

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Automatización del Procedimiento para la Calibración del FLUKE 5500A en Ángulo de Fase Usando LABVIEW

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

P R E S E N T A:

ELIZABETH DÍAZ FONSECA



DIRECTORA DE TESIS:

M.I. SANDRA PASCUAL VÁZQUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2007.

Este trabajo se realizó bajo el auspicio del proyecto sectorial CONACYT-CFE 17875

Agradecimientos

Ing. Sergio Ochoa Márquez. *Por su atención en las visitas realizadas, por las dudas resueltas y por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis.*

M. I. Ricardo Garibay Jiménez. *Por la invitación a trabajar en el proyecto, por el apoyo dado y por las asignaturas impartidas.*

M. I. Sandra Pascual Vázquez. *Por el tiempo dedicado a la dirección de esta tesis, por las enseñanzas, por ser un ejemplo en al ámbito profesional*

Dedicatorias

***A mis padres**, Juana Fonseca y Herminio Díaz. Por todo el amor, apoyo y cuidado que siempre me han dado, por el esfuerzo realizado para darme una educación, por el ejemplo de actitud ante los problemas, por enseñarme que para lograr cualquier cosa que me proponga lo más importante es que me decida a hacerlo y que sea constante, por todas sus enseñanzas y porque esto es gracias a ellos.*

***A mis hermanos**, Martín, Marco Antonio y Ana Lilia. Por que cada uno, a su modo, me ha enseñado que hay que trabajar muy fuerte para conseguir lo que me proponga y que no es fácil, pero es mejor cuando se tiene el apoyo y cariño de hermano.*

***A mi tía Gena**. Por cuidarme desde pequeña, por su paciencia, por sus atenciones y por su cariño.*

***A Gerardo Marín**. Por quererme, por apoyarme, por entenderme, por la paciencia y el tiempo de espera cuando tuve trabajo, por todos los buenos momentos, por tus enseñanzas y por estar siempre a mi lado.*

***A los amigos**. Con los que tome clases, con los que hice proyectos, con los que estuve en la biblioteca, con los que pase buenos ratos, con los que hicieron que el trabajo no se sintiera tan pesado.*

A la familia, a mis sobrinos y a todas esas personas que han estado presentes en mi vida, que me han apoyado y se han tomado detalles conmigo.

Índice

Auspicio. ii
Agradecimientos. iii
Dedicatorias. iv
Índice. v
Índice de figuras. vi
Índice de tablas viii
Capítulo 1. Introducción. 1
Capítulo 2. Fundamentos de metrología, medición y calibración. 5
2.1 Antecedentes históricos de la Metrología en México. 6
2.2 Áreas de la Metrología. 7
2.3 Laboratorios de Metrología. 9
2.4 Teoría de la medición. 10
2.5 Calibración. 12
Capítulo 3. Ángulo de fase y su medición. 15
Capitulo 4. Generación y Medición de Ángulo de Fase por medio del FLUKE 5500A y del CLARKE HESS 6000 respectivamente. 24
4.1 Calibrador multifunción FLUKE 5500A (IBC). 25
4.2 Medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 (IPAT). 29
4.3 Procedimiento de calibración de ángulo de fase entre señales tensión-tensión. 31
4.4 Procedimiento de calibración de ángulo de fase entre señales tensión-corriente. 34
Capítulo 5. Automatización del procedimiento de calibración de ángulo de fase. 38
5.1 Diagramas de flujo del programa de automatización del procedimiento de calibración del calibrador FLUKE 5500A en ángulo de fase. 46
5.2 Implementación de los diagramas de flujo para la automatización de la calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A en ángulo de fase usando LABVIEW. 49
5.2.1 Interfaz de usuario. 49
5.2.2 Diagrama de bloques. 56
5.2.2.1 Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500 en ángulo de fase para señales tensión-tensión. 62
5.2.2.2 Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-corriente. 63
5.3 Prueba del programa de automatización del procedimiento de calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales tensión-tensión. 64
5.4 Prueba del programa de automatización del procedimiento de calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales tensión-corriente. 65
Capítulo 6. Conclusiones. 67
Apéndices. 69
A. Sistema Métrico o Sistema Métrico Decimal. 70
B. Sistema Internacional de Unidades. 72
C. Sistema General de Unidades de Medida. 74
Referencias. 76

Índice de Figuras

Figura 1	Metrología de ángulo de fase	9
Figura 1	Trazabilidad e incertidumbre	13
Figura 2	Ángulo de fase entre dos señales	16
Figura 3	Circuito con carga resistiva	17
Figura 4	Circuito con carga reactiva inductiva	17
Figura 5	Circuito con carga reactiva capacitiva.	18
Figura 6	Representación de la potencia activa, reactiva y aparente.	19
Figura 7	Factor de potencia.	19
Figura 8	Medición directa en el osciloscopio.	20
Figura 9	Figuras de Lissajous para diferentes valores de ángulo de fase.	21
Figura 10	Circuito para implementar el método de cruce por cero.	21
Figura 11	Salidas en el método de cruce por cero	22
Figura 12	Diagrama vectorial para determinar el ángulo de fase entre dos señales de tensión.	23
Figura 13	CLARKE HESS 5000.	23
Figura 14	Panel frontal del FLUKE 5500A	27
Figura 15	Panel frontal del FLUKE 5500A	28
Figura 16	Panel frontal del FLUKE 5500A	28
Figura 17	Panel posterior del FLUKE 5500A	29
Figura 18	Panel frontal CLARKE HESS 6000	30
Figura 19	Panel posterior del CLARKE HESS 6000.	31
Figura 21	Conexión entre el IBC y el IPAT para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	32
Figura 20	Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	32
Figura 21	Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	32
Figura 22	Introducción de un valor de frecuencia y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	32
Figura 23	Menú waveform para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.	33
Figura 24	Ingreso de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	33
Figura 25	Ingreso del valor de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión	33
Figura 26	Conexión entre el IBC y el IPAT para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	35
Figura 27	Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	35
Figura 28	Introducción de un valor de corriente y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	35
Figura 29	Introducción de un valor de frecuencia y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	35
Figura 30	Menú waveform para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	36
Figura 31	Ingreso de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	36
Figura 32	Ingreso del valor de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.	36
Figura 33	Arquitectura de la automatización	39
Figura 34	Terminales del bus GPIB y su localización en el conector.	41

Figura 35	Cable NI-PCMCIA-GPIB.	44
Figura 36	Tarjeta NI-PCMCIA GPIB.	44
Figura 37	Tarjetas PCMCIA Tipo I, II y III.	44
Figura 38	Cable NI-GPIB-GPIB	45
Figura 39	Terminales de los conectores de un cable GPIB.	45
Figura 40	Diagrama de flujo para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.	47
Figura 41	Diagrama de flujo para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente	48
Figura 42	Pantalla del VI principal	49
Figura 43	Elección del tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase.	50
Figura 44	Pantalla de selección de los instrumentos involucrados en la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase (tensión-tensión o tensión corriente)	50
Figura 45	Selección del instrumento patrón para la calibración de ángulo de fase	51
Figura 46	Selección del instrumento bajo calibración para la calibración de ángulo de fase	51
Figura 47	Diagrama eléctrico de conexión entre los instrumentos para la calibración de ángulo de fase entre señales tensión-tensión	52
Figura 48	Diagrama eléctrico de conexión entre los instrumentos para la calibración de ángulo de fase entre señales tensión-corriente	52
Figura 49	Pantalla de la calibración en ángulo de fase	53
Figura 50	Tabla de lecturas de la calibración en ángulo de fase entre señales tensión-tensión	54
Figura 51	Tabla de lecturas de la calibración en ángulo de fase entre señales tensión-corriente.	54
Figura 52	Tabla de lecturas en Excel para la calibración en ángulo de fase tensión-tensión	55
Figura 53	Tabla de lecturas en Excel para la calibración en ángulo de fase tensión-corriente	55
Figura 54	Eventos para seleccionar el tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase	56
Figura 55	Eventos para la selección del instrumento	58
Figura 56	Eventos para la selección del instrumento.	59
Figura 57	Árbol de drivers del FLUKE 5500A	60
Figura 58	Panel frontal del driver OPERATE del FLUKE 5500A.	60
Figura 59	Diagrama de bloques del driver OPERATE del FLUKE 5500A.	61
Figura 60	Panel frontal del driver del CLARKE HESS 6000	61
Figura 61	Diagrama de bloques del CLARKE HESS 6000	62
Figura 62	Diagrama de bloque de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-tensión.	62
Figura 63	Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-corriente.	64
Figura 64	Prueba de la calibración en ángulo de fase tensión-tensión	65
Figura 65	Prueba de la calibración en ángulo de fase tensión-corriente	66

