. Si es afirmativo, entonces el mensaje que se despliega es de aprobación de la norma, de lo contrario es de reprobación.
7. Manda a graficar el vector de datos “A” con la función “Graf”.
8. Chequea el valor de la variable reporte; si es cero entonces llama a la función `an_flicker` que se encarga de realizar el reporte de calidad del parpadeo. De lo contrario, finaliza la sesión de análisis de *flicker* en una red de mediana potencia.

6. La Función de cálculo “FP”.

La función “FP” es una función que permite realizar el análisis del factor de potencia en una red de mediana potencia.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

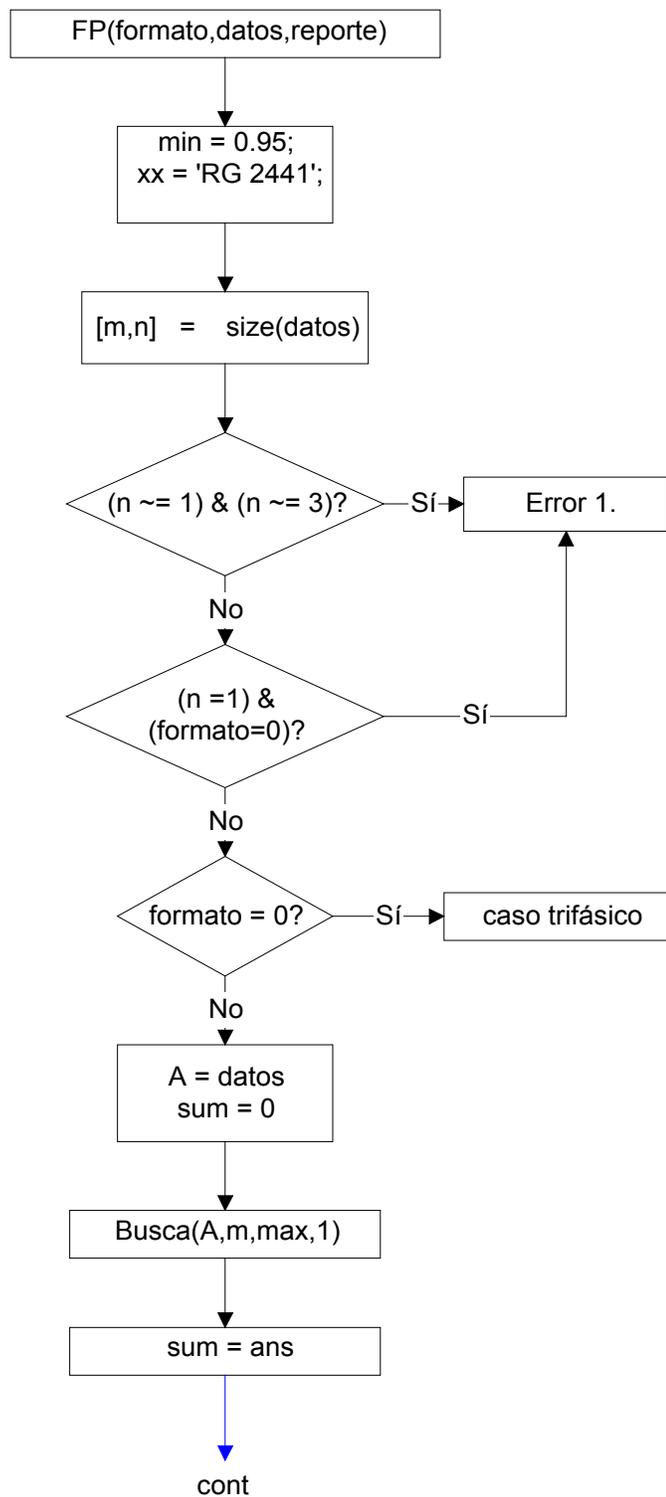
Formato: si el sistema es monofásico (1) o si es trifásico (0).

Datos: Es el nombre de la matriz de datos previamente definida. Esta matriz puede ser de una o tres columnas.

Reporte: parámetro binario que cuando vale "0" significa que desea reporte.

De esta función se obtiene como salida las gráficas de los datos y si estos aprobaron o no la norma de calidad RG-2441. Además, si el usuario así lo seleccionó, la generación de un reporte en formato HTML con la información más relevante.

Los diagramas de flujo que explican en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.16 y 7.17 respectivamente.



Visio technical

Figura 7.16 Diagrama de flujo de la función Factor de potencia. Parte 1

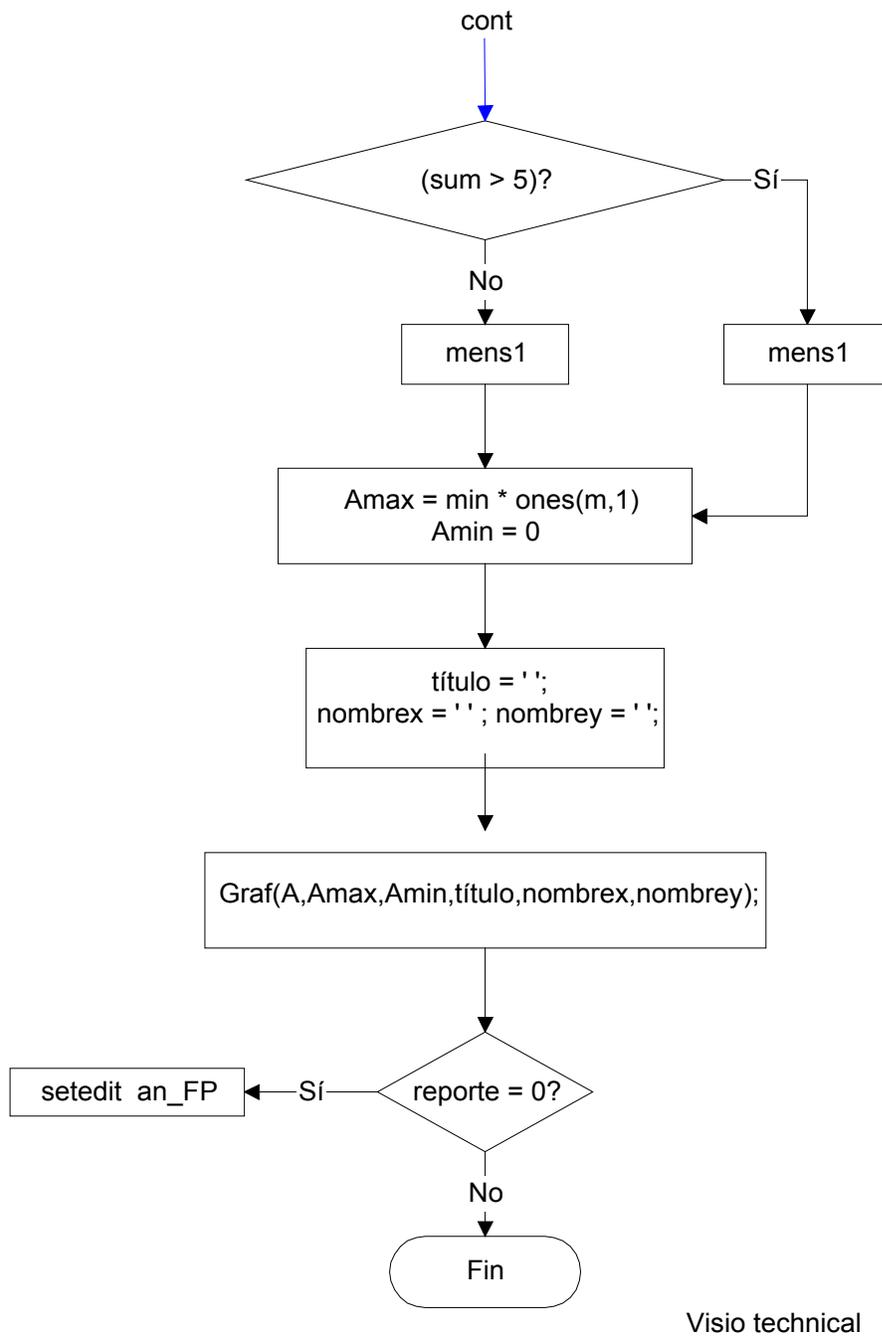


Figura 7.17 Diagrama de flujo de la función Factor de potencia. Parte 2

Explicación del diagrama de la función “FP”, figuras 7.16 y 7.17 :

Una vez invocada esta función el procedimiento que realiza es el siguiente:

- 1) Carga el valor límite para factor de potencia en la variable “min”.
- 2) Extrae el tamaño del vector de datos y si tiene un número de columnas distinto de una o tres entonces desplegará un error.
- 3) Evalúa si el sistema es trifásico. Para la explicación suponer que es monofásico, ya que el trifásico realiza el mismo procedimiento 3 veces.
- 4) Carga en la variable “A” el contenido del vector “datos” e inicializa el valor de la variable “sum” en cero.
- 5) Analiza el vector de datos “A” enviándolo junto con la variable “max” a la función “Busca”, la cuál devuelve como respuesta el valor de “ans” que contiene el porcentaje de las mediciones que sobrepasan el límite superior de la respectiva normativa. El valor contenido en la variable “ans” se carga en la variable “sum”.
- 6) Evalúa si el porcentaje de las mediciones que están por fuera del rango permitido es menor al 5%. Si es afirmativo, entonces el mensaje que se despliega es de aprobación de la norma, de lo contrario es de reprobación.
- 7) Manda a graficar el vector de datos “A” con la función “Graf”.
- 8) Chequea el valor de la variable reporte, si es cero entonces llama a la función an_fP que se encarga de realizar el reporte de calidad de factor de potencia. De lo contrario, finaliza la sesión de análisis del factor de potencia en una red de mediana potencia.

Explicación de las funciones secundarias.

Las funciones secundarias son las que sirven de apoyo a las funciones principales.

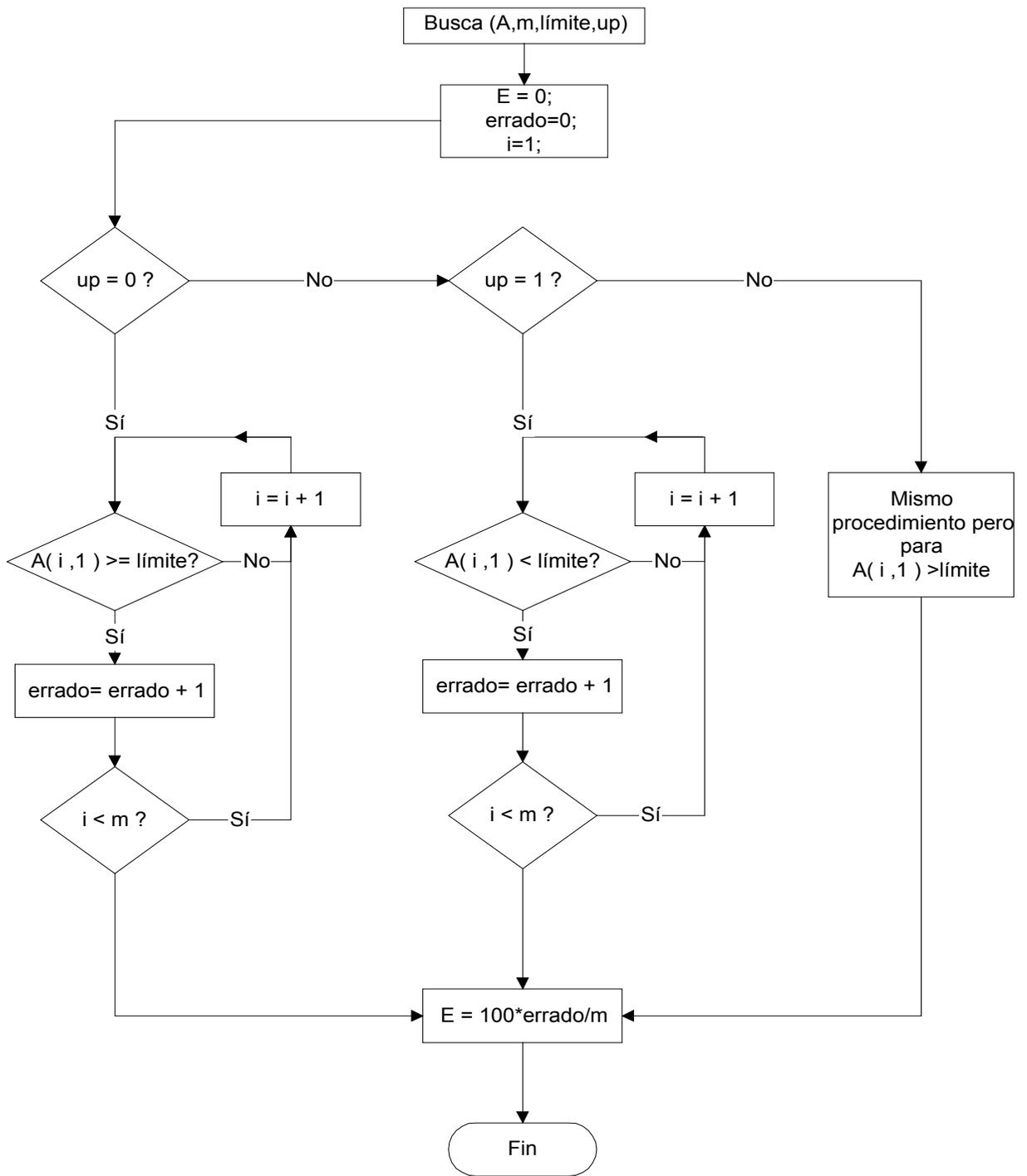
1. La función de cálculo “Busca”.

La función “Busca” es una función que permite calcular el porcentaje de los datos en un vector que está por debajo o por encima de un valor límite.

Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

- a) A : Especifica el nombre del vector de datos que se desea analizar.
- b) m : Especifica el número de filas que contiene el vector de datos “A”.
- c) límite: Especifica un valor límite superior o inferior de una norma que se desea utilizar para analizar los datos del vector “A”.
- d) up: Indica si el valor especificado en “límite” se incluye o excluye del intervalo de aceptación de una norma.

El diagrama de flujo que explica en detalle el procedimiento de cada una de estas partes se muestra en la figura 7.18.



Visio technical

Figura 7.18 Diagrama de flujo de la función Busca.

Explicación del diagrama de la función “Busca”, figura 7.18 :

Una vez invocada esta función el procedimiento que realiza es el siguiente:

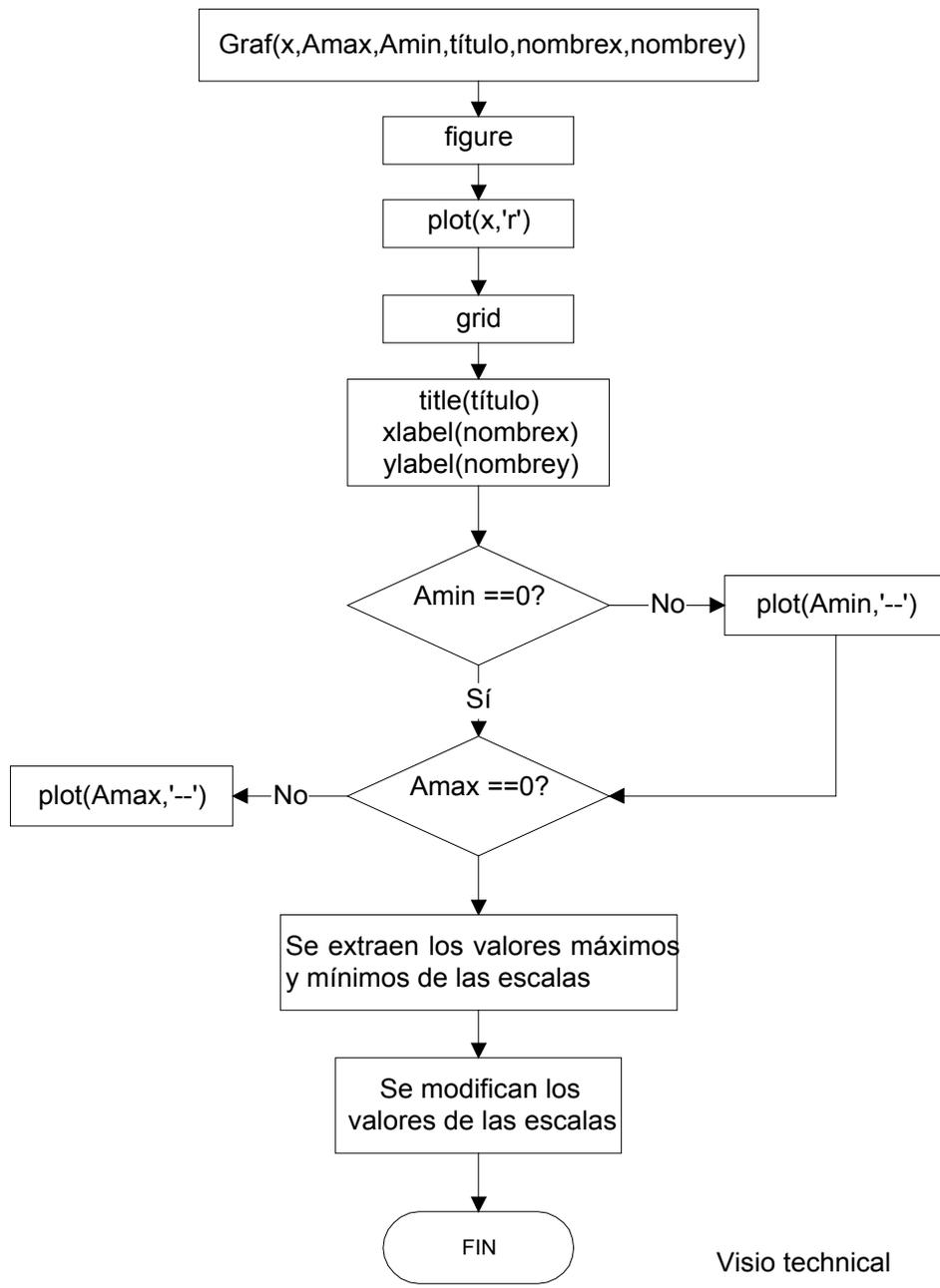
1. Inicializa el valor de las variables “E” y “errado” en cero. “E” será la variable que almacene el porcentaje de los datos dentro del vector “A” que están fuera de los límites establecidos por el parámetro de entrada “límite”; mientras que la variable “errado” es la que lleva la cuenta de la cantidad de datos que están fuera de la norma. La variable “i” es un contador que se encarga de llevar la cuenta del número de veces que se ejecuta el procedimiento.
2. Se chequea el valor de la variable up. Si “up” es cero, entonces el valor de la variable “límite” especifica un valor máximo excluyente de una determinada norma, es decir esta se infringe si se alcanza el valor especificado por “límite”. Si “up” es uno entonces el valor de la variable “límite” especifica un valor mínimo incluyente de una determinada norma, es decir esta no se infringe si se alcanza el valor especificado por “límite”. De lo contrario “up” indica que el valor de la variable “límite” especifica un valor máximo incluyente de una determinada norma, es decir esta no se infringe si se alcanza el valor especificado por “límite”.
3. Se recorre todo el vector “A” en busca de los valores que están por fuera del especificado por “límite”. Cada vez que encuentra un valor que esté fuera del límite el valor del contador “errado” se aumenta en uno.
4. Después de recorrer todo el vector “A”, se tiene contabilizada la cantidad de datos fuera del límite, entonces se calcula el porcentaje que representan estos datos de la cantidad total “m”. Este valor se almacena en la variable “E” y es el que devuelve la función “Busca”.

2. La Función de cálculo “Graf”.

La función “Graf” es una función que permite graficar vectores en una ventana nueva. Esta función recibe como parámetros de entrada los siguientes:

- a) x: Especifica el nombre del vector de datos que se desea graficar.
- b) Amax, Amin: Son vectores que contienen los datos límites de una norma que se desean graficar.
- c) título: Es la variable de caracteres que especifica el título del gráfico.
- d) nombrex: Es una variable de caracteres que especifica el nombre del eje de las abscisas.
- e) nombrey: Es una variable de caracteres que especifica el nombre del eje de las ordenadas.

El diagrama de flujo que explica en detalle el procedimiento de esta función se muestra en la figura 7.19.



Visio technical

Figura 7.19 Diagrama de flujo de la función Graf.

Explicación del diagrama de la función “Graf”, figura 7.19.

Una vez llamada la función “ Graf ”, esta realiza la siguiente secuencia de pasos:

1. Crea una ventana del tipo figura donde se pueda graficar cualquier tipo de función y esto se hace a través del comando “figure”de MATLAB.
2. Realiza el gráfico del vector llamado “x” mediante el comando de MATLAB plot(x, 'r').
3. Añade una cuadrícula a la gráfica realizada mediante el comando “grid”de MATLAB.
4. Añade el título del gráfico mediante el comando “title(título)” de MATLAB y los nombres de los ejes de coordenadas mediante los comandos “xlabel()” y “ylabel()”.
5. Si el valor del vector Amax o Amin son diferentes de cero entonces se graficarán; esto porque existen normas que especifican solo el valor máximo o el valor mínimo y estos son siempre diferentes de cero.
6. Se extraen los valores mínimos y máximos de las escalas de los ejes. En MATLAB esto se realiza con una función llamada “axis”.
7. Se modifican los valores mínimos y máximos del eje de coordenadas “y”, esto con el fin de obtener una mejor presentación de la gráfica. En este momento la tarea de graficar fue concluida.

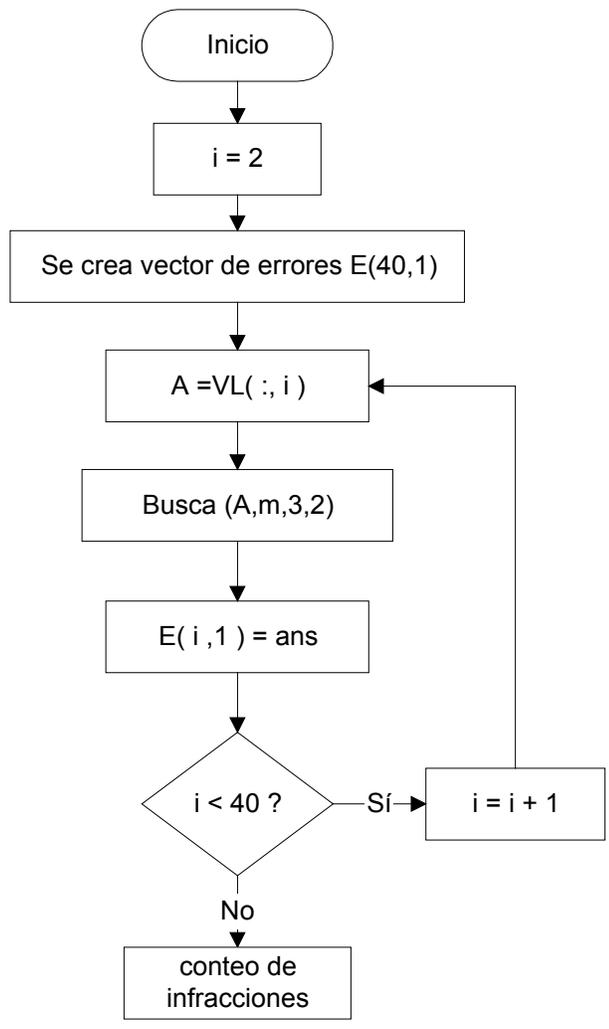
3. La Función de cálculo “Armon”.

Dicha función recibe como entrada una matriz de datos de cuarenta columnas. Es decir, recibe el vector VL1, VL2 o VL3 de la función “Armónicos_V”. Cada columna contiene los datos de la medición de la distorsión armónica individual del voltaje para las frecuencias que van desde la fundamental hasta la armónica número cuarenta. Como resultado, esta función devuelve cero si ninguna de las armónicas individuales sobrepasa los límites establecidos por la norma RG-2441. De lo contrario, devuelve como resultado una matriz que contiene dos columnas: la primera especifica la armónica individual que reprobó, mientras que la segunda columna especifica el porcentaje de mediciones que falló la respectiva armónica. El número de filas de dicha matriz será relativa a la cantidad de armónicos individuales que sobrepasen los límites especificados por la norma.

Para una explicación más sencilla, la función Armon está dividida en tres partes, las cuales son:

- Cálculo de los errores porcentuales para las cuarenta armónicas.
- Conteo de las armónicas cuyos errores porcentuales son mayores a los permitidos por la norma.
- Presentación de dichas armónicas en una matriz de nombre “D”.

Los diagramas de flujo que explican cada una de estas partes se muestran en las figuras 7.20, 7.21 y 7.22.



Visio technical

Figura 7.20 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 1.

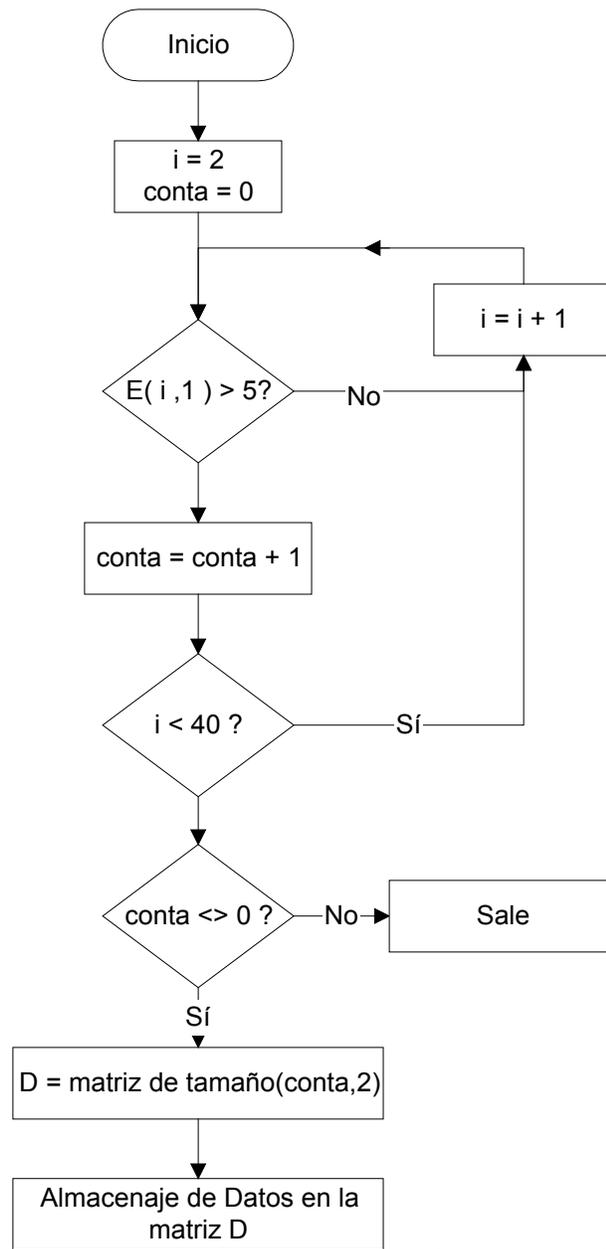
Explicación del diagrama de la función “Armon - Parte 1”, figura 7.20.

El diagrama de flujo de la Figura 7.20 muestra un ciclo que se repite 39 veces, este es controlado por el contador “i”. El cual se inicializa primeramente en dos. Cada vez que se ejecuta el ciclo se extrae el valor de la columna direccionada por el contador “i” de la matriz VL.

Cada columna que se extrae del vector VL se analiza mediante la función Busca, dicha función regresa el porcentaje de las mediciones que sobrepasan los límites establecidos por la norma en una variable llamada ans.

Cada valor que regresa la función Busca es almacenado en la fila direccionada por el contador “i” de la matriz de errores (que tiene como dimensiones cuarenta filas por una columna).

Después de recorrido el ciclo las 39 veces, se tiene la matriz de errores con el porcentaje de mediciones fuera del límite permitido para cada armónica individual y se continúa con el procedimiento descrito en el diagrama de la Figura 7.21.



Visio technical

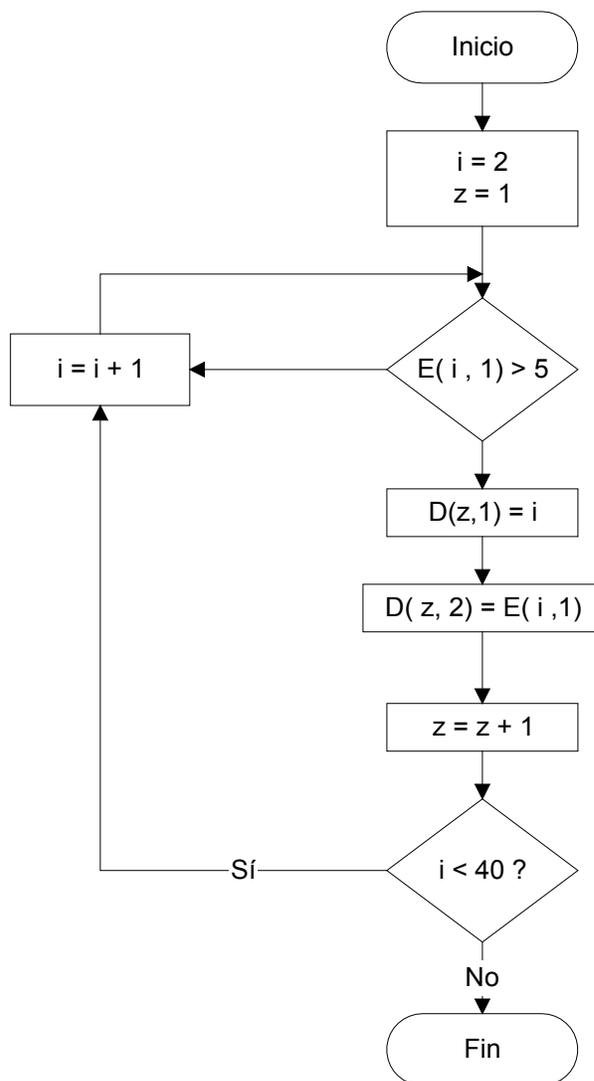
Figura 7.21 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 2.

Explicación del diagrama de la función “Armon - Parte 2”, figura 7.21.

Con el fin de establecer el tamaño de la matriz que se debe crear para reportar las armónicas individuales cuyo porcentaje de mediciones sobrepasan los límites establecidos por la norma, se debe recorrer la matriz de errores desde la fila dos y hasta la cuarenta evaluando si el porcentaje de error es mayor que 5%. Si la respuesta es afirmativa, entonces se contabiliza dicho armónico en la variable llamada “conta”.

Al final del recorrido por la matriz de errores, si “conta” es cero es porque no existió ninguna infracción de las armónicas individuales y entonces sale. De lo contrario, se crea una matriz de nombre “D”, cuyas dimensiones serán del valor de la variable “conta”, que especificará el número de filas por dos columnas. La primera columna se utilizará para especificar la armónica individual que reprobó, mientras que la segunda se utilizará para almacenar el valor del porcentaje de mediciones que falló la respectiva armónica.

Para almacenar en los campos de la matriz “D” los valores de las armónicas y sus respectivos porcentajes de mediciones que no aprobaron la norma, se continúa en el diagrama de la figura 7.22.



Visio technical

Figura 7.22 Diagrama de flujo de la función Armon. Parte 3.

Explicación del diagrama de la función “Armon - Parte 3”, figura 7.22.

Con el objetivo de llenar la matriz D con los números de las armónicas cuyos porcentajes de error sobrepasan los límites establecidos por la normativa RG-2441 se procede de la siguiente manera:

Se inicializa los contadores “i” y “z” en dos y en uno respectivamente. El ciclo mostrado en la figura 7.22 se ejecuta 39 veces. Este ciclo es controlado por el contador “i”.

Cada vez que se ejecuta el ciclo se evalúa el valor contenido en la dirección “i” de la matriz de errores. Si el porcentaje de error es mayor que 5%, entonces: se carga en la matriz D el número de la armónica y su respectivo porcentaje de error.

Al finalizar el recorrido por la matriz de errores se debió llenar por completo la matriz “D”. Esta matriz contiene únicamente la información de interés, es decir aquellos armónicos individuales cuyo porcentaje de distorsión armónica fue superior al 3 % en más de un 5% de las mediciones del período por evaluar.

7.4 Alcances y limitaciones

La investigación sobre las normativas de calidad energética se limitó exclusivamente a sistemas de media potencia.

El programa diseñado permite el análisis de parámetros eléctricos únicamente para redes de media potencia.

El programa diseñado permite el análisis de parámetros eléctricos solamente para las configuraciones con registro de datos en tiempo continuo, no para el caso de registro de datos a causa de fallas.

El programa diseñado no acepta el análisis de transitorios en voltaje como fenómenos de huecos de tensión, impulsos y picos de tensión.

Durante la ejecución del proyecto fue una limitante el hecho de compartir la computadora y los equipos de medición.

Otra limitante fue la de carecer de una herramienta de investigación como la Internet en el lugar de trabajo.

Capítulo 8: Conclusiones

La normativa RRG-2441 en el apartado 3.1 establece los intervalos de variación de la frecuencia para redes con enlaces sincrónicos y no sincrónicos. Pero no establece qué porcentaje de tiempo de una semana o de un año se debe mantener la frecuencia nominal dentro de los límites declarados por la norma.

Para las tensiones de servicio, la normativa RRG-2441 determina en el apartado 3.3 que el rango de variación de estas puede oscilar entre $\pm 5.5\%$ aproximadamente, la cual es más estricta que la norma EN 50160 que especifica un rango de variación de $\pm 10\%$ en el apartado 3.3.

La normativa RRG-2439 en el apartado 5.2.3 establece el máximo valor porcentual que puede alcanzar la componente de secuencia negativa del voltaje, pero no determina los parámetros de tiempo para la realización de mediciones. Esta normativa establece como límite máximo un 1%, mientras que la normativa EN 50160 permite hasta un 2%, y, en algunos casos, hasta un 3%.

La normativa RRG 2441 determina en el apartado 3.6 que la máxima distorsión armónica total no debe sobrepasar un 5%, mientras que la normativa EN 50160 permite hasta un 8%. La base de tiempo especificada para la medición y la evaluación son la misma y ambas normas calculan la máxima distorsión armónica total referida hasta la armónica cuarenta.

El apartado 3.7 de la normativa RRG-2441 especifica los límites de distorsión armónica de corriente y estos se basan en la normativa internacional IEEE 519 en el apartado 10.4.

La normativa RRG-2441 especifica en el apartado 3.8 el nivel de severidad de parpadeo o *Flicker* permitido; este se basa en lo que especifica la norma EN 50160 en la sección 3.4.2.

Durante la ejecución de este proyecto, se pudo comprobar que el trabajo realizado por la ARESEP en cuanto al tema de calidad en energía es bueno.

Se configuró exitosamente el sistema de monitoreo.

El programa quedó internamente documentado y se realizó de forma modular, de manera que se puede ejecutar cualquier modificación.

De todo el trabajo se dejó documentación y manuales, garantizando a la empresa la transferencia de tecnología.

Capítulo 9: Recomendaciones

Se recomienda utilizar la información recopilada en este proyecto sobre las normas de calidad de energía para completar la normativa interna del ICE.

Se sugiere utilizar una computadora dedicada al sistema de monitoreo y que esta no posea otras tarjetas de comunicación.

Antes de realizar mediciones de calidad en armónicos de voltaje se recomienda calibrar el dispositivo SIMEAS Q, para garantizar mediciones correctas, ya que durante las pruebas realizadas en el laboratorio el porcentaje de desviación fue muy alto.

Cualquier modificación que se necesite realizar al programa se recomienda que se haga salvando el programa con otro nombre.

Bibliografía.

1. G. Enríquez Harper. El ABC de la calidad de la energía eléctrica, Editorial Limusa, México. 2002.
2. Hayt, W. Análisis de Circuitos en Ingeniería. 3 era ed. México: McGraw–Hill / Interamericana, 1993.
3. Norma EN 50160 Voltaje characteristics of electricity supplied by public distribution systems.CENELEC. 2000.
4. Norma IEEE 519; Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE.
5. Norma RRG-2441-2001. Calidad de Voltaje de Suministro. ARESEP. 2001.
6. Norma RRG-2442-2001. Calidad de la Continuidad de Suministro Eléctrico. ARESEP. 2001.
7. Norma RRG-2439-2001. Calidad en el Servicio de Generación y Transmisión. ARESEP. 2001.
8. SIMEAS Q Network Quality Recorder. Application Description. 27/01/99. E50417-H1076-C111-A2.
9. SIMEAS Software SICARO Q Manager V2 Application Description. Release: 12/22/00. E50417-H1076-C111-A2.

10. SIMATIC NET - CP 5613-14 Installation Instructions.

11. SIMATIC NET - Industrial Communication with PG PC Manual.

Glosario.

Abonado: Persona física o jurídica que ha suscrito uno o más contratos para el aprovechamiento de la energía eléctrica.

Búnker: Es un combustible pesado, subproducto de la refinación del petróleo, que tiene como característica una mayor viscosidad que el diesel o la gasolina.

Corriente: Es el paso de electricidad a través de un cuerpo, en virtud de un flujo de electrones cargados negativamente que circula por el mismo. Usualmente se expresa y mide en amperios.