Índice de tablas

Tabla 1	División de la Metrología	8
Tabla 2	Formato para registrar lecturas	34
Tabla 3	Relación de estados lógicos y eléctricos	40
Tabla 4	Comandos SCPI	43
Tabla 5	Eventos para seleccionar el tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase	56
Tabla 6	Eventos para la selección de instrumento	57
Tabla 7	Prefijos y Sufijos	70
Tabla 8	Representación en notación científica	71
Tabla 9	Unidades básicas.	72

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad podemos medir magnitudes eléctricas con instrumentos de medición que nos reportan de manera confiable el valor de la variable medida. Para lograr una medición confiable se lleva a cabo la calibración de los instrumentos con los que medimos, esta se define como el procedimiento de comparación entre lo que mide un instrumento bajo prueba (IBP) y un instrumento patrón (IPAT) o de referencia que ha sido calibrado previamente por el fabricante o por un laboratorio certificado.

El envejecimiento de los instrumentos de medición, los cambios de temperatura y el desgaste por el uso deterioran poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede el error y la incertidumbre asociados a una medición aumentan y se requiere que el instrumento se ajuste al valor de sus parámetros de fábrica a través del proceso de calibración del instrumento.

En México la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una de las principales empresas que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica. CFE procura que el servicio que ofrece sea de la más alta calidad y en este intento cuida que sus equipos se calibren, bajo las normas establecidas; esto lo hace a través del Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) ubicado en Irapuato, Guanajuato. Este laboratorio se divide en cuatro gerencias que realizan las siguientes actividades [1]:

Subgerencia de Generación. Ofrece servicios de análisis y diagnóstico en sitios de centrales generadoras, relacionados con pruebas de esfuerzo por cambios de maniobras o por condiciones ambientales. Fallas en transformadores, sistemas eléctricos de emergencia, tuberías de presión, corrosión y recubrimientos. También, efectúa estudios de seguridad radiológica, ingeniería de combustión y tratamiento de agua; evalúa sistemas de enfriamiento, aditivos y turbinas; y realiza mediciones de emulsión de contaminantes y pérdidas térmicas al ambiente.

Subgerencias de Distribución y Subgerencia de Transmisión. Realizan pruebas a componentes y equipos electromecánicos usados en redes y sistemas eléctricos, servicios de ingeniería en redes de transmisión y distribución; y cursos de capacitación especializada a fabricantes.

Subgerencia de Gestión de Calidad. Se encarga de la evaluación y certificación de los suministros, evalúa a proveedores y contratistas de la CFE, elabora bases de datos y dictámenes técnicos de ofertas de licitación, así como prototipos con especificaciones y normativas nacionales e internacionales. Además inspecciona procesos de fabricación, supervisa el montaje de equipo electromecánico, desarrolla y valida procedimientos de calibración.

La Subgerencia de Gestión y Calidad tiene a su cargo el Laboratorio de Metrología, el cual posee instrumentos patrones que son utilizados para calibrar patrones de trabajo utilizados por CFE y otras empresas.

Debido a la alta demanda de los servicios de calibración, se requiere automatizar los procedimientos de calibración para disminuir el tiempo en que se realizan las calibraciones para atender un mayor número de clientes, optimizar la realización de los procesos, mejorar la calidad de la calibración y obtener documentación más exacta y detallada. Con la automatización se permitiría que un mayor número de personas, de un laboratorio de calibración, realicen las calibraciones de acuerdo a la normativa con que se rigen.

La automatización que se presenta en este trabajo, corresponde a la calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A [2].

Un calibrador multifunción FLUKE 5500A, es un instrumento que se utiliza como patrón para realizar calibraciones de instrumentos de medición de diversas variables eléctricas como tensión eléctrica alterna, tensión eléctrica directa, corriente eléctrica alterna, corriente eléctrica directa, resistencia, capacitancia, temperatura, frecuencia, señal senoidal, simulación de temperatura, potencia y ángulo de fase.

El procedimiento de calibración del FLUKE 5500A se realiza de forma manual; los encargados configuran los instrumentos para los diferentes puntos de calibración presionando las teclas necesarias en cada instrumento que interviene en la calibración, ya sea para generar o medir una a una las lecturas de interés. Los resultados obtenidos de la calibración son capturados manualmente en EXCEL para realizar cálculos de error e incertidumbre. Actualmente, la calibración de un instrumento como este se puede llevarse algunos meses.

El ángulo de fase es una diferencia de tiempo entre dos señales de la misma frecuencia, expresada en grados o radianes. En sistemas eléctricos que involucran cargas activas y reactivas es un indicador del aprovechamiento de la energía eléctrica.

Para la calibración de ángulo de fase se generan dos señales con el FLUKE 5500A (tensión-tensión o tensión-corriente), y mide el ángulo de fase entre ellas con un medidor de ángulo de fase, esto para diversos puntos. Las lecturas que se toman realizan se almacenan para elaborar el reporte de calibración.

El objetivo del presente trabajo es realizar el proceso de calibración para ángulo de fase de forma automática por medio de una computadora portátil con una tarjeta de interfaz NI-PCMCIA-GPIB con la que se controlan y adquieren lecturas de los instrumentos a través de un programa desarrollado en LABVIEW; además, se

genera un reporte en EXCEL que contiene las lecturas adquiridas que permitirán elaborar el informe de calibración más adelante.

El método de desarrollo de la automatización se describe a continuación:

1. Análisis del manual de operación del calibrador multifunción FLUKE 5500A para ángulo de fase [2].
2. Análisis de la información que ofrece el fabricante acerca de la operación del medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 [3].
3. Consulta de la Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre de medición para servicios de calibración utilizando generadores de una función o multifunciones [4].
4. Planteamiento de la solución mediante un diagrama de flujo del proceso de calibración.
5. Búsqueda de drivers en LABVIEW del FLUKE 5500A y del CLARKE HESS 6000.
6. Implementación del diagrama de flujo usando LABVIEW.
7. Prueba del programa realizado.

Como resultado se genera un programa en LABVIEW que automatice el procedimiento de calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A para ángulo de fase y que almacene los datos de las mediciones en EXCEL.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA, MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN

2.1 Antecedentes Históricos de la Metrología en México.

A través de la historia el hombre siempre se ha visto en la necesidad de medir y de estandarizar las mediciones [5]. Los primeros hombres dedicaron la mayor parte de su tiempo a la supervivencia; sin embargo, no paso mucho tiempo para que las sociedades primitivas necesitaran "medidas rudimentarias" realizadas utilizando su cuerpo y objetos de sus alrededores como referencias de medida para actividades comunes como construir viviendas de un tamaño y forma apropiados, y para realizar el trueque de alimentos o materias primas. También se vio en la necesidad de hacer mediciones para poder entender los fenómenos naturales a su alrededor y para poder transmitir sus conocimientos.

Conforme las civilizaciones se desarrollaron, las mediciones se volvieron más complejas como consecuencia de la gran diversidad de sistemas de medición; ya que cada persona, pueblo o país decidía con que comparar, por lo que había docenas de diferentes unidades de medida. La longitud, por ejemplo, podía ser medida en pies, pulgadas, millas, palmos, codos, manos, varas, cadenas, leguas, etc.

La invención de los sistemas de numeración y de las Ciencia de las Matemática permitió crear sistemas de medición que satisficieran los problemas de negociación y comercio; sin embargo, la complejidad de las mediciones se incrementó a causa de problemas como división de tierras, pago de impuestos e investigación científica ya que se hacia necesario hacer mediciones exactas, en repetidas ocasiones y diferentes lugares.

A finales del siglo XVII, el gobierno francés buscó aliviar este problema al inventar un sistema de medida que pudiera ser usado en todo el mundo. En 1790, la Asamblea Nacional Francesa encargó a la Academia de Ciencias diseñar un sistema unidades, el sistema que se inventó es conocido como el sistema métrico (Apéndice A).

En 1860 la BASS (del inglés British Association for the Advance of Science, Asociación Británica para el adelanto de las Ciencias), hizo notar la necesidad de un sistema de unidades coherente con las unidades base, (metro y gramo), que a su vez pudiera derivar unidades. Como resultado, en 1874 la BAAS presenta el sistema CGS.

Con este sistema se presenta de nuevo el problema de tener varios sistemas para hacer una medición, por lo que se vuelve a adoptar el sistema métrico decimal en transacciones comerciales, ingeniería, y otras áreas prácticas.

El sistema métrico fue oficialmente denominado SI (del francés Système International d'Unités, Sistema Internacional de Unidades) en 1960; el cual, hoy en día, es usado en casi todos los países, excepto los Estados Unidos (Apéndice B).

Hasta antes de 1856 en México [6], existía el Sistema de Pesas y Medidas heredado de la Colonia, el cual se había formado a partir del uso de medidas andaluzas y castellanas que sustituyeron al sistema prehispánico de medición, del que poco se sabe, y cuya base era el cuerpo humano.

Gracias a que en febrero de 1857 se otorga al Congreso de la Unión la facultad de adoptar un Sistema General de Pesas y Medidas es a partir del mes de marzo de ese mismo año que se adopta el Sistema Métrico Decimal (Apéndice A).

En marzo de 1928, el Congreso de la Unión facultó al Ejecutivo Federal para que legislara en los ramos de pesas y medidas. Para mayo de ese mismo año se emite la Ley Sobre Pesas y Medidas, la cual es derogada en 1961 tomando su lugar la Ley General de Normas y de Pesas y Medidas que estuvo en vigor hasta el año de 1988; cuando entra en vigor la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

En 1992 se deroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicada en 1988 y entra en vigor otra Ley sobre Metrología y Normalización que en la actualidad se encuentra vigente y en la cual se adopta como sistema de unidades el SI que en México se conoce como Sistema General de Unidades de Medida (Apéndice C). En ese mismo año se Funda el Centro Nacional de Metrología (CENAM) [7], laboratorio de referencia del Sistema Nacional de Mediciones de México cuya misión es apoyar a los diversos sectores de la sociedad en la satisfacción de sus necesidades metrológicas, con el establecimiento de patrones nacionales de medición, el desarrollo de materiales de referencia y la diseminación de sus exactitudes por medio de servicios tecnológicos de la más alta calidad, para incrementar la competitividad del país, contribuir al desarrollo sustentable y mejorar la calidad de vida de la población.

2.2 Áreas de la Metrología.

De acuerdo al VIM[1] (Vocabulario Internacional de términos fundamentales y generales de Metrología) la Metrología se define como la ciencia de la medición e incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones*;* cualquiera que sea su incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y tecnología que ocurra [8]. Esta definición resalta que la Metrología contempla aspectos tanto teóricos y prácticos, lo cual sugiere establecer una división conveniente de la metrología (Tabla 1) como metrología científica, industrial y legal [8].

[1] El VIM es el léxico acordado internacionalmente por metrólogos para poder entenderse entre si.

Metrología científica: Su objeto de estudio es el desarrollo y mantenimiento de patrones primarios internacionales o nacionales, que permitan sostener todas las otras actividades metrológicas. Se desarrolla generalmente en institutos o laboratorios oficiales de los distintos países del mundo llamados Institutos Nacionales de Metrología, responsables de realizar y mantener los patrones nacionales de medida en cada país [9].

Metrología industrial o técnica: Consiste en la calibración, el control y el mantenimiento adecuado de todos los equipos de medición empleados en la producción con la finalidad de que se garantice la calidad de los productos y que cumplan con la normatividad vigente. Esto significa que el equipo de medición debe calibrarse periódicamente para conocer la incertidumbre asociada a las mediciones que se hacen con el mismo [10].

Metrología legal: Es la que realiza el Estado para verificar que lo indicado por el fabricante o el comerciante cumple con los reglamentos técnicos y jurídicos que garantizan la exactitud de sus mediciones al consumidor final de los bienes ofertados [11].

División	Área de desarrollo
Metrología Científica	Investigación, desarrollo de teorías y principios
Metrología Industrial (técnica)	Aplicación en producción y control de procesos, desarrollo de métodos y soluciones
Metrología Legal	Normalización, cumplimento de leyes y regulaciones

Tabla 1. División de la Metrología.

En México la Metrología, científica, industrial y legal, en México es controlada por la Secretaria de Economía. La asesoría científica para normar la Metrología científica e industrial la brinda el CENAM. Para normar todo lo referente a instrumentos de medición existe la Norma Oficial Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006 [12] Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que los laboratorios de calibración y prueba necesitan cumplir para demostrar que son técnicamente competentes, que operan con un sistema de calidad y que son capaces de generar resultados técnicamente válidos.

Para asegurar la aplicación de esta norma, el CENAM encabezó la elaboración una serie de Guías Técnicas Sobre Trazabilidad e Incertidumbre de Medición para Servicios de Calibración [4]. Estas guías tienen el propósito de asegurar la

uniformidad y consistencia de los criterios técnicos en la evaluación de la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones.

El área de la Metrología con la cual se relaciona la calibración de ángulo de fase es la Metrología técnica. La división que sugiere [13] se observa en forma simplificada en la figura 1.