Corriente de cortocircuito: Es el valor de corriente que se presenta en una instalación o sistema eléctrico cuando se presenta una falla denominada cortocircuito.

Factor de carga: Definido como la proporción entre la energía consumida y la capacidad de la planta generadora.

Factor de potencia: Es la relación que existe entre la potencia real y la aparente, cuando la forma de la onda de voltaje es sinusoidal.

Frecuencia de la tensión: Tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión, medida durante un intervalo de tiempo dado.

Generador: Empresa generadora de energía eléctrica.

Media tensión: Tensión utilizada para el suministro eléctrico, cuyo valor eficaz está comprendido entre 1 kilovoltio y 34.5 kilovoltios.

Potencia activa: Es la potencia efectiva, medida en Watts, en un circuito de corriente alterna. Su valor es el del producto del voltaje por la componente de la intensidad de la corriente en fase con el mismo.

Potencia aparente: Expresión empleada con frecuencia para expresar el número de Voltioamperios (producto de unos por otros), en un circuito de corriente alterna.

Potencia reactiva: Es el Voltioamperaje reactivo, es decir, el producto de la tensión aplicada a un circuito por la componente reactiva de la intensidad de corriente.

Profibus DP: Basado en el estándar europeo EN 50170 es un protocolo diseñado para establecer una comunicación entre un sistema de control automático y dispositivos de entrada y salida de datos.

Punto de conexión: Es el lugar topológico donde se enlaza la red propia de una "Empresa Distribuidora", "Generador" o "Gran Consumidor" con el sistema de transporte de la empresa "Transportista".

Red: Denominación que se da a un grupo de elementos eléctricos conectados entre sí.

Sistema de Monitoreo Siemens : Sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí, un medidor de calidad de energía SIMEAS Q ,una PC, y una tarjeta de comunicaciones CP 5613.

Sistema Nacional Interconectado :es el sistema de potencia compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas de generación, la red de transporte, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios.

Tensión nominal de un sistema trifásico: Es la tensión entre fases de designación del sistema a la que están referidas ciertas características de operación del mismo.

Transductor: Dispositivo para convertir el error del elemento controlado de un servomecanismo en una señal eléctrica que puede ser empleado para la corrección del error.

Valor eficaz: Raíz cuadrada del valor medio de los cuadrados de los valores instantáneos de voltaje o corriente alcanzados durante un ciclo completo.

Voltaje: Es el valor de la fuerza electromotriz o diferencia de potencia expresada en voltios. Se le llama también tensión.

Lista de abreviaturas.

A:	Amperios.
CENCE:	Centro Nacional de Control de Energía.
HTML:	Hypertext Markup Language.
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad.
IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IEC:	Comité Eléctrico Internacional.
KV:	Kilo Voltios.
MVA:	Mega Voltioamperios.
MVAR:	Mega Voltioamperios reactivos.
MW:	Mega watts.
PC:	Computadora Personal.
PCI:	Interfase de Computadora Personal.
Rms:	Raíz media cuadrática.
RPM:	Revoluciones por minuto.
S.M.S:	Sistema de Monitoreo Siemens.
S.N.I.:	Sistema Nacional Interconectado.
THD:	Distorsión Armónica Total.
UEN:	Unidades Estratégicas de Negocios.
V:	Voltios.
VA:	Voltioamperios.
VAR:	Voltioamperios Reactivos.
W :	Watts.

Apéndices y anexos.

Apéndice A.1: Experimento de medición de parámetros con el transductor SIMEAS T.

Objetivo del proyecto por realizar:

Realizar la programación de los parámetros del transductor y la conexión del SIMEAS T con una fuente trifásica para familiarizarse con dicha tecnología.

Dicho objetivo corresponde al #3

Actividad:

Estudiar el manual del SIMEAS T para determinar la forma de conexión adecuada y su programación de parámetros de acuerdo con las características de la red y realizar mediciones a nivel de laboratorio.

Equipo.

- Osciloscopio Fluke 97
- Amperímetro de gancho Fluke 80i-110s.
- Fuente trifásica de carga variable.
- Un transductor SIMEAS T.
- Cable con adaptador 7KG6051-8BA para conexión entre PC y SIMEAS T.
- Una estación de trabajo portátil.

Tareas previas.

- Realizar un procedimiento de configuración para el SIMEAS T.
- Leer el manual del osciloscopio Fluke 97.
- Aprender a utilizar la fuente trifásica de carga variable del laboratorio.
- Diseñar un circuito de medición.

Procedimiento:

Configuración del SIMEAS T.

1. Instale el programa SIMEAS PAR en la PC.
2. Conecte el puerto serie de la PC al SIMEAS T mediante el adaptador 7KG6051-8BA.
3. Conecte el SIMEAS T a la fuente de alimentación.
4. Realice la configuración según las siguientes indicaciones:
 - a) Ingrese al programa SIMEAS PAR en la PC.
 - b) En el menu Archivo seleccione Nuevo y escoja la opción V24.
 - c) En Equipo seleccione parametrizar. Se le abrirá una ventana igual a la de la figura A.1.1.

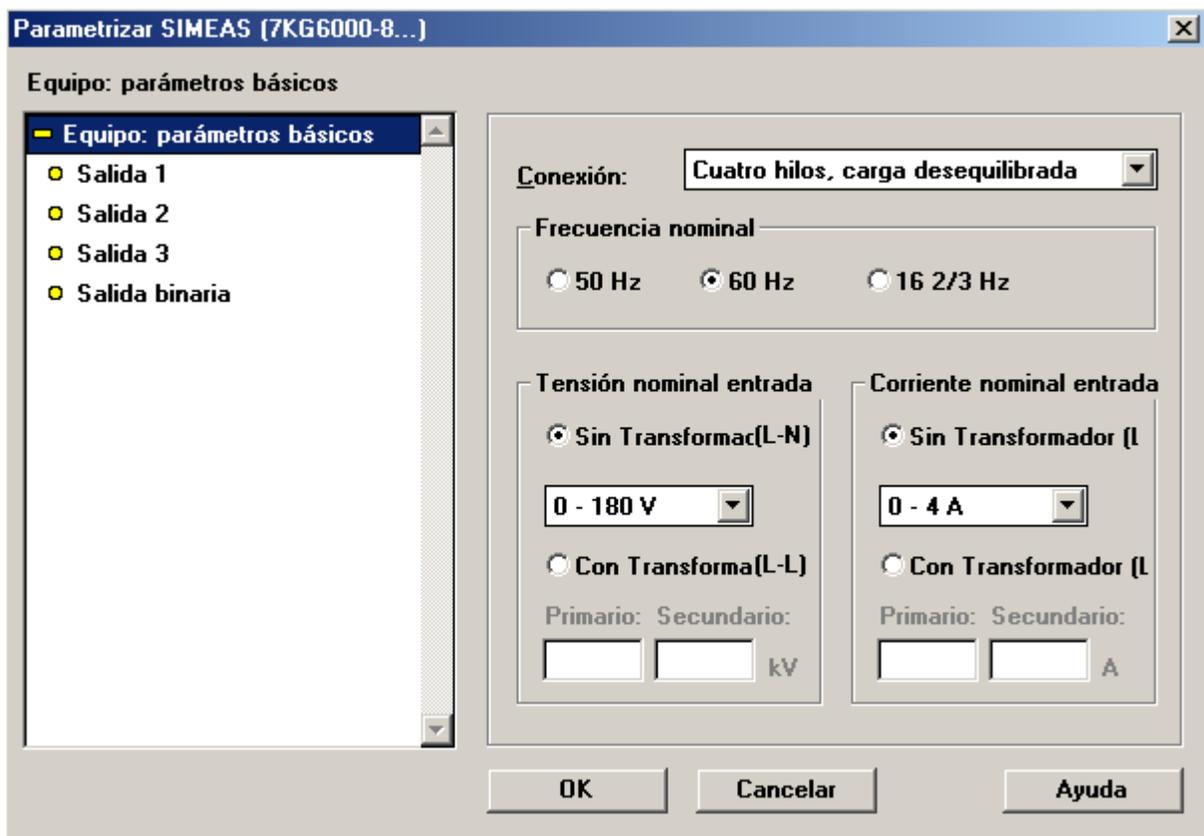
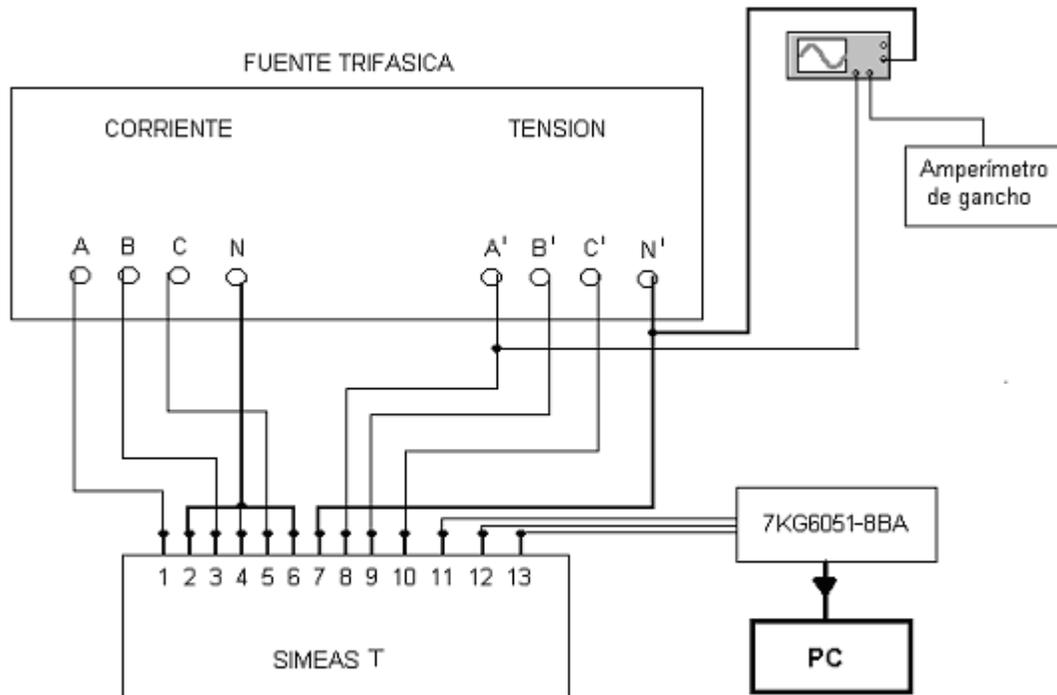


Figura A.1.1 Ventana de parametrización del SIMEAS T.

- d) Dado que el sistema que se utilizará es trifásico de cuatro líneas y de carga desbalanceada, seleccione la opción de cuatro líneas, carga desequilibrada.
 - e) Realice la configuración para medir una tensión de línea máxima de 180V y una corriente de línea máxima de 4 A.
 - f) Salve la sesión y en el menú File escoja transmitir para descargar la nueva configuración al SIMEAS T.
- 5) Arme el circuito de medición mostrado en la figura A.1.2.



Paint

Figura A.1.2. Circuito de medición.

En la figura A.1.2, el amperímetro de gancho se utilizará para realizar la medición de las corrientes de fase, su lectura se puede hacer directamente desde el osciloscopio Fluke 97. Consulte su manual.

6. Con base en las siguientes tablas, llene los datos que se le piden.

Tabla A.1.1 Tensión de línea V_{L1} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor V_{L1} propuesto (V)	Osciloscopio (V)	Simeas (V)	Error(%)
1	15,0000	15,3500	15,3000	0,3257
2	30,0000	30,0300	30,3000	0,8991
3	45,0000	45,2000	45,6000	0,8850
4	60,0000	60,2000	60,3000	0,1661
5	75,0000	75,9000	76,3000	0,5270
6	90,0000	89,8000	90,3000	0,5568
7	105,0000	105,3000	105,7000	0,3799

Tabla A.1.2 Tensión de línea V_{L2} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor V_{L2} propuesto (V)	Osciloscopio (V)	Simeas (V)	Error(%)
1	15,0000	16,0000	16,3000	1,8750
2	30,0000	30,4000	30,7000	0,9868
3	45,0000	45,6000	45,3000	0,6579
4	60,0000	60,0000	59,9000	0,1667
5	75,0000	74,0000	73,7000	0,4054
6	90,0000	90,0000	89,9000	0,1111
7	105,0000	104,0000	104,3000	0,2885

Tabla A.1.3 Tensión de línea V_{L3} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor V_{L3} propuesto (V)	Osciloscopio (V)	Simeas (V)	Error(%)
1	15,0000	15,6000	15,5000	0,6410
2	30,0000	30,4000	30,3000	0,3289
3	45,0000	44,8000	44,8000	0,0000
4	60,0000	60,6000	60,6000	0,0000
5	75,0000	75,8000	75,8000	0,0000
6	90,0000	89,1000	89,2000	0,1122
7	105,0000	105,3000	105,1000	0,1899

Tabla A.1.4 Corriente de línea I_{L1} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor I_{L1} propuesto (A)	Osciloscopio (A)	Simeas (A)	Error(%)
1	0,5000	0,5500	0,4750	13,6364
2	1,0000	1,1540	1,1210	2,8596
3	1,5000	1,6600	1,6320	1,6867
4	2,0000	2,0340	2,0060	1,3766
5	2,5000	2,6180	2,5830	1,3369
6	3,0000	3,1750	3,1330	1,3228

Tabla A.1.5 Corriente de línea I_{L2} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor I_{L2} propuesto(A)	Osciloscopio (A)	Simeas (A)	Error(%)
1	0,5000	0,5010	0,4740	5,3892
2	1,0000	1,0460	1,0400	0,5736
3	1,5000	1,5210	1,5060	0,9862
4	2,0000	2,0380	2,0180	0,9814
5	2,5000	2,4920	2,4640	1,1236
6	3,0000	3,0990	3,0680	1,0003

Tabla A.1.6 Corriente de línea I_{L3} medida con el SIMEAS T y con el osciloscopio FLUKE.

Medición	Valor I_{L3} propuesto(A)	Osciloscopio (A)	Simeas (A)	Error(%)
1	0,5000	0,4500	0,4320	4,0000
2	1,0000	1,0370	1,0270	0,9643
3	1,5000	1,5140	1,5000	0,9247
4	2,0000	2,0270	2,0050	1,0853
5	2,5000	2,4200	2,3940	1,0744
6	3,0000	3,0200	2,9900	0,9934

Apéndice A.2: Manual de instalación de la tarjeta CP 5613 y configuración de la red Profibus DP.

El presente manual le ayudará paso a paso a configurar una red Profibus DP compuesta por una PC que contiene una tarjeta de comunicación CP 5613 que funcionará como maestro y un medidor de calidad de energía SIMEAS Q que será el esclavo. Si desea agregar algún otro esclavo solo necesita repetir algunos de los pasos.

Siga los siguientes pasos para instalar el *software* y el *hardware*.

Instalando el *software*.

Paso	Descripción.
1.	Encienda la PC.
2.	Inserte el CD SIMATIC NET 07/2001. Si el programa de instalación en el CD no funciona automáticamente, entonces, corra el programa Setup.exe del CD.
3.	Siga las instrucciones en pantalla del programa de instalación. Instale los programas SIMATIC NET y SIMATIC NCM PC.

Nota: La tarjeta de comunicación CP 5613 está diseñada para trabajar sobre Windows 2000 Pro o sobre Windows NT.

Instalando la tarjeta CP 5613.

Paso	Descripción.
1.	Apague su PC.
2.	Desconecte el cable de alimentación.
3.	Asegúrese de no estar cargado estáticamente utilizando una pulsera a tierra y después quite la carcasa de su CPU.
4.	Coloque la tarjeta CP 5613 en el slot PCI de su PC. Trate de no tocar la tarjeta.
5.	Arme nuevamente su PC.

Para levantar la RED, continúe con su PC apagada y:

Paso	Descripción.
1.	Conecte el cable PROFIBUS a la tarjeta CP 5613.
2.	Conecte el SIMEAS Q al cable PROFIBUS.
3.	Configure la red PROFIBUS DP.

Continuación del procedimiento:

Nota: La configuración de la red debe de ser realizada por una persona con derechos de administrador, de lo contrario no podrá realizar la configuración con éxito.

4. Ahora encienda su PC.

5. La tarjeta de comunicación CP 5613, se reconocerá como nuevo *hardware* en su PC y se le solicita al usuario continuar con la instalación. Dar clic en *Aceptar*.

6. Automáticamente se inicializa el programa SIMATIC NET Commissioning Wizard y se debe de proceder como se muestra a continuación.

Secuencia de pasos:

6.1. En la ventana de bienvenida haga clic en el botón Next >.



Figura A.2.1 Ventana de Bienvenida

6.2. Proceda a seleccionar las opciones que se muestran en la figura A.2.2, la velocidad de transmisión se puede escoger a gusto hasta 1.5 Mbps. Después haga clic en el botón Next >.

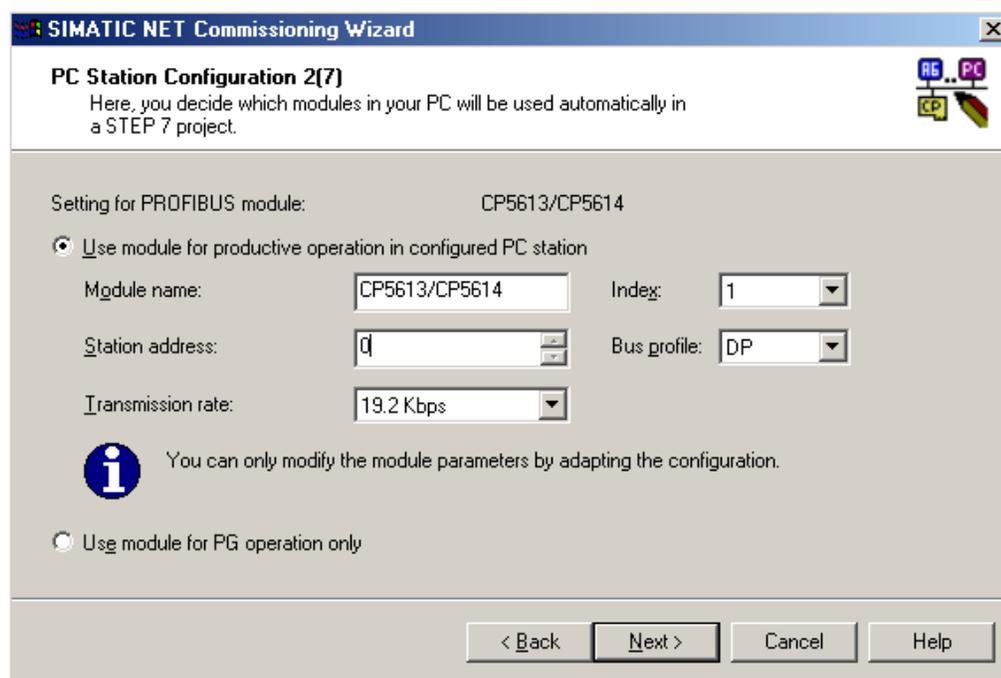


Figura A.2.2 Ventana de Configuración de parámetros para la tarjeta de comunicaciones.

6.3. Configure el servidor OPC, tal y como se muestra en la figura A.2.3. Después haga clic en el botón Next >.

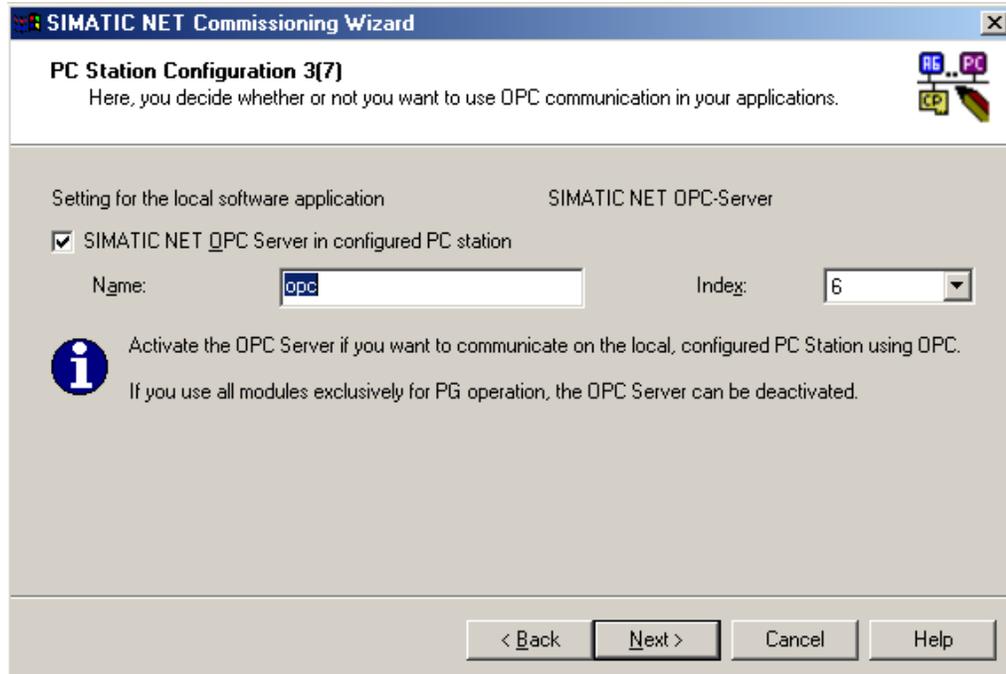


Figura A.2.3 Ventana de Configuración del Servidor OPC.

6.4. Salve la configuración haciendo clic en el botón Next >.

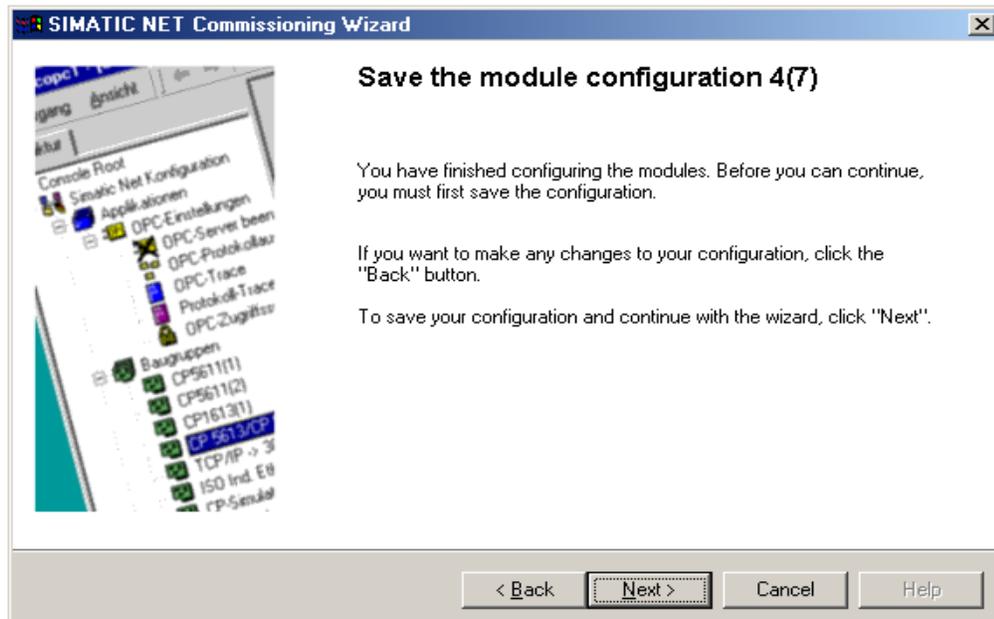


Figura A.2.4 Ventana de Configuración para salvar los parámetros del módulo.

6.5. Para configurar la red, haga clic en el botón PC Station Wizard.

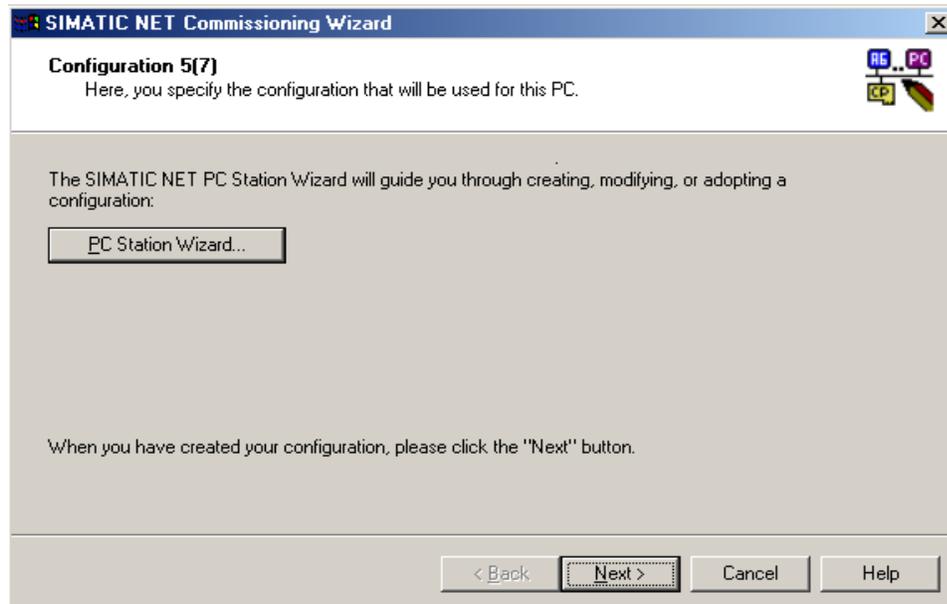


Figura A.2.5 Ventana de Configuración de Red.

6.6. Seleccione la actividad tal y como se muestra en la figura A.2.6. Haga clic en el botón siguiente >.

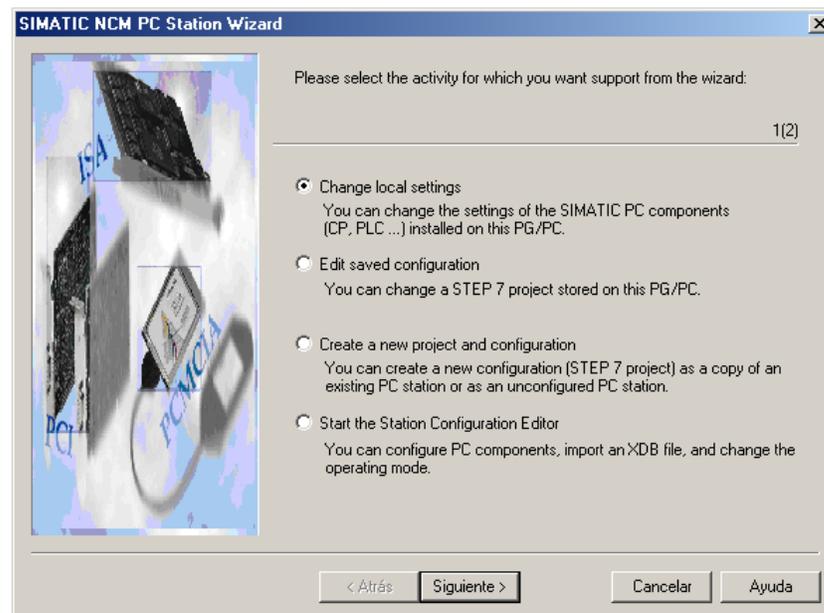


Figura A.2.6 Ventana de Configuración de Red.

6.7. Seleccione la actividad tal y como se muestra en la figura A.2.7. Haga clic en el botón Finalizar. Espere a que se inicie el programa NCM PC V5.0 para empezar a configurar las conexiones de la RED.

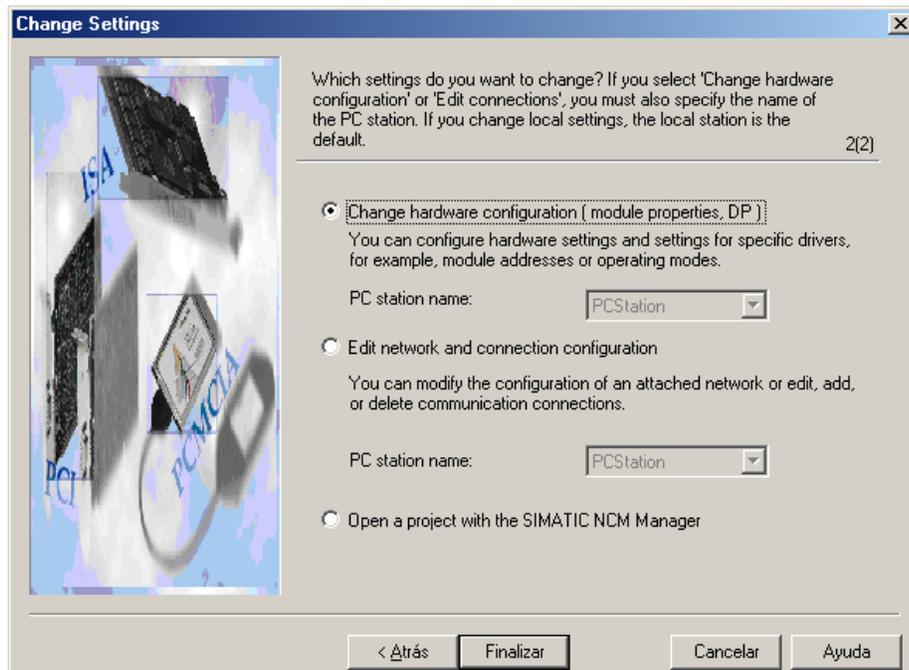


Figura A.2.7 Ventana de Configuración de Red.

7. Insertando un sistema maestro DP.

A continuación, se muestra el procedimiento que se debe seguir para configurar una red Profibus DP conformada por un maestro y un esclavo. En este caso, el maestro será la PC que contiene la tarjeta CP 5613 y el esclavo será el SIMEAS Q, ambos conectados a través de la red profibus DP.

8. Para este momento, automáticamente debe aparecer la tarjeta CP 5613 en la dirección 1 y el servidor OPC en la dirección 6.

Hacer click derecho sobre la tarjeta y seleccione la opción de agregar sistema maestro. Se debe de añadir la subred Profibus DP a través de el servidor OPC.

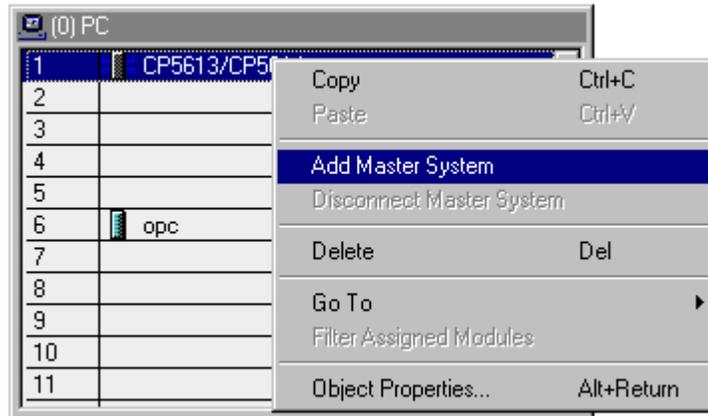


Figura A.2.8 Añadiendo sistema maestro

9. Para que el *software* NCM PC vrs 5.0 tenga acceso a la configuración del dispositivo esclavo (SIMEAS Q) es necesario agregar al catálogo de herramientas su archivo GSD. Dicho archivo contiene las características necesarias para la incorporación exitosa del dispositivo a la red. El procedimiento es el siguiente:

- Inserte el disco que contiene el archivo GSD.
- Desde el programa en el menú Options. Hacer click en Import Station GSD.
- Accesar el disco haciendo clic en el botón del Browser .
- En el menú Options hacer clic en install New GSD.

El dispositivo SIMEAS Q debe estar disponible en el catálogo de dispositivos del programa NCM PC vrs 5.0. Específicamente debe aparecer en PROFIBUS DP, Additional Field Devices, General, SIMEAS Q.

10. Arrastre el dispositivo SIMEAS Q hacia la red hasta que se observe que este se conecta a la red.

11. Haga doble clic al dispositivo desde la dirección: PROFIBUS DP, Additional Field Devices, General, Simeas Q y escoja la longitud de la trama.(seleccione 12A/240E-19 values). Arrástrela y péguela en la sección de abajo. Ver figura A.2.9.

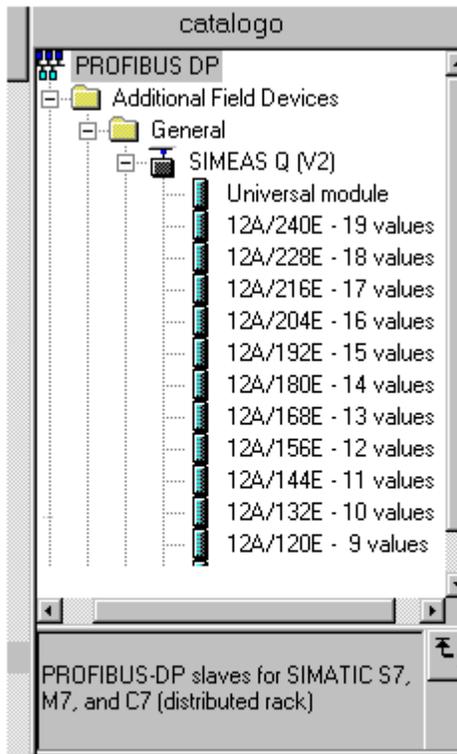


Figura A.2.9 Catálogo, especificación de la longitud de la trama.

12. Para estos momentos la configuración de la red debe mirarse como la figura A.2.10.

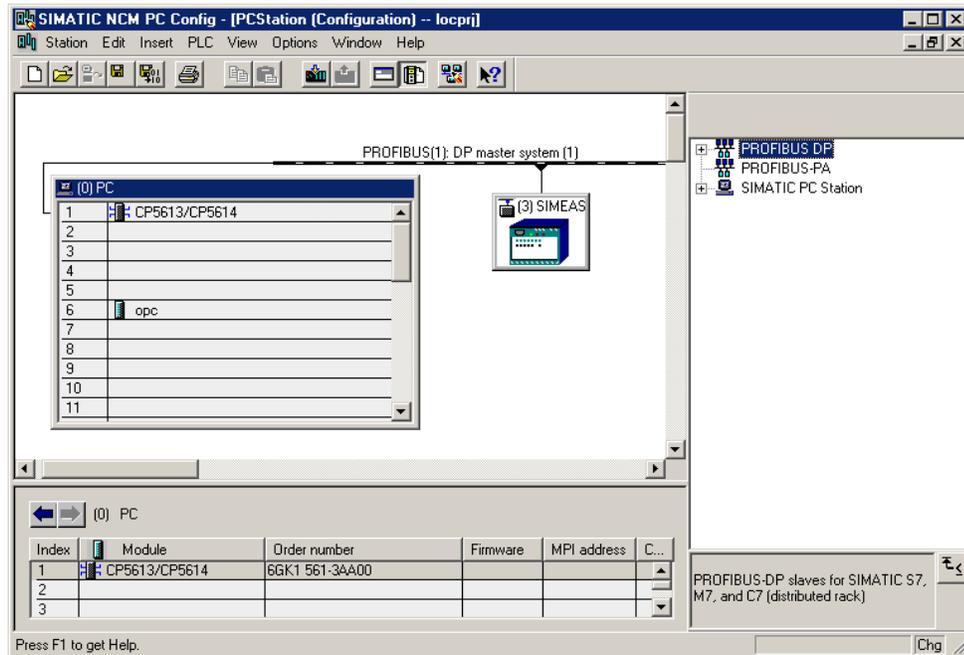


Figura A.2.10 La red de configuración casi terminada.

13. Para comprobar la consistencia de la red haga clic en el botón de salvar y compilar.
14. Hacer clic en el botón de download, para descargar la red a la tarjeta de comunicación.
15. Cerrar el *software* NCM PC vrs 5.0.
16. Continuar con el *software* SIMATIC NET Commissioning Wizard, Hacer clic en Next, tal y como se mira en la figura A.2.11.

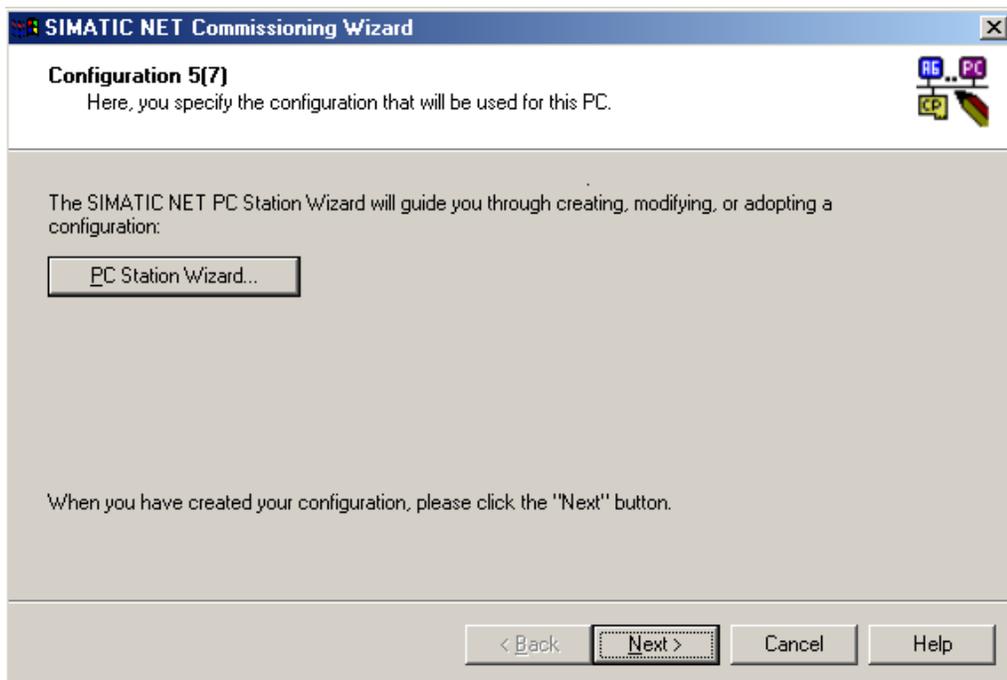


Figura A.2.11 Ventana de Configuración de Red.