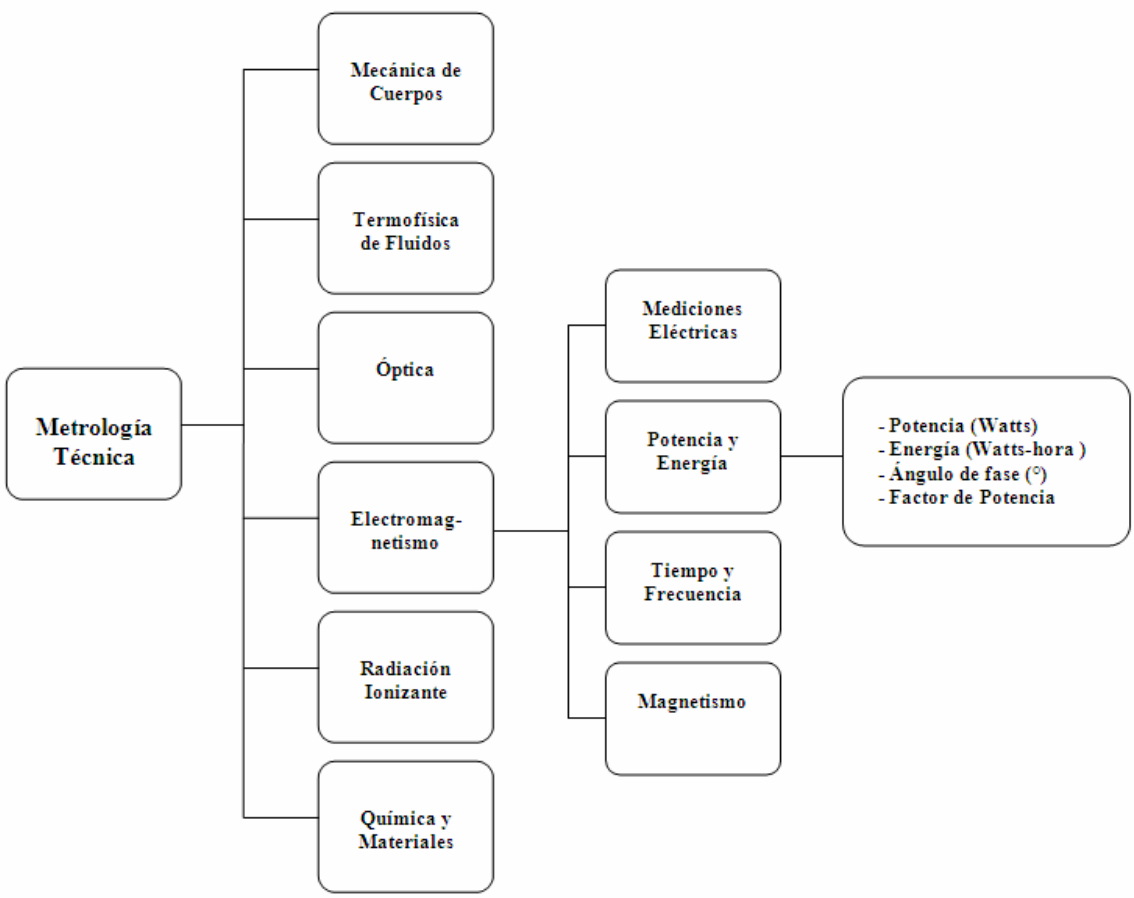


Figura 1. Metrología de ángulo de fase.

2.3 Laboratorios de Metrología.

La Metrología se lleva a cabo en laboratorios [14] donde las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad son monitoreadas y controladas. Los laboratorios de metrología por las funciones que realizan se dividen principalmente en cinco tipos:

Laboratorios primarios o de referencia: Poseen el nivel más alto de metrología, investigan métodos de calibración más exactos, realizan la calibración de los patrones primarios y secundarios. En México el CENAM es un laboratorio de referencia.

Laboratorios secundarios: Se dedican a la calibración de patrones secundarios y patrones de trabajo. Realizan calibraciones de mediana exactitud que requieren técnicas especializadas para llevarse a cabo. Un ejemplo de laboratorio secundario es el LAPEM.

Laboratorios de investigación: Estos laboratorios requieren los patrones más exactos para el desarrollo de sus actividades. Por ejemplo CCADET (Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico).

Laboratorios de calibración: Realizan calibraciones en procesos industriales de alto volumen en los que se requiere que la calibración se realice los más rápido posible y de la mejor calidad, los patrones que utilizan son calibrados en laboratorios primarios o secundarios. Un ejemplo de este tipo es el laboratorio de Cervecería Modelo.

Laboratorios móviles: Realizan calibraciones donde se encuentren los instrumentos a calibrar. Por ejemplo LAPEM, METAS (Metrólogos Asociados).

2.4 Teoría de la Medición.

La **medición** es un proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores de un **mesurando**, magnitud sujeta a medición, que pueden atribuirse a una magnitud de acuerdo a una comparación con una magnitud de referencia de la misma especie. El **valor medido** o **resultado de la medición** es una expresión cuantitativa de una magnitud, representada como una unidad de medición multiplicada por un número, se expresa como un valor único y con una incertidumbre asociada a la medición.

Puesto que un valor verdadero de una medición no puede ser determinado, en la práctica se utiliza el concepto de **valor convencionalmente verdadero**, que es el valor aceptado y atribuido a una magnitud particular y por convención es un valor que tiene una incertidumbre apropiada para un propósito dado. Por ello, todo resultado de una medición presenta una diferencia entre el valor medido y el valor convencionalmente verdadero que se conoce como **error absoluto.** El parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mesurando, se le conoce como **incertidumbre de la medición**. Cuando una medida ofrece una incertidumbre menor con respecto a otra medición se dice que es más exacta.

Para medir una variable determinada, la Metrología establece diferentes **métodos de medición** que son una descripción genérica de una organización lógica de operaciones usadas en una medición. Los métodos de medición se clasifican en: directos, indirectos, por sustitución y por nulo o por cero [15].

En la medición por **métodos directos** se obtiene un valor en unidades del mensurando mediante un instrumento que se coloca directamente al fenómeno que se mide, en tanto que en la medición por **métodos indirectos** se obtiene el valor del mesurando mediante la trasformación (conversión, señales de medición o magnitudes de influencia) de una variable medida.

En el **método por sustitución** se utiliza un equipo auxiliar, llamado comparador con el que se mide inicialmente el mesurando y luego un valor de referencia, para posteriormente obtener un error de medición de las dos mediciones realizadas. En el método de **medición por nulo o cero** se utiliza un detector de nulos o equilibrio, el cual permite comprobar la igualdad entre el mesurando y un valor de referencia.

En la actualidad se tienen **instrumentos de medición** que son dispositivos destinados a ser utilizados para hacer mediciones. Pueden usarse solos o en conjunto con dispositivos suplementarios, para hacer sistemas de medición.

Los instrumentos de medición se caracterizan con los siguientes parámetros:

Alcance: Conjunto de valores del mesurando para los cuales se supone que el error de un instrumento de medición se encuentra dentro de los límites especificados [16].

Intervalo de medición (del inglés range): Módulo de la diferencia entre los límites de un alcance [17].

Resolución: Mínima diferencia de indicación de un instrumento de medición, que puede ser percibida de manera significativa [17]. Para un instrumento de medición digital es la diferencia de indicaciones que corresponde al cambio de unidad de la cifra menos significativa [16].

Deriva: Es una variación del valor de la magnitud medida en un instrumento que no es debida a una variación de una magnitud de influencia identificada [17].

Exactitud: Aptitud de un instrumento de medición de dar respuestas próximas a un valor verdadero [17].

Clase de exactitud: clasificación cualitativa de los instrumentos de medida que satisfacen determinadas exigencias metrológicas destinadas a conservar los errores dentro de límites especificados. Una clase de exactitud se indica habitualmente por un número o símbolo adoptado por convención y denominado índice de clase [18].

Precisión: Proximidad de concordancia entre valores medidos obtenidos de mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones

específicas. La precisión de una medición usualmente se expresa en forma numérica por medidas estadísticas como la desviación estándar y la varianza [17].

2.5 Calibración

Un instrumento de medición puede ofrecer lecturas con incertidumbre y error fuera de los límites establecidos por el fabricante debido al uso, al envejecimiento y a los cambios de temperatura que sufre. Por ello, periódicamente se realizan calibraciones a los instrumentos de medición.

La **calibración** de un instrumento de medición es un proceso de comparación entre el valor de una magnitud indicado por un instrumento patrón y el valor indicado en el instrumento de medición. Un **instrumento patrón** es aquel que ofrece una incertidumbre asociada a una medición menor a la del instrumento que se va a calibrar.

Un laboratorio que realiza calibraciones, requiere calibrar los instrumentos patrones con que trabaja, y la calibración debe realizarse en otro laboratorio que cuente con un instrumento patrón de menor incertidumbre que la del instrumento a calibrar. Esta cadena de referencias recibe el nombre de **cadena de trazabilidad.**

La **trazabilidad** [16] es la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón tal que esta pueda ser relacionada a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena in-interrumpida de comparaciones (cadena de trazabilidad) teniendo cada patrón una incertidumbre asociada a las mediciones que ofrece (fig. 2). El prepósito de que los resultados de una medición tengan trazabilidad es asegurar que la confiabilidad de los mismos, expresada cuantitativamente por la incertidumbre asociada a ellos, se conozca en términos de la confiabilidad que poseen los patrones nacionales e internacionales de medición referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones .

Existen diferentes métodos establecidos por los laboratorios para llevar a cabo la calibración de un instrumento de medición: Por comparación directa, por transferencia, por sustitución, por simulación y por puntos fijos [15].

En la **calibración por comparación directa** se comparan directamente e instantáneamente los valores proporcionados por el instrumento de medición bajo calibración contra los valores proporcionados por el instrumento patrón.

En la **calibración por transferencia** se comparan los valores proporcionados por el instrumento bajo calibración contra los valores proporcionados por un

instrumento patrón, a través de un patrón de transferencia que es un patrón utilizado como intermediario para realizar comparaciones.