17. En la siguiente ventana de configuración hacer clic sobre la opción de no usar un símbolo para el archivo. Haga clic en Next (figura A.2.12).

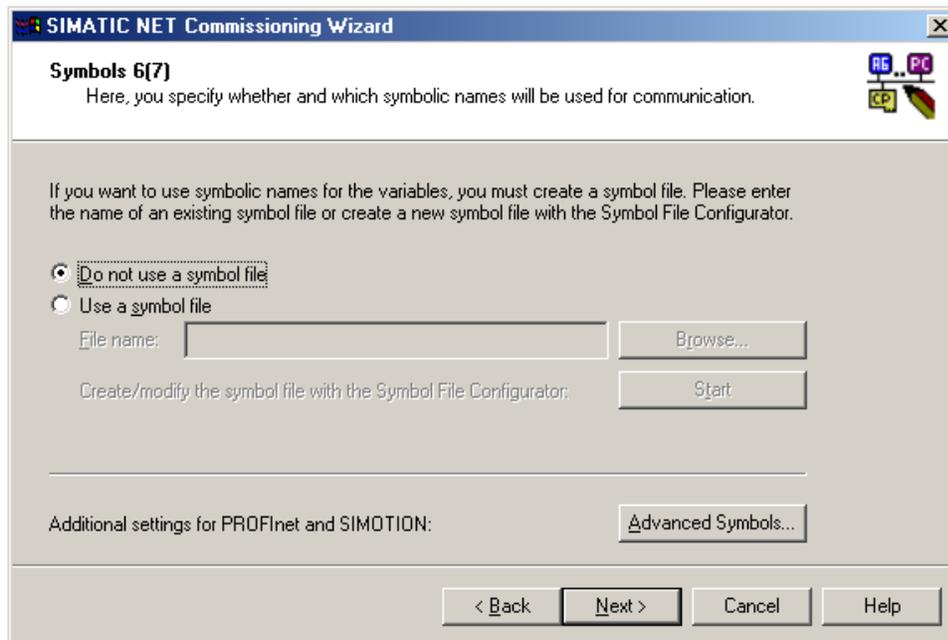


Figura A.2.12 Ventana de Configuración de Red.

18. Para finalizar con la instalación, haga clic en el botón finalizar (figura A.2.13).

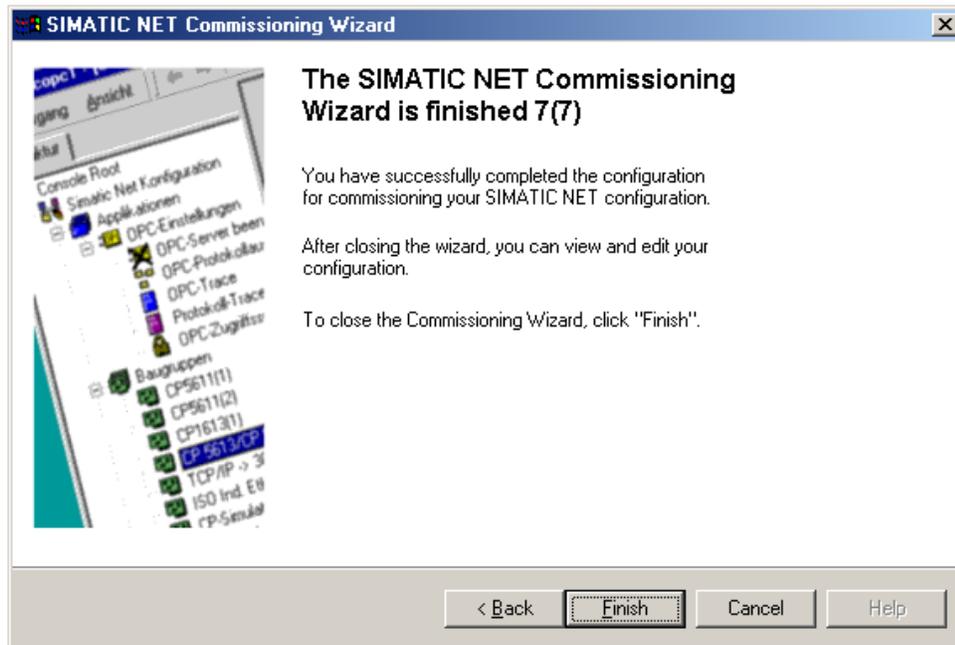


Figura A.2.13 Ventana de finalización de la Configuración de Red.

19. Para chequear la configuración de la red se puede utilizar el programa "Configuration Console" (figura A.2.14).

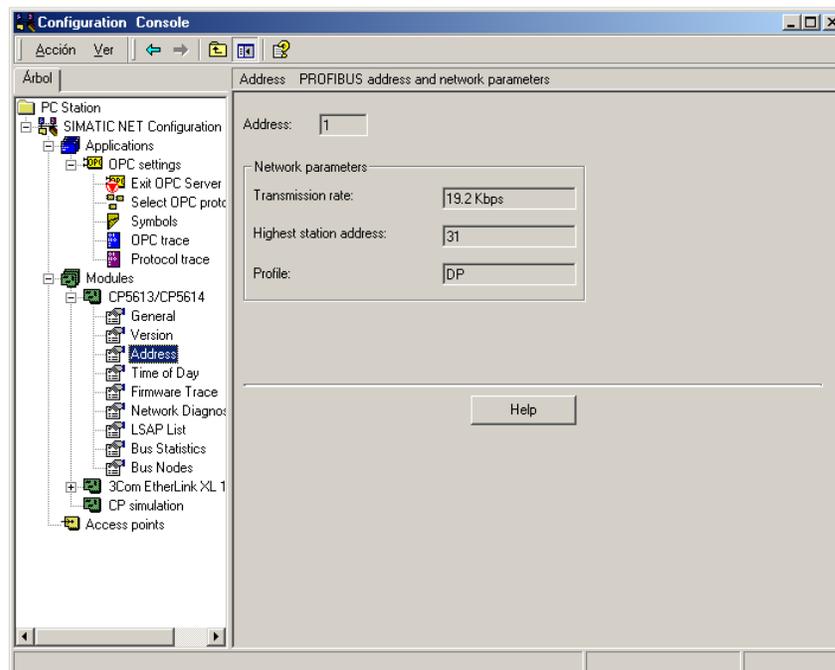


Figura A.2.14 Ventana del programa de configuración de consola.

20. Mediante el programa “Set PG-PC Interface” configure un punto de conexión para que el software SICARO Q Manager V2 tenga acceso a la red. Hágalo tal y como se muestra en la figura A.2.15 .

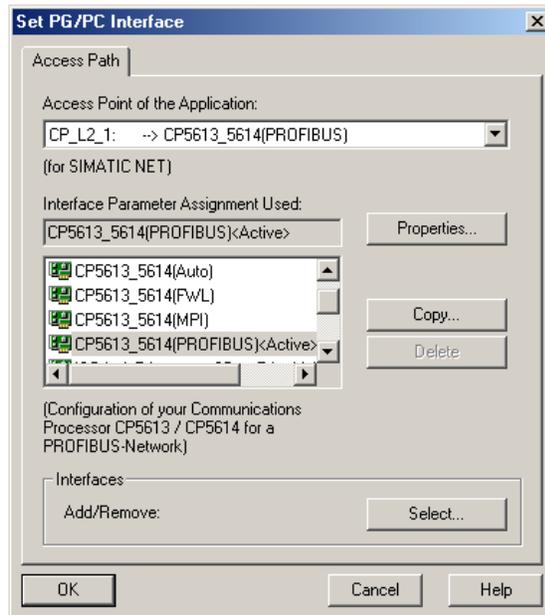


Figura A.2.15 Ventana principal del programa Set PG/PC Interface.

21. La red está lista para ser usada por el software SICARO Q Manager V2.

Apéndice A.3: Experimento de comprobación de medición de parámetros de calidad de energía con el S.M.S.

Objetivo del anteproyecto por realizar:

Utilización del programa SICARO Q Manager V2 para realizar pruebas de laboratorio en la medición de parámetros que determinan la calidad de energía.

Actividades:

Realizar una interfaz de usuario mediante el programa SICARO Q Manager V2. que permita monitorear la energía.

Comprobar mediante mediciones controladas de laboratorio que las desviaciones especificadas por el fabricante del SIMEAS Q se cumplen.

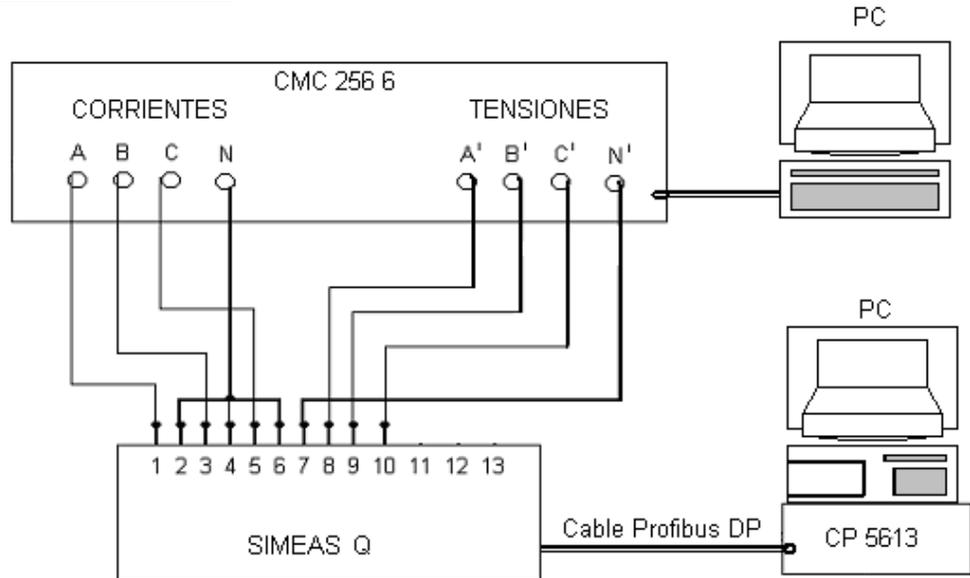
Equipo:

- OMICRON CMC 256.
- Una PC con el programa Omicron Test Universe debidamente instalado.
- Un SIMEAS Q con interfaz Profibus DP.
- Cable de conexión Profibus DP.
- Una estación de trabajo portátil con tarjeta de comunicación CP 5613 correctamente instalada.

Software:

- SIMEAS Q parametrization.
- SICARO Q Manager V12.
- Software OMICRON Test Universe V1.51

Circuito de medición.



Paint

Figura A.3.1 Circuito de medición.

Características generales de los equipos

Tabla A.3.1 Especificaciones técnicas de los instrumentos usados.

Parámetro	Exactitud del CMC 256-6	Exactitud del SIMEAS Q
Voltaje	< 0.1 %	< 0.5 %
Corriente	< 0.1 %	< 0.5 %
Frecuencia	± 0.5 ppm	± 0.2 %.
Fase	< 0.1 °	< 0.5 %
Armónicos	± 1.2 %.	≤ 0.02%
Potencias (P-S-Q)	-	≤ 0.2%
Energías	-	≤ 0.2%

Notas :

Para el CMC, la exactitud presentada es válida para tensiones de salida entre 30V a 300V.

El error de fase mostrado para el CMC es válido para 50/60 Hz.

Para el SIMEAS Q la inexactitud mostrada para los Armónicos es válida por cada 10% de distorsión hasta la armónica 32.

Procedimiento.

Arme el circuito de medición mostrado en la figura A.3.1 y realice las siguientes pruebas:

1.Pruebas de Tensiones.

Omicron: Señale las tensiones trifásicas en 110 V y disminuya en pasos de 5V por períodos de 20 s.

Realice las mediciones con el S.M.S y tabule los resultados.

2.Pruebas de Corrientes.

Omicron: Señale las corrientes trifásicas en 5 A y disminuya en pasos de 0.125 A por períodos de 20 s.

Realice las mediciones con el S.M.S y tabule los resultados.

3.Pruebas de Frecuencia.

Omicron: Señale las tensiones trifásicas en 110 V y la frecuencia en 60 Hz y disminuya esta en pasos de 0.5 Hz por períodos de 10 s.

Realice las mediciones con el S.M.S y tabule los resultados.

4. Pruebas de Tensiones Armónicas.

Omicron: Utilice el programa llamado “Harmonics” de Herramientas de Prueba y construya una onda con las siguientes características:

- Tensiones trifásicas en 120 V.
- Frecuencia en 60 Hz.
- Períodos 3600, es decir 60s.

Caso 1. Para cada una de las tensiones trifásicas, señale en la armónica individual el porcentaje de distorsión que se muestra en la tabla A.3.2.

Tabla A.3.2 Valores de Distorsión Armónica para el Caso1.

Armónica	Valor porcentual
3	3
5	3
7	2
THD	4.69

Configure el SIMEAS Q para que promedie las armónicas con un período de 10 s. Realice las mediciones con el S.M.S y tabule los resultados.

Caso 2. Para cada una de las tensiones trifásicas, señale en la armónica individual el porcentaje de distorsión que se muestra en la tabla A.3.3.

Tabla A.3.3 Valores de Distorsión Armónica para el Caso2.

Armónica	Valor porcentual
3	5
5	3
7	2
9	5
11	7
THD	10.52

Configure el SIMEAS Q para que promedie las armónicas con un período de 10 s. Realice las mediciones con el S.M.S y tabule los resultados.

5. Pruebas de Medición de energía y potencia.

Configuración del SIMEAS Q:

1. Seleccionar la opción de trabajar con transformador con una tensión en el primario de 34.5 KV y en el secundario de 100 V y con transformador de corriente con entrada en el primario de 1000 A y en el secundario de 2 A.
2. Seleccionar como tiempo promedio de 1 min para Energía y de 5 min para las potencias.
3. Período de medición de 20 min.

Configuración del OMICRON:

1. Seleccionar una tensión de 100 V, 2 A por fase del sistema trifásico.
2. Seleccionar un ángulo de desfase de 30 grados con adelanto de tensión a corriente (carga inductiva).

5.1 Valores teóricos esperados en la medición de energía.

Los valores calculados en esta sección se usarán como referencia para calcular la desviación de las mediciones de potencias y de energías.

Debido a la relación de transformación de voltaje y corriente con el que fue configurado el sistema SIMEAS Q el factor de escala es :

$$\alpha = 345 * 500 = 172500$$

Cálculo de potencia activa por fase:

$$P = \alpha * V_{ef} * I_{ef} * \cos(\theta) \quad (A.3.1)$$
$$P = 172500 * 100 * 2 * \cos(30) = 29,8778764 MW$$

Cálculo de potencia aparente por fase:

$$S = \frac{P}{\cos(\theta)} = \frac{29,8778764}{\cos(30)} = 34,5000000 MVA \quad (A.3.2)$$

Cálculo de potencia reactiva por fase:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 17,2500000 \text{MVAR} \quad (\text{A.3.3})$$

La energía activa por fase recolectada durante 20 minutos:

$$E = \int_{t_o}^{t_f} P dt = 29,8778764 * 20 \text{min} * \frac{1h}{60 \text{min}} \quad (\text{A.3.4})$$
$$E = 9,95929214 \text{MWh}$$

Cálculo de la energía activa total:

$$E_{tot} = 3 * E_{fase} = 3 * 9,95929214 = 29,87787643 \text{MWh} \quad (\text{A.3.5})$$

Cálculo de la energía aparente por fase recolectada durante 20 minutos:

$$E = \int_{t_o}^{t_f} S dt = 34,500 * 20 \text{min} * \frac{1h}{60 \text{min}} \quad (\text{A.3.6})$$
$$E = 11,50000000 \text{MVAh}$$

Cálculo de la energía aparente total:

$$E_{tot} = 3 * E_{fase} = 3 * 11,50 = 34,50000000 \text{MVAh}$$

Cálculo de la energía reactiva por fase recolectada durante 20 minutos:

$$E = \int_{t_o}^{t_f} Q dt = 17,2500000 * 20 \text{min} * \frac{1h}{60 \text{min}} \quad (\text{A.3.7})$$
$$E = 5,75000000 \text{MVARh}$$

Cálculo de la energía reactiva total:

$$E_{tot} = 3 * E_{fase} = 3 * 5,7500 = 17,25000000 \text{MVARh}$$

Resultados de las pruebas realizadas al Sistema de Monitoreo Siemens (SMS).

1. Comprobación de medición de voltaje.

Tabla A.3.4 Amplitud de las tensiones VL1 y VL2 medidas con el SMS.

CMC 256-6	S.M.S		CMC 256-6	S.M.S	
VL1 (V)	V L1 (V)	Desviación(%)	VL2 (V)	V L2 (V)	Desviación(%)
110	109,930	0,0635	110	110,189	0,1722
105	104,980	0,0190	105	104,989	0,0109
100	99,984	0,0163	100	99,983	0,0166
95	94,976	0,0250	95	95,039	0,0409
90	90,026	0,0291	90	89,997	0,0033
85	85,020	0,0236	85	85,006	0,0067
80	79,964	0,0454	80	80,044	0,0555
75	74,997	0,0046	75	75,043	0,0567
70	70,043	0,0617	70	70,016	0,0233
65	64,976	0,0370	65	65,043	0,0664
60	60,007	0,0118	60	59,997	0,0042
55	55,052	0,0945	55	55,018	0,0332
50	49,979	0,0427	50	50,047	0,0940
45	45,059	0,1309	45	45,029	0,0650
40	40,066	0,1652	40	40,030	0,0760
35	35,052	0,1485	35	35,043	0,1217

Los resultados de la tabla A.3.4 se alcanzaron utilizando como tensiones de referencia las proporcionadas por el CMC 256-6. Las tensiones VL1 y VL2 se disminuyeron desde 10 V y hasta 35 V en pasos de 5 V con duración de 20 segundos por paso.

Tabla A.3.5 Amplitud de la tensión VL3 medida con el SMS.

CMC 256-6	S,M,S	
VL3 (V)	V L3 (V)	Desviación(%)
110	109,978	0,0200
105	104,925	0,0718
100	100,016	0,0161
95	95,399	0,4196
90	89,976	0,0271
85	84,980	0,0238
80	80,350	0,4369
75	74,989	0,0141
70	69,977	0,0330
65	65,241	0,3708
60	60,036	0,0605
55	54,991	0,0171
50	50,190	0,3793
45	45,036	0,0801
40	40,035	0,0869
35	35,003	0,0091

Los resultados de la tabla A.3.5 se alcanzaron utilizando como tensión de referencia la proporcionada por el CMC 256-6. La tensión VL3 se disminuyó desde 110 V y hasta 35 V en pasos de 5 V con duración de 20 segundos por paso.

Mediciones realizadas a una temperatura de: 24 °C

Humedad relativa del 50%.

2. Comprobación de medición de corrientes.

Tabla A.3.6 Amplitud de las corrientes IL1 y IL2 medidas con el SMS.

S.M.S	CMC 256-6		S.M.S	CMC 256-6	
IL1 (A)	IL1 (A)	Desviación(%)	IL2 (A)	IL2 (A)	Desviación(%)
4,747	4,750	0,0560	4,748	4,750	0,0347
4,623	4,625	0,0503	4,624	4,625	0,0309
4,498	4,500	0,0536	4,497	4,500	0,0619
4,372	4,375	0,0793	4,372	4,375	0,0616
4,247	4,250	0,0785	4,248	4,250	0,0566
4,122	4,125	0,0713	4,124	4,125	0,0245
3,997	4,000	0,0768	4,009	4,000	0,2253
3,872	3,875	0,0751	3,873	3,875	0,0601
3,747	3,750	0,0785	3,748	3,750	0,0443
3,622	3,625	0,0809	3,623	3,625	0,0626
3,497	3,500	0,0812	3,498	3,500	0,0685
3,372	3,375	0,0775	3,373	3,375	0,0692
3,249	3,250	0,0392	3,248	3,250	0,0663
3,124	3,125	0,0403	3,123	3,125	0,0602
2,998	3,000	0,0783	2,998	3,000	0,0575
2,873	2,875	0,0780	2,873	2,875	0,0629
2,748	2,750	0,0774	2,748	2,750	0,0610
2,624	2,625	0,0291	2,624	2,625	0,0547
2,498	2,500	0,0746	2,499	2,500	0,0594
2,373	2,375	0,0740	2,374	2,375	0,0598
2,249	2,250	0,0452	2,249	2,250	0,0546
2,123	2,125	0,0774	2,124	2,125	0,0591
1,998	2,000	0,0763	1,998	2,000	0,1045
1,874	1,875	0,0784	1,875	1,875	0,0094
1,748	1,750	0,0920	1,750	1,750	0,0148
1,623	1,625	0,0923	1,625	1,625	0,0221
1,499	1,500	0,0853	1,500	1,500	0,0238
1,374	1,375	0,0976	1,375	1,375	0,0352
1,249	1,250	0,0941	1,251	1,250	0,0419
1,124	1,125	0,1030	1,126	1,125	0,0592
1,000	1,000	0,0324	1,001	1,000	0,0777
0,876	0,875	0,0576	0,876	0,875	0,1050
0,751	0,750	0,0699	0,751	0,750	0,1348
0,626	0,625	0,1046	0,626	0,625	0,1279
0,501	0,500	0,1475	0,501	0,500	0,2280
0,374	0,375	0,1352	0,376	0,375	0,2990
0,250	0,250	0,1126	0,251	0,250	0,4269
0,125	0,125	0,1736	0,125	0,125	0,1694

Los resultados de la tabla A.3.6 se alcanzaron utilizando como corrientes de referencia las proporcionadas por el CMC 256-6. Las corrientes IL1 y IL2 se disminuyeron desde 4,750 A y hasta 0,125 A en pasos de 0.125 A con duración de 20 segundos por paso.

Tabla A.3.7 Amplitud de la corriente IL3 medida con el SMS.

S.M.S	CMC 256-6	
IL3 (A)	IL3 (A)	Desviación(%)
47,567	47,500	0,1401
46,246	46,250	0,0079
45,003	45,000	0,0072
43,746	43,750	0,0084
42,498	42,500	0,0056
41,246	41,250	0,0105
39,996	40,000	0,0097
38,748	38,750	0,0059
37,498	37,500	0,0043
36,248	36,250	0,0056
34,997	35,000	0,0081
33,749	33,750	0,0036
32,498	32,500	0,0048
31,249	31,250	0,0036
29,998	30,000	0,0060
28,750	28,750	0,0005
27,501	27,500	0,0042
26,251	26,250	0,0039
25,143	25,000	0,5706
23,751	23,750	0,0057
22,501	22,500	0,0065
21,266	21,250	0,0757
20,016	20,000	0,0817
18,764	18,750	0,0738
17,513	17,500	0,0721
16,264	16,250	0,0833
15,005	15,000	0,0357
13,747	13,750	0,0187
12,500	12,500	0,0005
11,256	11,250	0,0574
10,018	10,000	0,1761
0,8749	0,8750	0,0104
0,7500	0,7500	0,0053
0,6250	0,6250	0,0073
0,5001	0,5000	0,0216
0,3750	0,3750	0,0083
0,2498	0,2500	0,0979
0,1248	0,1250	0,1314

Los resultados de la tabla A.3.7 se alcanzaron utilizando como corriente de referencia la proporcionada por el CMC 256-6. La corriente IL3 se disminuyó desde 4,750 A y hasta 0,125 A en pasos de 0,125 A con duración de 20 segundos por paso.

Mediciones realizadas a una temperatura de: 23 °C

Humedad relativa del 50%.

3. Comprobación de medición de frecuencia.

Tabla A.3.8 Magnitud de la frecuencia medida con el SMS.

S.M.S F(Hz)	CMC 256-6 F(Hz)	Desviación(%)
59.998	60.0	0,0031
59.498	59.5	0,0033
59.065	59.0	0,1108
58.498	58.5	0,0031
57.998	58.0	0,0032
57.498	57.5	0,0035
56.998	57.0	0,0033
56.499	56.5	0,0024
55.998	56.0	0,0037
55.499	55.5	0,0022
54.998	55.0	0,0033

Los resultados de la tabla A.3.8 se alcanzaron usando como referencia una señal senoidal de 100 V r.m.s proporcionada por el CMC 256-6. La frecuencia se disminuyó desde 60 Hz y hasta 55 Hz en pasos de 0, 5 Hz con duración de 20 segundos por paso.

Mediciones realizadas a una temperatura de: 23 °C

Humedad relativa del 57 %.

4. Comprobación de medición de tensiones armónicas.

Caso 1. Distorsión en la armónica 3,5 y 7.

Tabla A.3.9 Valores medidos de la distorsión en la armónica 3 y 5 con el SMS utilizando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

Omicron L1 3	SMS L1 3(%)	Desviación(%)	Omicron L1 5	SMS L1 5(%)	Desviación(%)
3	2,99997	0,00088	3	2,91760	2,74652
3	3,00401	0,13380	3	2,90725	3,09177
3	3,00476	0,15881	3	2,91223	2,92579
3	3,00507	0,16906	3	2,91206	2,93143
3	3,00176	0,05879	3	2,91043	2,98569
3	2,99818	0,06061	3	2,91763	2,74577

Tabla A.3.10 Valores medidos de la distorsión en la armónica 7 con el SMS usando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

Omicron L1 7(%)	SMS L1 7(%)	Desviación(%)
2	1,89692	5,15417
2	1,88621	5,68959
2	1,88830	5,58501
2	1,88489	5,75542
2	1,88431	5,78434
2	1,88341	5,82933

Tabla A.3.11 Valores medidos de la distorsión armónica total con el SMS usando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

OMICRON THD(%)	SMS THD(%)	Desviación(%)
4,69	4,5892	2,1503
4,69	4,5889	2,1562
4,69	4,5865	2,2076
4,69	4,5898	2,1365
4,69	4,5875	2,1850
4,69	4,5896	2,1406

Mediciones realizadas a una temperatura de: 23.5 °C

Humedad relativa del 59 %.

Caso 2. Distorsión en las armónicas 3,5,7,9 y 11.

Tabla A.3.12 Valores medidos de la distorsión en la armónica 3 y 5 con el SMS usando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

Omicron L2 3(%)	SMS L2 3(%)	Desviación(%)	Omicron L2 5(%)	SMS L2 5(%)	Desviación(%)
5	4,9365	1,2694	3	2,9121	2,9301
5	4,9443	1,1142	3	2,9090	3,0319
5	4,9501	0,9975	3	2,9134	2,8855
5	4,9572	0,8569	3	2,9055	3,1505
5	4,9631	0,7389	3	2,9102	2,9935
5	4,9657	0,6866	3	2,9118	2,9401

Tabla A.3.13 Valores medidos de la distorsión en la armónica 7 y 9 con el SMS utilizando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

Omicron L2 7(%)	SMS L2 7(%)	Desviación(%)	Omicron L2 9(%)	SMS L2 9(%)	Desviación(%)
2	1,8857	5,7130	5	4,5324	9,3520
2	1,8821	5,8938	5	4,5310	9,3805
2	1,8824	5,8813	5	4,5295	9,4101
2	1,8835	5,8265	5	4,5234	9,5330
2	1,8849	5,7542	5	4,5230	9,5391
2	1,8857	5,7168	5	4,5226	9,5474

Tabla A.3.14 Valores medidos de la distorsión en la armónica 11 con el SMS usando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

omicron L2 11(%)	SMS L2 11(%)	Desviación(%)
7	6,0176	14,0342
7	6,0212	13,9827
7	6,0209	13,9878
7	6,0242	13,9402
7	6,0204	13,9948
7	6,0193	14,0099

Tabla A.3.15 Valores medidos de la distorsión armónica total con el SMS utilizando como señal de referencia la proporcionada por el CMC 256-6.

OMICRON THD(%)	SMS THD(%)	Desviación(%)
10,52	9,6742	8,0399
10,52	9,6625	8,1513
10,52	9,6611	8,1644
10,52	9,6563	8,2100
10,52	9,6529	8,2422
10,52	9,6517	8,2539

Mediciones realizadas a una temperatura de: 23 °C

Humedad relativa del 58 %.

5. Comprobación de la medición de potencias y energías.

Comprobación de medición de potencia activa.

Tabla A.3.16 Magnitud de la potencia activa medida con el SMS.

Teórico P_L1 (W)	SMS P_L1 (W)	Desviación (%)
29877876,43	29846526,84	0,1049
29877876,43	29825810,28	0,1743
29877876,43	29831918,16	0,1538
29877876,43	29845580,16	0,1081

Las señales de referencia del sistema trifásico fueron proporcionadas por el CMC 256-6. El SMS fue configurado simulando que se conectaba al sistema trifásico mediante transformadores con un factor de disminución de 34,5K : 100 para la tensión y de 1000 : 2 para la corriente; por esta razón, los resultados que se presentan están multiplicados por esos factores de escala. Los resultados corresponden a la primera fase para la potencia activa.

Comprobación de medición de potencia aparente y reactiva.

Tabla A.3.17 Magnitud de la potencia aparente y reactiva medida con el SMS.

Teórico S_L2 (VA)	SMS S_L2 (VA)	Desviación (%)	Teórico Q_L3 (VAR)	SMS Q_L3 (VAR)	Desviación (%)
34500000	34476865,68	0,0671	17250000	17224929,54	0,1453
34500000	34492804,68	0,0209	17250000	17239552,02	0,0606
34500000	34488247,92	0,0341	17250000	17226098,40	0,1386
34500000	34472874,72	0,0786	17250000	17219170,80	0,1787

Las señales de referencia del sistema trifásico fueron proporcionadas por el CMC 256-6. El SMS fue configurado simulando que se conectaba al sistema trifásico mediante transformadores con un factor de disminución de 34,5K : 100 para la tensión y de 1000 : 2 para la corriente; por esta razón, los resultados que se presentan están multiplicados por esos factores de escala. Los resultados corresponden a los de la segunda fase para la potencia aparente y a la tercera fase para la potencia reactiva.

Comprobación de medición de energía activa, aparente y reactiva.

Tabla A.3.18 Magnitud de la energía activa, aparente y reactiva medida con el SMS.

Tiempo	Energía P (Wh)	Energía S (VAh)	Energía Q (VARh)
10:56:00	1493388,563	1723978,283	861330,795
10:57:00	1493397,015	1723984,838	861329,070
10:58:00	1493418,923	1724017,268	861356,583
10:59:00	1493398,395	1723991,048	861339,075
11:00:00	1493416,335	1724009,333	861344,681
11:01:00	1493404,778	1723997,085	861340,714
11:02:00	1493404,088	1724002,260	861352,961
11:03:00	1493394,083	1723984,838	861334,504
11:04:00	1493364,240	1723949,130	861315,356
11:05:00	1493390,460	1723969,313	861309,319
11:06:00	1493407,883	1723982,250	861305,265
11:07:00	1493402,535	1723977,938	861306,645
11:08:00	1493434,103	1724013,300	861322,946
11:09:00	1493390,978	1723978,455	861325,879
11:10:00	1493380,455	1723950,855	861290,430
11:11:00	1493425,823	1724013,990	861337,178
11:12:00	1493409,090	1723988,115	861316,133
11:13:00	1493401,673	1723975,695	861303,454
11:14:00	1493414,955	1723998,465	861325,879
11:15:00	1493384,940	1723961,205	861303,281
Sumatoria	29868029,310	34479723,660	17226490,150

Los resultados que se muestran en la tabla A.3.11 corresponden a las energías totales del sistema trifásico registradas durante un período total de 20 minutos. Durante ese periodo se aplicó mediante el CMC 256-6 una señal senoidal de 100 V R.M.S, 2 A y un ángulo de desfase de 30 grados de adelanto de tensión a corriente por fase. El SMS fue configurado simulando que se conectaba al sistema trifásico mediante transformadores de voltaje y corriente con un factor de disminución de 1000:1, por esta razón, los resultados que se presentan están multiplicados por esos factores de escala.

Tabla A.3.19 Energía activa total medida con el SMS.

Teórico (Wh)	SMS (Wh)	Desviación (%)
29877876,431	29868029,310	0,0330

Tabla A.3.20 Energía aparente total medida con el SMS.

Teórico (VAh)	SMS (VAh)	Desviación (%)
34500000	34479723,660	0,0588

Tabla A.3.21 Energía reactiva total medida con el SMS.

Teórico (VAR)	SMS (VAR)	Desviación (%)
17250000,000	17226490,150	0,1363

Mediciones realizadas a una temperatura de: 24 °C

Humedad relativa del 55 %.

Apéndice A.4: Manual de usuario del programa ACED (Analizador de Calidad de Energía D)

Instalación.

ACED es una herramienta para el análisis de los datos que determinan la calidad de la energía en una red de mediana potencia. Esta herramienta está programada en MATLAB, el cual por ser un lenguaje interpretado requiere de MATLAB R12 para su ejecución. ACED lo conforman una serie de archivos “scrips” que se encuentran guardados en la carpeta Aced.

La carpeta Aced se debe instalar en algún directorio específico. Ejemplo: Guardar la carpeta en “ C:\ *Aced* “.

Ejecución del programa ACED.

- 1) Accionar sobre el icono del programa MATLAB R12 haciendo doble clic con el ratón.
- 2) Indicar la ruta de acceso a los scrips del programa ACED. En este caso, seleccionar en Current Directory la ruta **C:\Aced**.
- 3) Para hacer llamado del programa ACED se utiliza el comando **aced** desde la ventana de comandos de MATLAB.

Una vez invocado dicho comando, se presenta la ventana de la figura A.4.1.