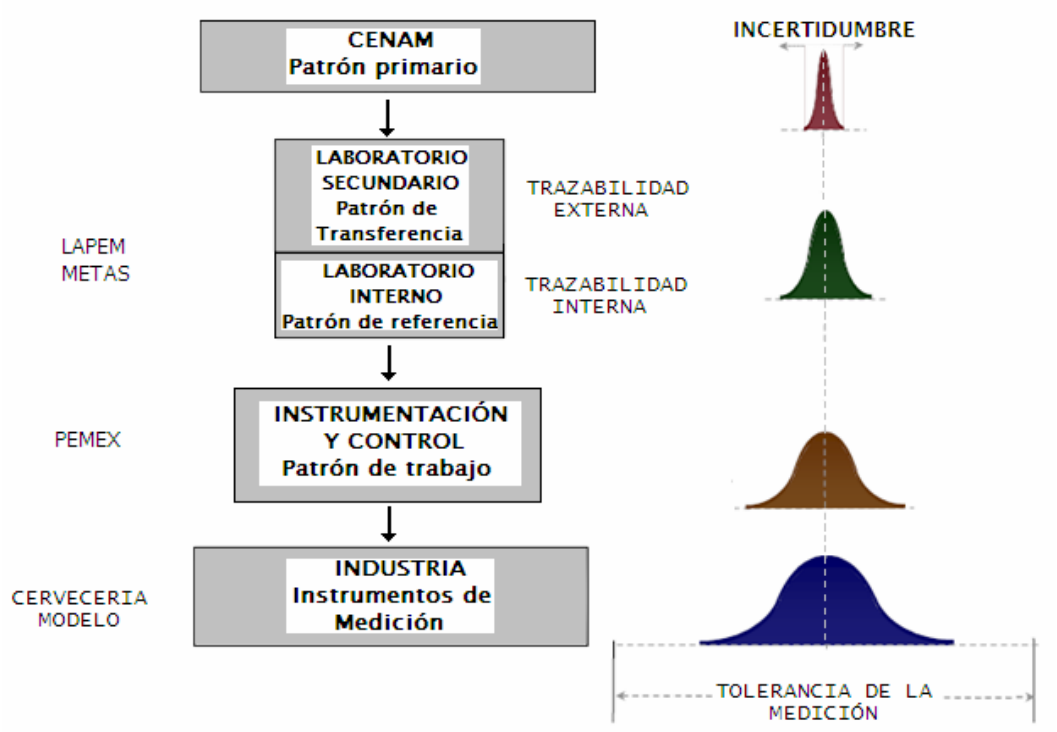


Figura 2. Trazabilidad e incertidumbre.

En la **calibración por sustitución** se utiliza un equipo auxiliar con el que inicialmente se mide el patrón y luego el instrumento bajo calibración.

En la **calibración por simulación** se simula el mesurando (magnitud obtenida del instrumento bajo calibración) con base en un modelo de relación de respuesta contra estímulo. Luego se hace una calibración directa de cada variable con el instrumento bajo calibración.

Por último en la **calibración por puntos fijos** el patrón utilizado genera una constante fundamental o derivada mediante la reproducción de fenómenos físicos o químicos.

El resultado final de un proceso de calibración es la realización de un informe. Cuando el documento lo expide un laboratorio secundario recibe el nombre de **informe de calibración** y cuando lo expide un laboratorio primario recibe le nombre de **certificado de calibración**.

El tener un instrumento calibrado no significa que este midiendo con un error e incertidumbre adecuados, significa solamente que la diferencia entre lo que el instrumento indica y lo que debería indicar es conocida.

Con la información que ofrece el informe de calibración es posible hacer ajustes en el instrumento de medición que ha sido calibrado, con el fin de que ofrezca lecturas con valores de error e incertidumbre adecuados.

En México, de acuerdo a la norma NMX-IMNC-17025-2006 [12] el certificado o informe de calibración debe contener como mínimo lo siguientes puntos: Título del informe, nombre y dirección del laboratorio y localidad donde se efectuó la calibración, identificación única del informe o certificado y de cada una de sus páginas, nombre y dirección del cliente, identificación del método usado, descripción, condición e identificación del elemento calibrado, fecha de calibración, resultados de la calibración, firmas de los signatarios autorizados para hacer la calibración, la declaración de que los resultados se relacionan únicamente con el elemento calibrado.

CAPÍTULO 3. ÁNGULO DE FASE Y SU MEDICIÓN

El **ángulo de fase** [19] es una diferencia de tiempo, entre dos señales (senoidales, cuadradas, triangulares o diente de sierra). La diferencia de tiempo es una porción del periodo de la señal y se expresa en grados o radianes, y sólo tiene sentido si las dos señales que se comparan tienen la misma frecuencia. Para medir esta diferencia de tiempo es común tomar como referencia los valores máximo o mínimo o el cruce por cero de las señales (fig. 3).

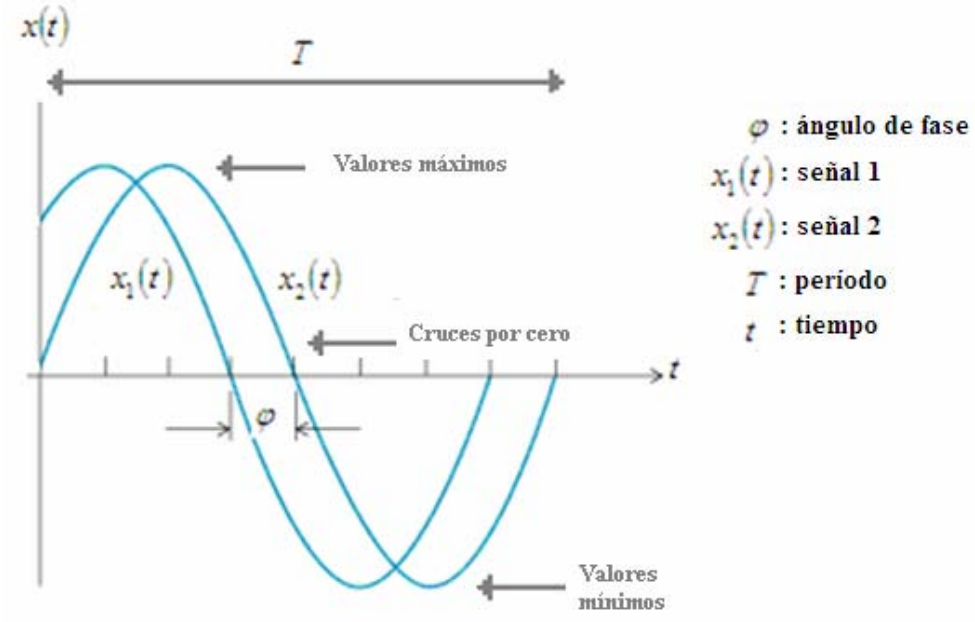


Figura 3. Ángulo de fase entre dos señales.

En un circuito el ángulo de fase entre la señal de tensión eléctrica y corriente depende del tipo de carga conectada al circuito, ya sea resistiva, reactiva inductiva, reactiva capacitiva o resistiva-reactiva.

Para un circuito con carga resistiva (fig. 4) se observa que las señales están en fase ($\varphi = 0$), esto es, cambian de polaridad en el mismo instante en cada ciclo. Las cargas resistivas pueden encontrarse en equipos como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica.

En un circuito con carga reactiva inductiva (fig. 5) como transformadores, motores de inducción y en general cualquier tipo de inductancia, provocan que la corriente este atrasada con respecto a la tensión; el ángulo de fase toma el valor de -90°. Una carga reactiva capacitiva (fig. 6), como bancos de capacitores o líneas de transmisión, provocan que la corriente este adelantada con respecto a la tensión en 90°.

En la práctica es más común encontrar cargas resistivas y reactivas, que por separado. Cuando $\varphi \approx 0$ se dice que el circuito es fuertemente resistivo y cuando $\varphi \approx \pm 90^{o}$ se dice que el circuito es fuertemente reactivo.

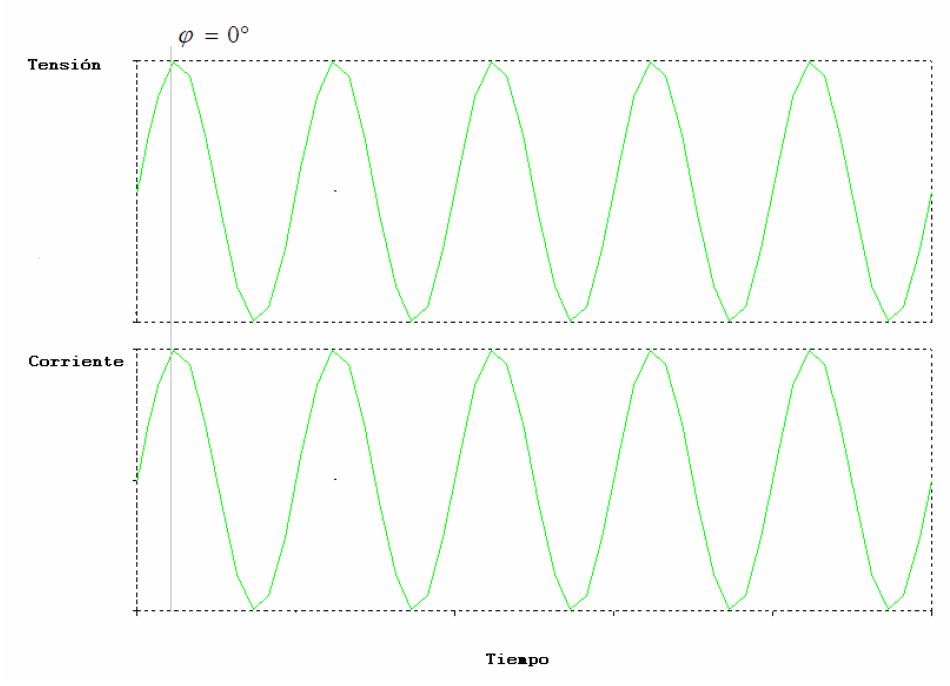


Figura 4. Circuito con carga resistiva.

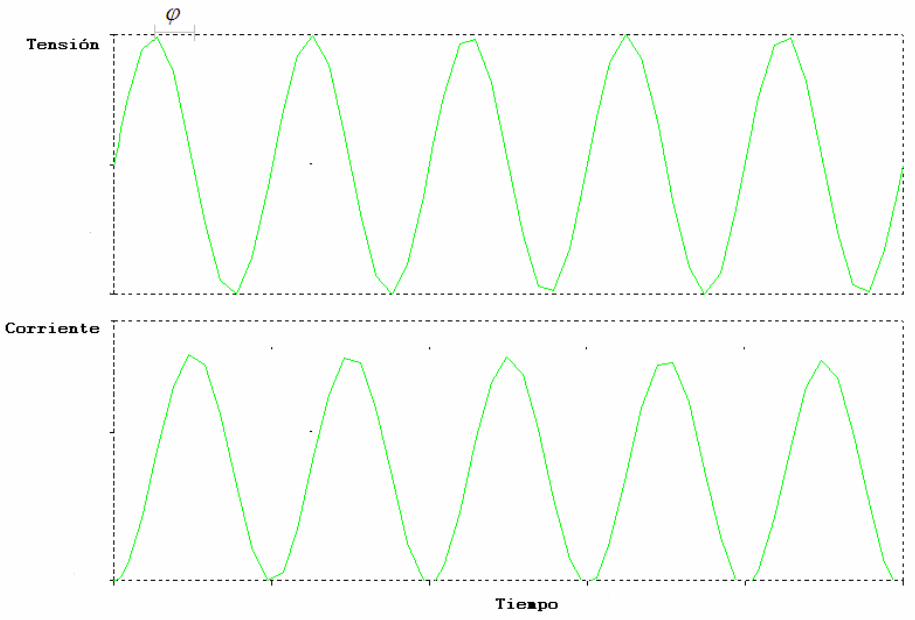


Figura 5. Circuito con carga reactiva inductiva.

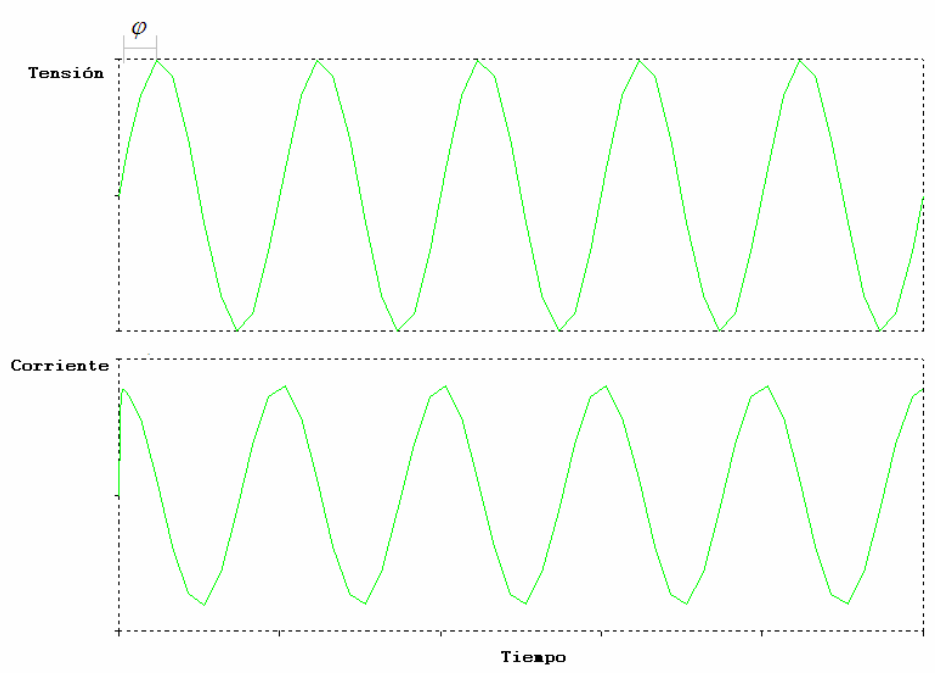


Figura 6. Circuito con carga reactiva capacitiva.

El concepto de ángulo de fase esta estrechamente ligado con los conceptos de potencia y factor de potencia. Los cuales se describen a continuación para entender la importancia de la medición de ángulo de fase.

De acuerdo a [20] la potencia es la cantidad de energía entregada o absorbida en cierto tiempo. En los circuitos de corriente alterna, se presentan generalmente tres tipos de potencia (fig. 7) y sus características más relevantes son [21]:

La **potencia activa (P):** Es la energía que se consume en el circuito. Su unidad es el Watt (W). Esta energía es capaz de producir trabajo útil y los diferentes dispositivos eléctricos que la consumen la convierten en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, quimica, etc.

La **potencia reactiva (Q)**: Aparece en los circuitos de corriente alterna cuando existen inductores y capacitores. No es consumida por el circuito, razón por la que interesa reducirla al máximo. Su unidad es el Volt-Ampere Reactivo (VAR). Las cargas reactivas además de consumir potencia activa para producir un trabajo, requieren potencia reactiva para generar el campo magnético para su propio funcionamiento.

La **potencia aparente (S)**: Es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Ésta es la que determina el valor de la corriente que va a circular por el circuito. Su unidad es el Volt-Ampere (VA).

De la relación entre la potencia activa y la potencia aparente se define el fp (factor de potencia) [22].