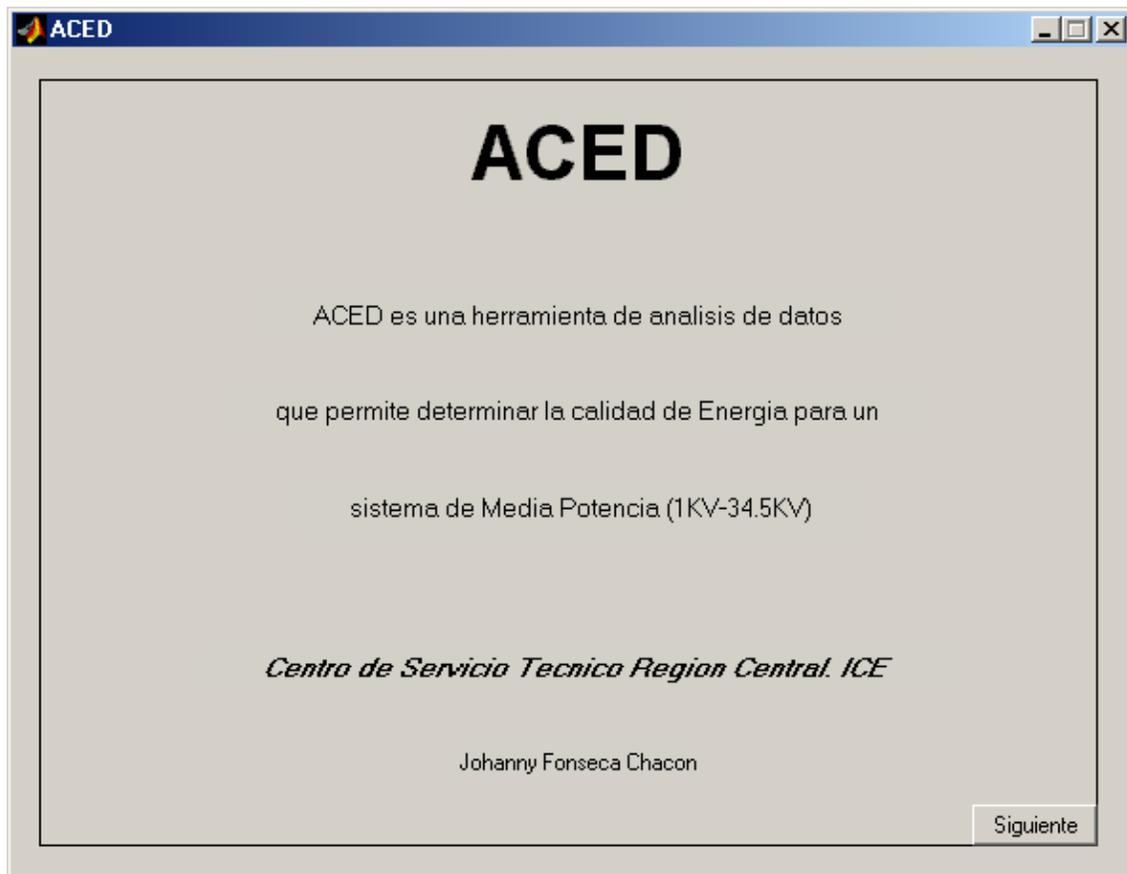
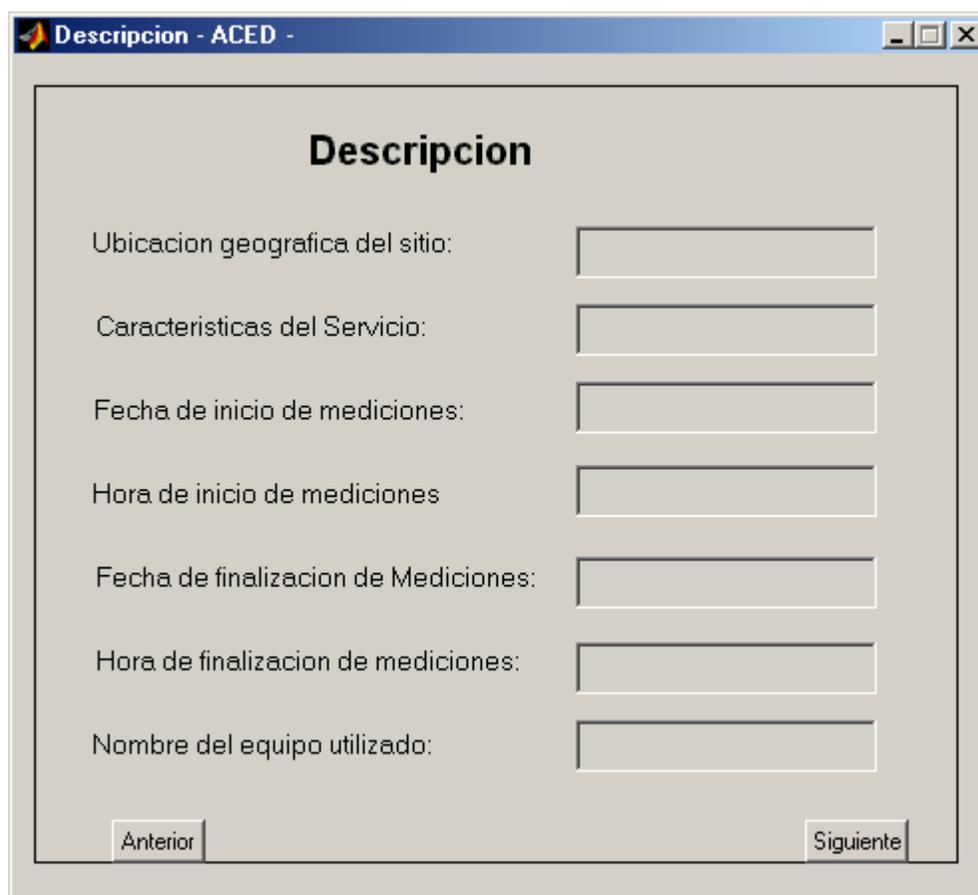


Figura A.4.1 Presentación del programa ACED.

En la ventana mostrada en la figura A.4.1 para pasar a la próxima ventana es necesario hacer clic sobre el botón siguiente. La ventana actual es cerrada y se presenta la ventana de descripción general del análisis.

4) La ventana de descripción general del Análisis (figura A.4.2)



The image shows a software window titled "Descripcion - ACED". The window contains a form with the following fields and labels:

- Ubicacion geografica del sitio: [text input]
- Caracteristicas del Servicio: [text input]
- Fecha de inicio de mediciones: [text input]
- Hora de inicio de mediciones: [text input]
- Fecha de finalizacion de Mediciones: [text input]
- Hora de finalizacion de mediciones: [text input]
- Nombre del equipo utilizado: [text input]

At the bottom of the form, there are two buttons: "Anterior" on the left and "Siguiete" on the right.

Figura A.4.2 Ventana de Descripción.

En la ventana de descripción se solicita la información referente al monitoreo realizado, con el fin de insertar estos datos en el reporte de calidad.

Desde la ventana de descripción, para retroceder a la ventana de la portada es necesario hacer clic sobre el botón anterior. Para avanzar, hacer clic sobre el botón siguiente.

5) La siguiente ventana es la de Selección (figura A.4.3).



Figura A.4.3 Ventana de Selección.

En la ventana de selección se presenta una lista de los análisis que puede realizar ACED. Se selecciona un análisis y se hace clic sobre el botón analizar, de manera que se abre una nueva ventana donde se seleccionan las características del sistema por evaluar y se ingresa el nombre de la matriz de datos por analizar.

6) Ventanas de análisis.

Análisis de Voltaje.

Para realizar el análisis de voltaje se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.4.

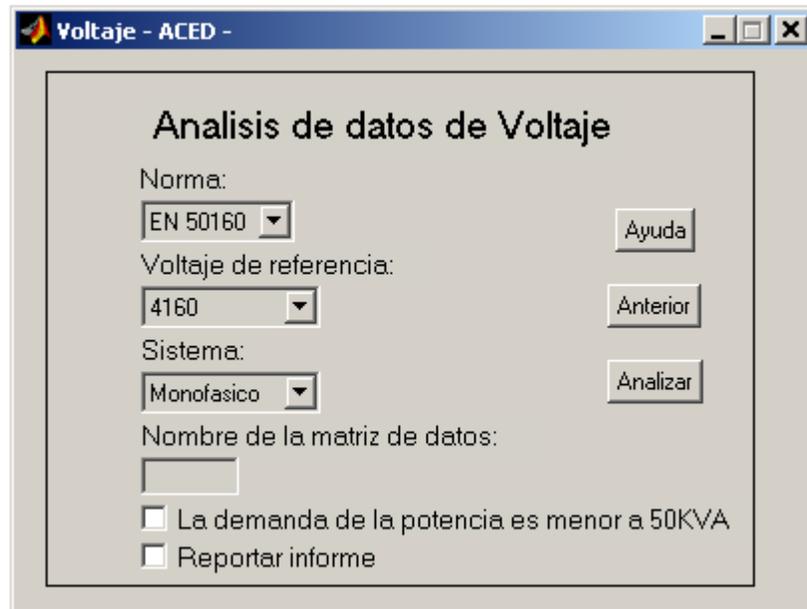


Figura A.4.4 Ventana de Análisis de voltaje.

Descripción:

- a) Norma: Se selecciona entre la norma EN 50160 y la norma RG 2441.
- b) Voltaje de referencia: Se selecciona el voltaje de referencia para evaluar los datos entre los diferentes voltajes disponibles en una red de media potencia.
- c) Sistema: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema trifásico o monofásico.

d) Nombre de la matriz de datos: En este campo, es necesario ingresar el nombre de la variable donde esta almacenada la matriz de datos por analizar. El nombre debe ser ingresado desde el espacio de trabajo de MATLAB y no ha de poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda utilizar un nombre de no más de tres letras.

Si la selección del sistema es monofásico, la matriz de datos debe tener una columna; si es trifásico, debe tener 3 columnas, de lo contrario desplegará un error. Para observar un ejemplo, ver la sección de Manejo de datos.

e) Otros:

La opción de “La demanda de la potencia es menor a 50 KVA ” se ignora si la norma seleccionada es la EN 50160.

Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe seleccionar la casilla “Reportar informe”. Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa, se acciona sobre el botón “Analizar” para ejecutar el análisis.

Análisis de Frecuencia.

Para realizar el análisis de frecuencia se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.5.

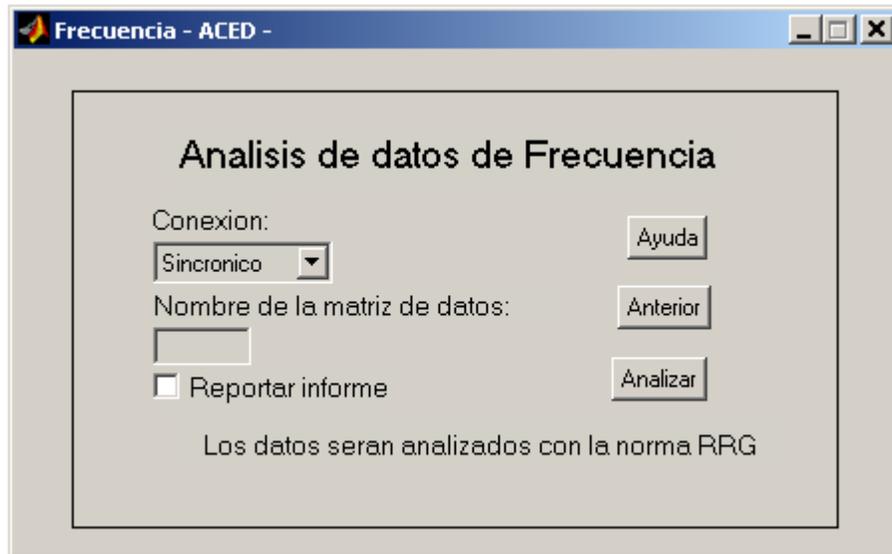


Figura A.4.5 Ventana de Análisis de frecuencia.

Descripción:

a) Conexión: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema con conexión sincrónica o asincrónica.

b) Nombre de la matriz de datos: En este campo es necesario ingresar el nombre de la variable donde está almacenada la matriz de datos por analizar. El nombre debe ser ingresado desde el espacio de trabajo de MATLAB y no ha de poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras. La matriz de datos debe tener una columna. Para observar un ejemplo, ver la sección de Manejo de datos.

c) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe seleccionar la casilla “Reportar informe”. Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa, se acciona sobre el botón “Analizar” para ejecutar el análisis.

Análisis de Desbalance.

Para realizar el análisis de desbalance se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.6.

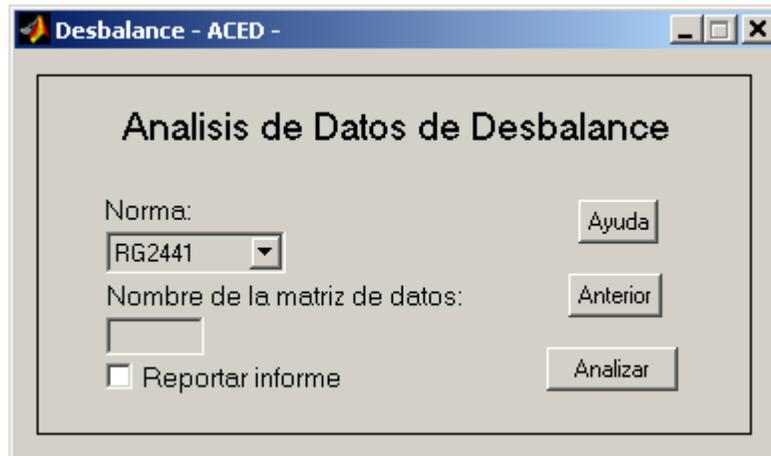


Figura A.4.6 Ventana de Análisis de desbalance.

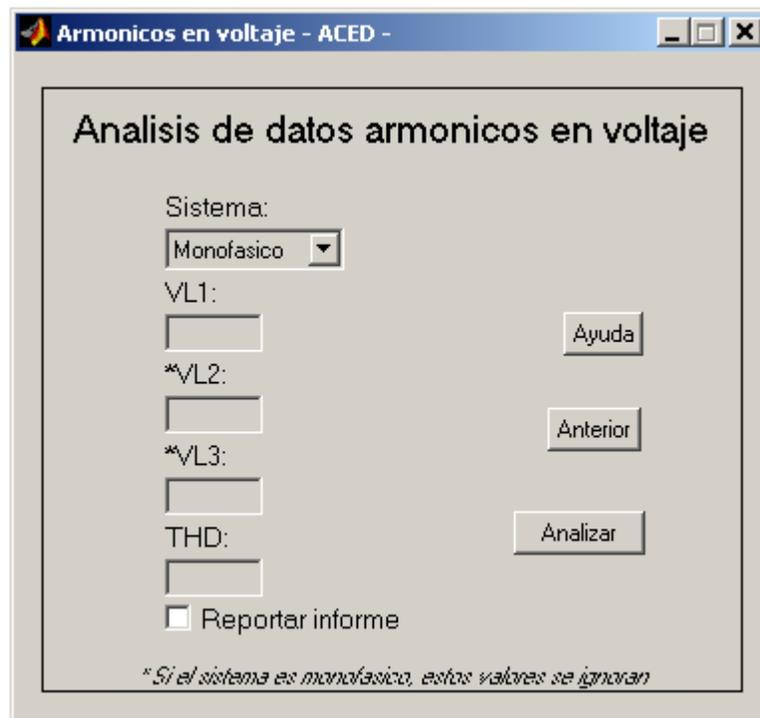
Descripción:

- a) Norma: Se selecciona entre la norma EN 50160 y la norma RG 2441.
- b) Nombre de la matriz de datos: En este campo es necesario ingresar el nombre de la variable donde está almacenada la matriz de datos por analizar. El nombre debe ser ingresado desde el espacio de trabajo de MATLAB y no poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras. La matriz de datos debe tener una columna. Para observar un ejemplo ver la sección de Manejo de datos.
- c) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe de seleccionar la casilla "Reportar informe". Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa, se acciona sobre el botón "Analizar" para ejecutar el análisis.

Análisis de Armónicos en Voltaje.

Para realizar el análisis de armónicos en voltaje se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.7.



Armonicos en voltaje - ACED

Analisis de datos armonicos en voltaje

Sistema:
Monofasico

VL1:
[]

*VL2:
[]

*VL3:
[]

THD:
[]

Reportar informe

Ayuda

Anterior

Analizar

** Si el sistema es monofasico, estos valores se ignoran*

Figura A.4.7 Ventana de Análisis de armónicos en voltaje.

Descripción:

a) Sistema: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema trifásico o monofásico.

b) Ingreso de datos.

VL1,VL2,VL3 : En estos campos se ingresan los nombres de las variables donde están almacenadas las matrices de datos por analizar. El nombre y los datos deben ser ingresados desde el espacio de trabajo de MATLAB y no han de poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras. Si la selección del sistema es monofásico, los campos VL2 y VL3 serán ignorados.

THD: En este campo se ingresa el nombre de la matriz de datos que contiene los datos de la distorsión total de voltaje. El vector THD deberá tener una columna o tres columnas dependiendo del tipo de sistema escogido (monofásico o trifásico respectivamente).

Las matrices ingresadas en los campos VL1,VL2 y VL3 deberán tener 40 columnas para realizar el análisis.

Las matrices y vectores VL1, VL2, VL3 y THD deberán tener la misma cantidad de filas.

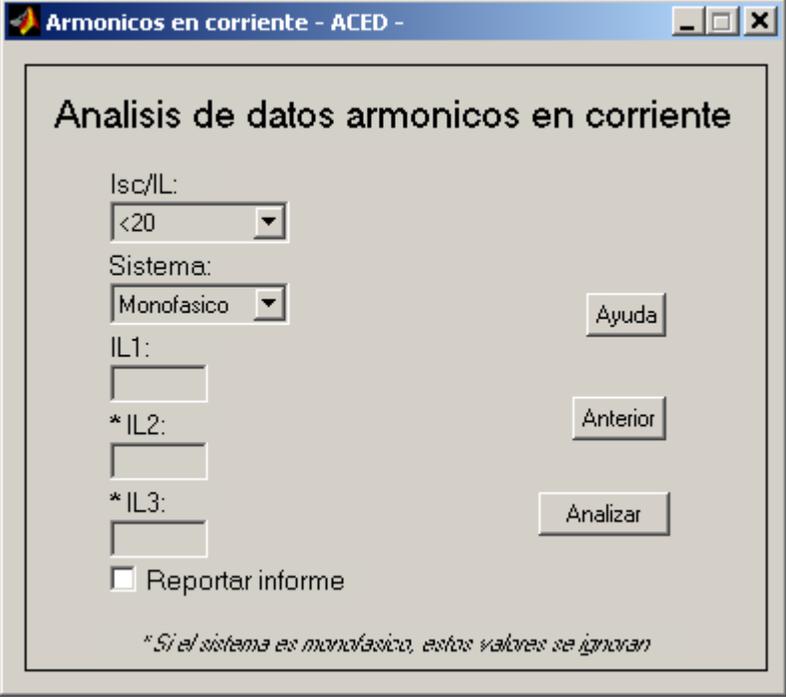
Para observar un ejemplo de la definición de variables de datos en MATLAB, ver la sección de Manejo de datos.

c) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe de seleccionar la casilla “Reportar informe”. Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa se acciona sobre el botón “Analizar” para ejecutar el análisis.

Análisis de Armónicos en Corriente.

Para realizar el análisis de armónicos en corriente se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.8.



Armonicos en corriente - ACED -

Analisis de datos armonicos en corriente

Isc/IL:
<20

Sistema:
Monofasico

IL1:
[]

* IL2:
[]

* IL3:
[]

Reportar informe

Ayuda

Anterior

Analizar

** Si el sistema es monofasico, estos valores se ignoran*

Figura A.4.8 Ventana de Análisis de armónicos en corriente.

Descripción:

- Isc/IL: Se selecciona la razón entre la máxima corriente de corto circuito “Isc” y la máxima corriente demandada por la carga “IL” en el punto de entrega.
- Sistema: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema trifásico o monofásico.

c) Ingreso de datos.

IL1,IL2,IL3 : En estos campos se ingresan los nombres de las variables donde están almacenadas las matrices de datos por analizar. El nombre y los datos deben ser ingresados desde el espacio de trabajo de MATLAB y no han de poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras. Si la selección del sistema es monofásico los campos IL2 y IL3 serán ignorados.

Las matrices ingresadas en los campos IL1,IL2 y IL3 deberán tener 40 columnas cada una y la misma cantidad de filas para realizar el análisis.

Para observar un ejemplo de la definición de variables de datos en MATLAB, ver la sección de Manejo de datos.

d) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe de seleccionar la casilla “Reportar informe”. Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa se acciona sobre el botón “Analizar” para ejecutar el análisis.

Análisis de Flicker a largo plazo.

Para realizar el análisis de Flicker a largo plazo se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.9.



Figura A.4.9 Ventana de Análisis de Flicker a largo plazo.

Descripción:

a) Sistema: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema trifásico o monofásico.

b) Nombre de la matriz de datos: En este campo es necesario ingresar el nombre de la variable donde está almacenada la matriz de datos por analizar. El nombre y los datos deben ser ingresados desde el espacio de trabajo de MATLAB y no han de poseer espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras.

La matriz de datos debe tener una columna si el sistema es monofásico y tres columnas si es trifásico. Para observar un ejemplo de la definición de variables de datos en MATLAB ver la sección de Manejo de datos.

c) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe seleccionar la casilla "Reportar informe". Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa se acciona sobre el botón "Analizar" para ejecutar el análisis.