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{VI\cos\varphi}{VI} = \cos\varphi \ldots(1)$$

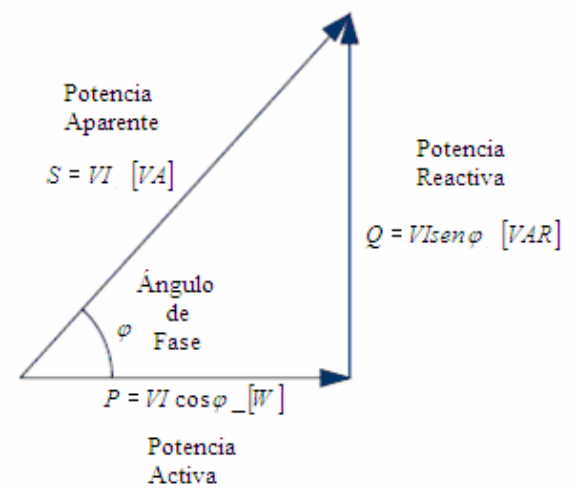


Figura 7 .Representación de la potencia activa, reactiva y aparente.

El fp (fig. 8) es utilizado como indicador del aprovechamiento correcto de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1. Un fp de 1 indica una eficiencia de aprovechamiento de la energía del 100%.



Figura 8. Factor de potencia.

En México, de acuerdo a la tarifa y al Diario Oficial de la Federación del día 10 de noviembre de 1991 [23], cuando el factor de potencia toma un valor inferior a 0.9 el suministrador de energía eléctrica tiene derecho a cobrar al usuario una penalización o cargo. Por lo tanto es importante que el ángulo de fase sea menor a 25.8º $(\varphi = ang\cos 0.9 = 25.8^{\circ})$.

Otras consecuencias de consumir energía eléctrica con ángulo de fase mayor o igual a 25.8º son:

- Circulación excesiva de corriente eléctrica.
- Pérdida de potencia debida al calentamiento de cables y embobinados de transformadores.
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución por consumo excesivo de corriente o que reduce su vida útil, debido a que estos equipos se diseñan para un valor de corriente de operación determinado.

Para realizar la **medición de ángulo de fase** se han desarrollado los siguientes métodos: Medición en el osciloscopio (directa o por figuras de Lissajous), método de cruce por cero, método de los tres voltmetros y a través de instrumentos patrones para la medición de ángulo de fase.

La **medición directa en el osciloscopio** (fig. 9) [24] consiste de los siguientes pasos: Poner ambos canales con una misma referencia de tensión utilizando la tecla o perilla GND del osciloscopio, posteriormente se conectan las señales en cada una de las entradas del osciloscopio, después se ponen ambos canales en modo AC, se ajusta las escalas de amplitud y tiempo para lograr una mejor visualización, se mide la diferencia de tiempo (Δt) entre las señales y se aplica la ecuación (2) para obtener el ángulo de fase en grados o la ecuación (3) para obtenerlo en radianes.

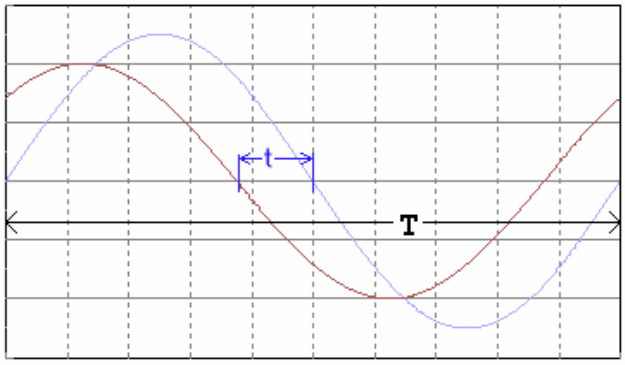


Figura 9. Medición directa en el osciloscopio.

$$\varphi = \frac{(\Delta t)(360^{\circ})}{T} \quad ...(2)$$

$$\varphi = \frac{(\Delta t)(2\pi)}{T} \quad ...(3)$$

Siendo T el número de divisiones correspondientes al periodo de las señales y Δt el número de divisiones correspondientes a la diferencia de fase entre las dos señales. Este método puede aplicarse a cualquier señal periódica.

Otro método que permite determinar el ángulo de fase entre dos señales es el de las **Figuras de Lissajous** [24] para poder observarlas el osciloscopio debe operar en el modo XY, las dos señales se conectan en los canales 1 y 2 respectivamente. La figura que se observa tiene forma de elipse, y su tamaño depende del ángulo de fase entre las señales (fig. 10). Para determinar el ángulo de fase se mide con respecto al eje vertical la máxima amplitud de la elipse (H) y su intersección con este eje (Y), y se utiliza la ecuación (4).

$$\varphi = angsen\frac{Y}{H} \ldots(4)$$

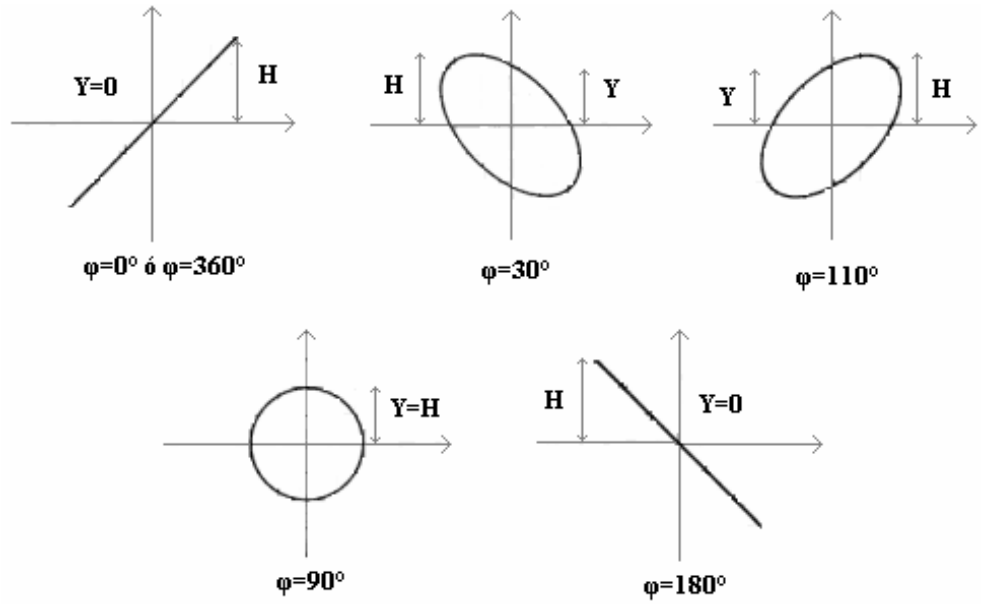


Figura 10. Figuras de Lissajous para diferentes valores de ángulo de fase.

Uno de los métodos más utilizados es el **método de cruce por cero** [24] debido a que permite realizar mediciones con una incertidumbre asociada menor o igual a 0.02°.

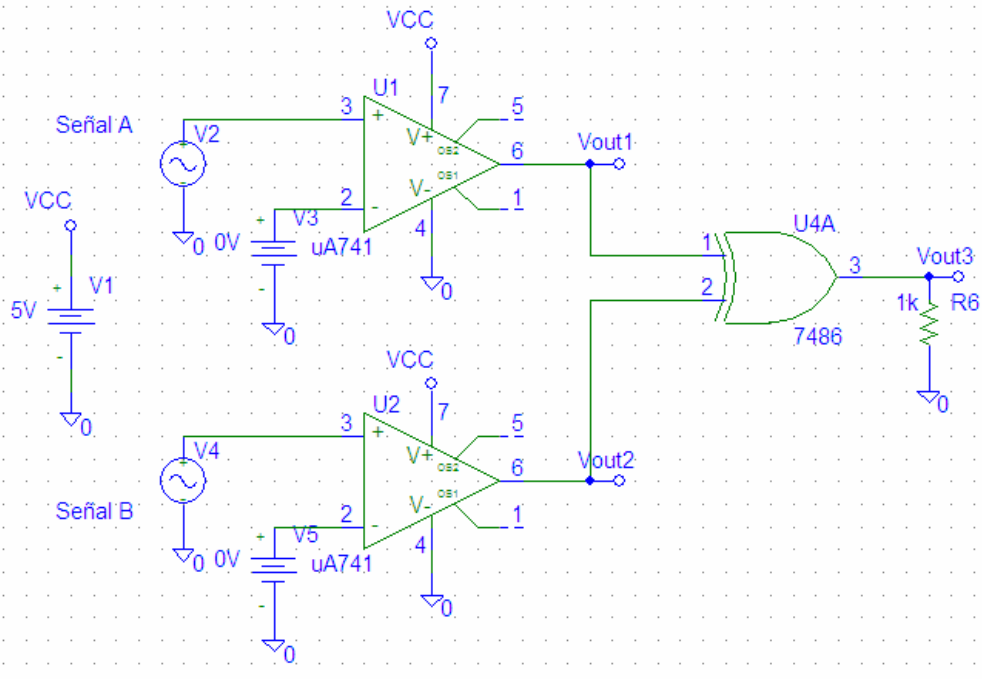


Figura 11. Circuito para implementar el método de cruce por cero.