Análisis de Factor de potencia.

Para realizar el análisis de Factor de potencia se presenta la ventana mostrada en la figura A.4.10.

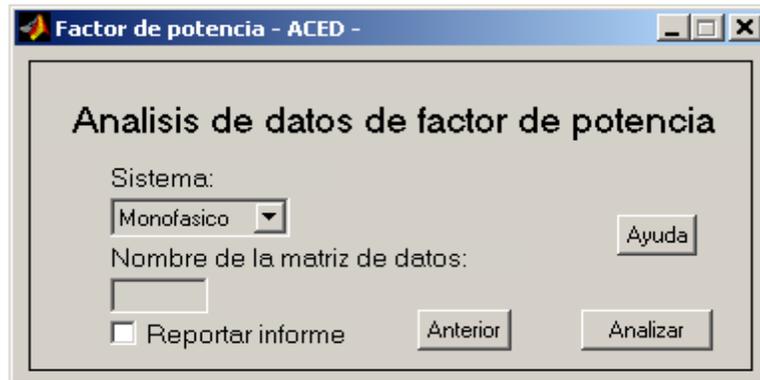


Figura A.4.10 Ventana de Análisis de Factor de potencia.

Descripción:

a) Sistema: Se selecciona si los datos por evaluar corresponden a los de un sistema trifásico o monofásico.

b) Nombre de la matriz de datos: En este campo es necesario ingresar el nombre de la variable donde esta almacenada la matriz de datos por analizar. El nombre y los datos deben ser ingresados desde el espacio de trabajo de MATLAB, sin espacios en blanco, ni comas. Es decir, debe ser un nombre de variable válido dentro del ambiente de MATLAB. Se recomienda un nombre de no más de tres letras. La matriz de datos debe tener una columna si el sistema es monofásico y 3 columnas si es trifásico. Para observar un ejemplo de la definición de variables de datos en MATLAB ver la sección de Manejo de datos.

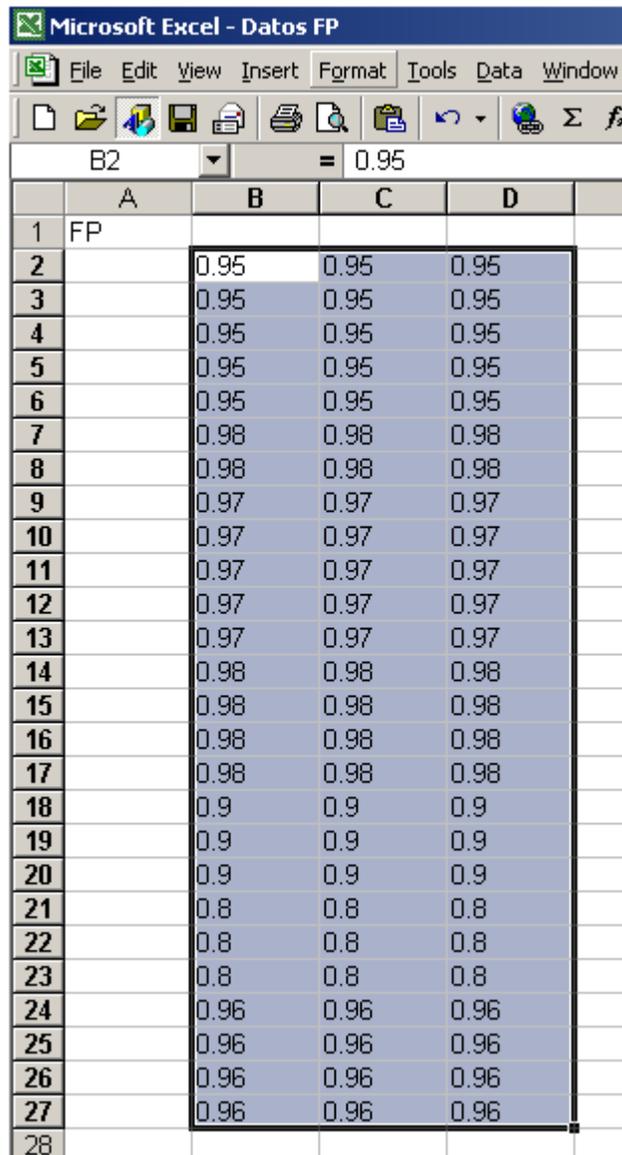
c) Reportar informe: Si se desea generar un reporte en formato HTML se debe de seleccionar la casilla "Reportar informe". Ver la sección de Reporte en formato HTML.

Una vez ingresado el nombre de la matriz de datos y seleccionadas las diferentes opciones del programa, se acciona sobre el botón "Analizar" para ejecutar el análisis.

Manejo de Datos.

A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento necesario para el ingreso de datos al programa ACED desde otras aplicaciones:

1. Se copian los datos desde otro programa como Excel, tal y como se muestra en la figura A.4.11.



The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - Datos FP". The menu bar includes File, Edit, View, Insert, Format, Tools, Data, and Window. The toolbar contains icons for file operations and calculations. The active cell is B2, containing the value 0.95. The spreadsheet has columns A, B, C, and D. Row 1 contains "FP" in column A. Rows 2 through 27 contain numerical data in columns B, C, and D. The data is as follows:

	A	B	C	D
1	FP			
2		0.95	0.95	0.95
3		0.95	0.95	0.95
4		0.95	0.95	0.95
5		0.95	0.95	0.95
6		0.95	0.95	0.95
7		0.98	0.98	0.98
8		0.98	0.98	0.98
9		0.97	0.97	0.97
10		0.97	0.97	0.97
11		0.97	0.97	0.97
12		0.97	0.97	0.97
13		0.97	0.97	0.97
14		0.98	0.98	0.98
15		0.98	0.98	0.98
16		0.98	0.98	0.98
17		0.98	0.98	0.98
18		0.9	0.9	0.9
19		0.9	0.9	0.9
20		0.9	0.9	0.9
21		0.8	0.8	0.8
22		0.8	0.8	0.8
23		0.8	0.8	0.8
24		0.96	0.96	0.96
25		0.96	0.96	0.96
26		0.96	0.96	0.96
27		0.96	0.96	0.96
28				

Figura A.4.11 Ventana de Excel.

2. Se seleccionan únicamente los datos y se copian con “Ctr+Insert” y se ejecuta el programa MATLAB.
3. Se crea la variable desde la ventana de comandos de MATLAB. Ejemplo, para crear una variable llamada “fp” se digita “ fp = []; “.
4. Se pegan los datos dentro de los paréntesis cuadrados con “Shift+Insert”.
5. Se presiona Enter.
6. Se digita el comando “save” desde la ventana de comandos de MATLAB.

Una vez realizados los pasos mostrados anteriormente, entonces las ventanas de usuario del programa ACED tendrán acceso a los datos a través del nombre de la variable, es decir “fp”. De esta manera, se puede llevar a cabo el análisis de los datos.

Reporte en formato HTML.

El programa ACED puede generar reportes de calidad de energía en formato HTML gracias a la herramienta de MATLAB llamada “Report Generator”. Después de ejecutar el análisis de los datos mediante el botón “Analizar” y si el usuario seleccionó la opción de generar reportes, entonces el programa llamará a una ventana semejante al de la figura A.4.12. En este caso, se muestra la ventana de opciones de configuración para el reporte de calidad de voltaje.

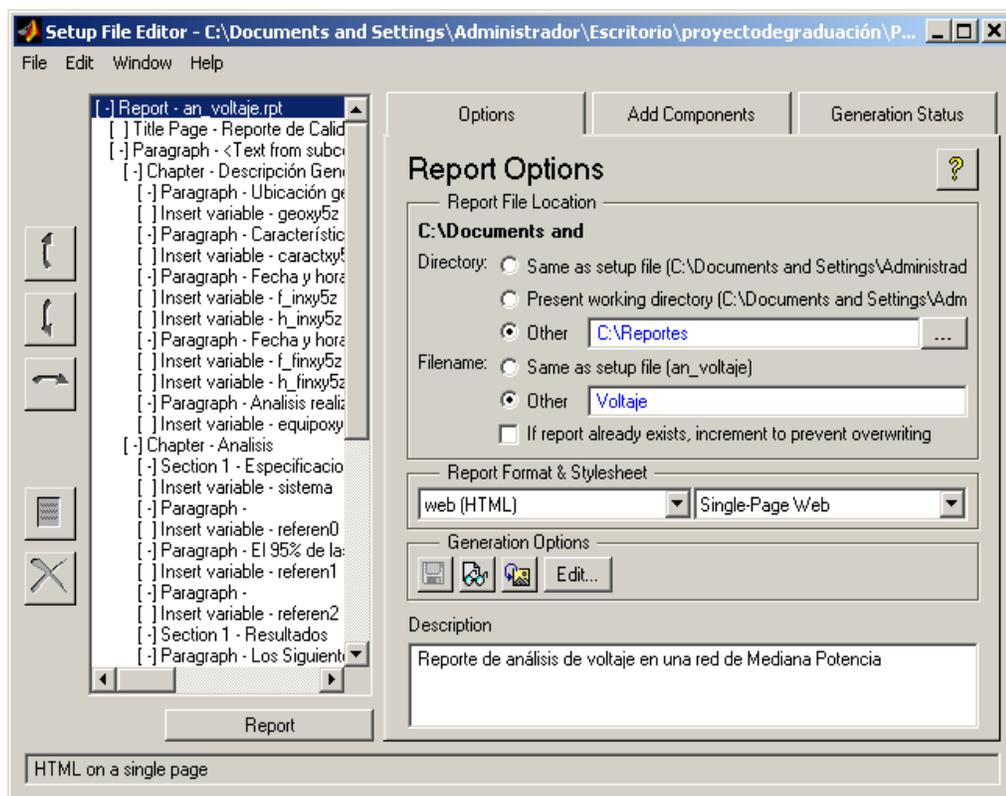


Figura A.4.12 Ventana de Setup File Editor para el Reporte de Calidad de Voltaje.

Opciones del reporte:

Localización del reporte:

a) Directorio: Aquí se debe indicar el directorio donde se almacenará el reporte de calidad. Se presentan 3 opciones, dentro de las que se recomienda la opción “Other” o en español “Otros”. En este caso, se muestra que el reporte será guardado en la dirección “ C:\Reportes “.

b) Nombre del Archivo: Se escoge un nombre para el reporte de calidad. Aquí se recomienda seleccionar la opción “Other” o en español “Otros”. Si se desea, se debe seleccionar la opción de que si el reporte existe, se incremente para evitar que sea sobrescrito.

El paso siguiente es accionar el ratón sobre el botón “Report” y esperar unos momentos mientras se genera el reporte.

Nota 1: Una vez generado el reporte se recomienda cerrar la ventana “Setup File Editor”.

Nota 2: Las figuras o gráficas creadas durante el análisis de los datos no deben ser cerradas hasta después de generar el reporte de calidad.

Nota 3: Se recomienda que cualquier cambio a las otras opciones de configuración del reporte se salve en otro archivo.

Apéndice A.5: Reporte de Calidad de Energía.

Análisis de la Tensión en una red de Media Potencia.



Diseñado por: Johanny Fonseca

Copyright © 2003 by Centro de Servicio Técnico, Región Central. I.C.E.

Tabla de Contenidos

1. Descripción General

2. Análisis

Especificaciones

Resultados

3. Observaciones

1. Descripción General

Ubicación geográfica del Sitio:

San José

Características del Servicio:

Generación

Fecha y hora de inicio de las mediciones:

10/marzo/2003 10:30 am

Fecha y hora de Finalización de las mediciones:

17/marzo/2003 10:30 am

Análisis realizado con el siguiente equipo:

SMS

2. Análisis

Especificaciones.

Los Datos Corresponden a los de un Sistema Trifásico.

Análisis realizado bajo la norma EN 50160 utilizando como voltaje de referencia: 2400 V.

El 95% de las mediciones realizadas en un periodo de 7 días deben respetar los siguientes límites:

El valor máximo de voltaje permitido es: 2640 V.

El valor mínimo de voltaje permitido es: 2160 V.

Resultados

Los Siguietes son los Resultados del Análisis:

La Tensión VL1 Aprobó la norma EN 50160, el porcentaje de las mediciones fuera del rango permitido es de 0%.

La Tensión VL2 Aprobó la norma EN 50160, el porcentaje de las mediciones fuera del rango permitido es de 0%.

La Tensión VL3 Aprobó la norma EN 50160, el porcentaje de las mediciones fuera del rango permitido es de 0%.

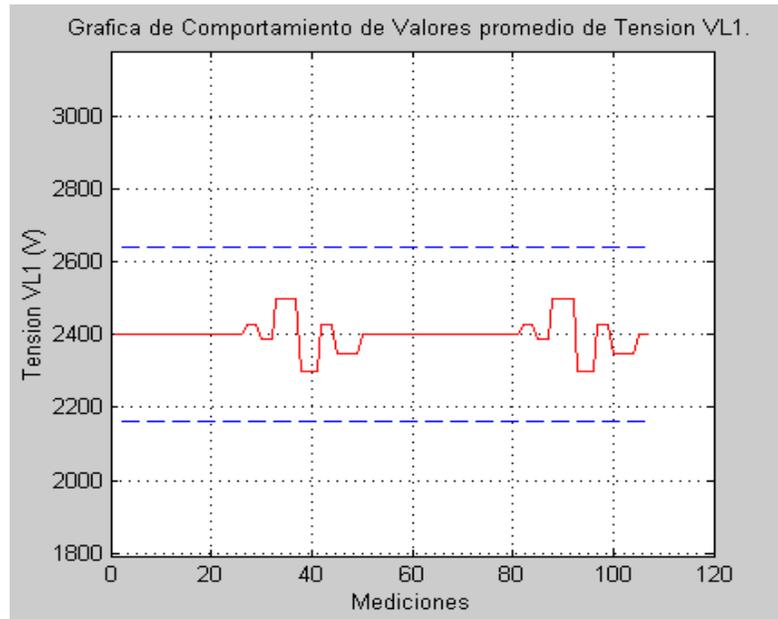


Figura A.5.1 Grafica de Comportamiento de Valores promedio de Tensión VL1.

Las Líneas punteadas en el gráfico de la figura A.5.1 representan los valores límites entre los que puede variar la Tensión VL1.

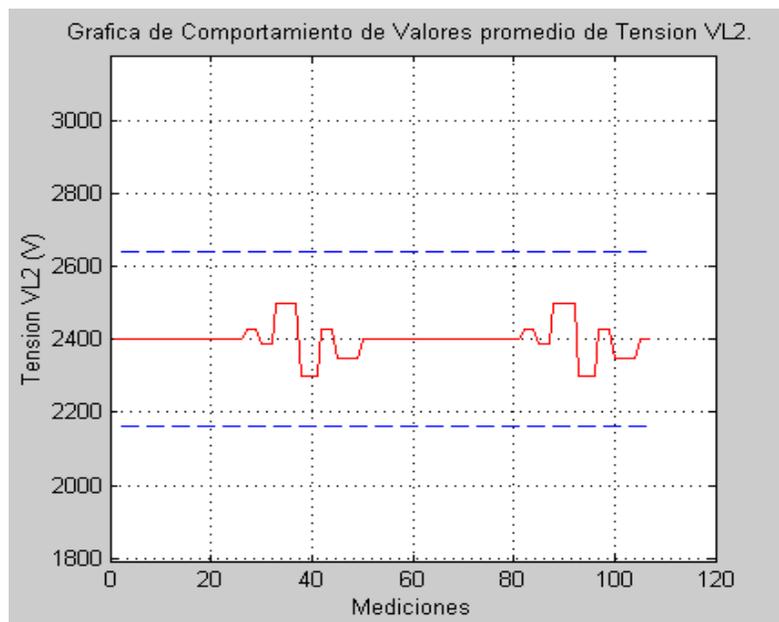


Figura A.5.2 Grafica de Comportamiento de Valores promedio de Tensión VL2.

Las Líneas punteadas en el gráfico de la figura A.5.2 representan los valores límites entre los que puede variar la Tensión VL2.

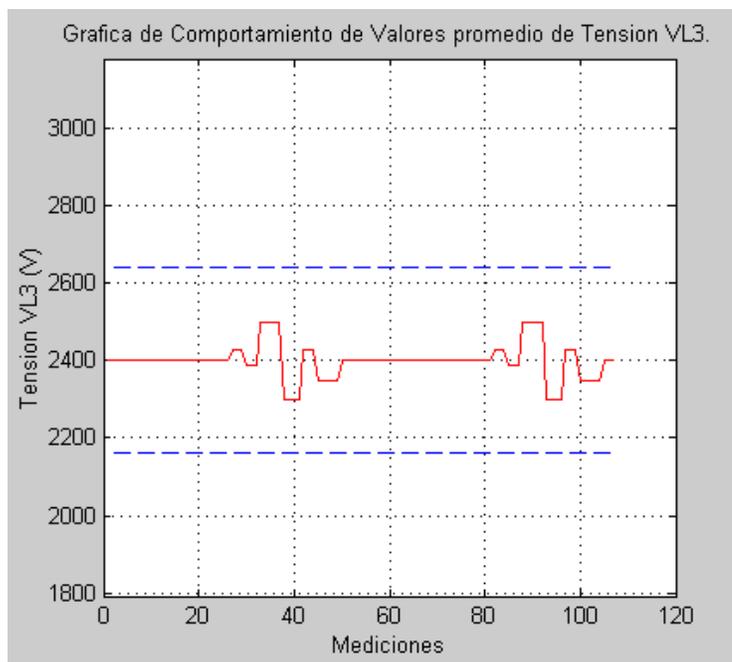


Figura A.5.3 Grafica de Comportamiento de Valores promedio de Tensión VL3.

Las Líneas punteadas en el gráfico de la figura A.5.3 representan los valores límites entre los que puede variar la Tensión VL3.

3. Observaciones

OBSERVACION N1: Análisis realizado con una cantidad de: 107 datos.

OBSERVACION N2: Para que este reporte tenga validez, la cantidad de datos debe ser de al menos: 1008 datos.

Fórmulas.

Desbalance de las tensiones de fase.

Para el cálculo de la máxima componente de secuencia negativa del voltaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Desbalance} = \frac{\text{Componente de secuencia negativa}}{\text{Componente de secuencia positiva}} \quad (1)$$

Flicker.

Para el cálculo de la severidad de larga duración de parpadeo P_{lt} , se usará la siguiente fórmula:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} (P_{sti}^3)/12} \quad (2)$$

Donde:

P_{st} = severidad de corta duración medida en un período de diez minutos, definido por la norma IEC 1000-3-7.

P_{lt} = severidad de larga duración calculada a partir de una secuencia de 12 valores de P_{st} en un intervalo de dos horas.