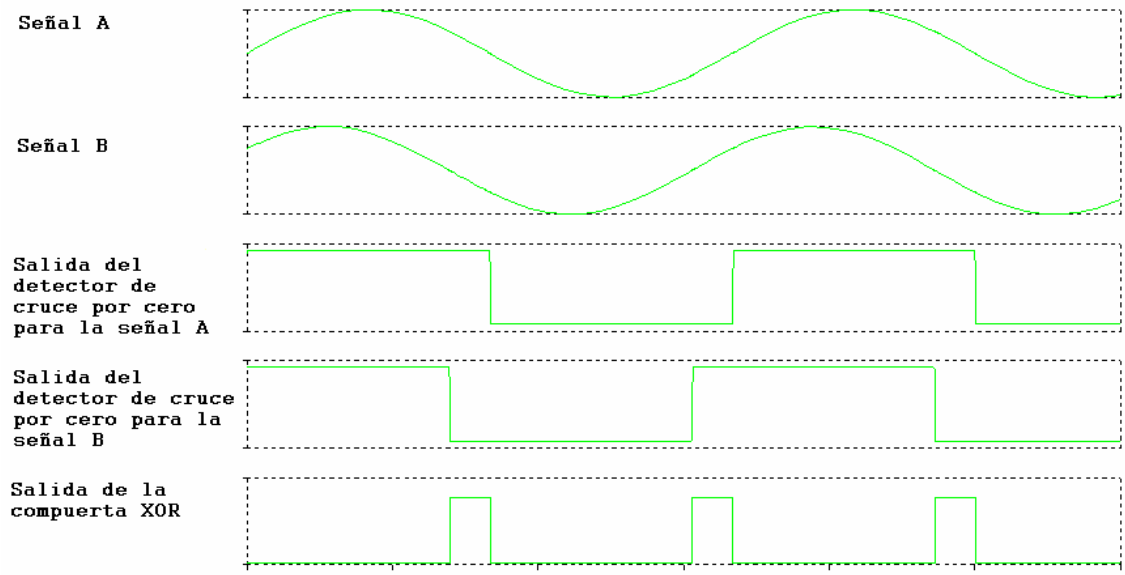


Figura 12. Salidas en el método de cruce por cero

La figura 11 se muestra un circuito para implementar este método y en la figura 12 se muestran las salidas que se obtienen en este método, se observa que se trabaja con dos señales A y B de la misma frecuencia que pueden ser de igual o diferente amplitud. Cada una de estas señales entra en un detector de cruce por cero, que genera un pulso rectangular en cada ciclo de la señal (el inicio y fin de cada pulso lo determinan los cruces por cero). Ambos pulsos entran una compuerta lógica XOR (o un flip-flop RS) y a la salida de este se obtiene un pulso rectangular cuyo ancho de pulso es proporcional al ángulo de fase entre las dos señales.

Para un sistema trifásico, el **método de los tres voltmetros** [24] se utiliza para medir el ángulo de fase entre dos señales de tensión v_{ca} y v_{bc}, a partir de una tensión de referencia v_c. Este método consiste en medir con tres voltmetros las tensiones v_{ba}, v_{bc} y v_{ca} y con las lecturas obtenidas realizar un diagrama vectorial (fig. 13).

El ángulo de fase entre los vectores v_{ca} y v_{bc} se determina utilizando las Ley del coseno (5).

$$v_{ba}^2 = v_{bc}^2 + v_{ca}^2 - 2v_{bc}v_{ca}\cos\varphi \quad ...(5)$$

Despejando φ de (5) se obtiene la siguiente expresión:

$$\varphi = ang\cos\left(\frac{v_{bc}^2 + v_{ca}^2 - v_{ba}^2}{2v_{bc}v_{ca}}\right) \quad ...(6)$$

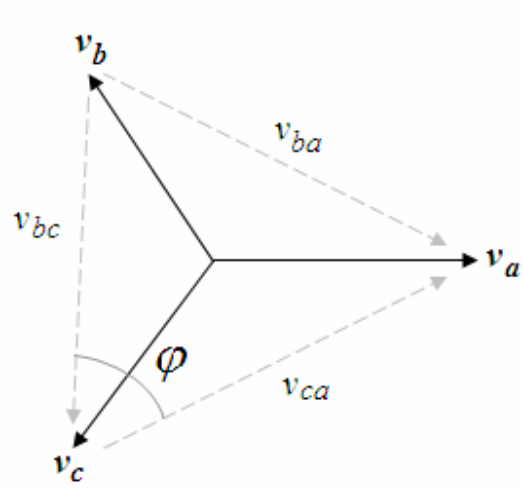


Figura 13. Diagrama vectorial para determinar el ángulo de fase entre dos señales de tensión.

En el mercado existen diferentes marcas e instrumentos para medir ángulo de fase en particular para realizar mediciones de alta precisión y para realizar calibraciones; existen **instrumentos patrones para la medición de ángulo de fase** [24] como el CLARKE HESS 5000 (fig. 14) para este instrumento las dos señales pueden tener frecuencias desde $1Hz$ a $100kHz$, las amplitudes pueden varias desde $50mV$ hasta $120Vrms$, la fase se puede fijar con una resolución de 0.001º con una exactitud de 0.003º.



Figura 14. CLARKE HESS 5000.

CAPÍTULO 4. GENERACIÓN Y MEDICIÓN DE ÁNGULO DE FASE POR MEDIO DEL FLUKE 5500A Y DEL CLARKE HESS 6000, RESPECTIVAMENTE

A continuación se describirá el procedimiento para calibrar el calibrador multifunción FLUKE 5500A para la magnitud de ángulo de fase utilizando como instrumento patrón el medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000.

Este procedimiento se realizó con base en la *Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre de medición para servicios de calibración utilizando generadores de una función o multifunciones* [4] así como los manuales de operación del calibrador multifunción FLUKE 5500A [2] y del medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 [3].

El procedimiento consiste en generar dos señales con el calibrador multifunción FLUKE 5500A (tensión-tensión o tensión-corriente) de la misma amplitud y ángulo de fase determinado. El ángulo de fase se mide con el CLARKE HESS 6000 y se registran las lecturas adquiridas en EXCEL.

Por simplicidad al calibrador multifunción FLUKE 5500A se le llamará instrumento bajo calibración (IBC) y al medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 (IPAT).

4.1 Calibrador multifunción FLUKE 5500A (IBC)

El calibrador multifunción FLUKE 5500A [2] es un instrumento que se usa para calibrar una gran variedad de instrumentos de medición de variables eléctricas ya que genera:

- Tensión eléctrica continua con valores desde 0V hasta $\pm 1020V$
- Tensión eléctrica alterna con valores desde $1mV$ hasta $1020V$ con a frecuencias que van desde $10Hz$ hasta $500Hz$
- Corriente continua con valores de $0A$ a $\pm 11A$
- Corriente alterna con valores desde $0.01\mu A$ a $+11A$
- Resistencia eléctrica con valores de 0Ω a $330M\Omega$
- Capacitancia con valores de $330\,pF$ a $1100\mu F$
- Simulación de tres tipos de RTD´s
- Simulación de nueve tipos de termopares
- Salidas simultáneas de tensión eléctrica alterna-corriente alterna y tensión eléctrica alterna-tensión eléctrica alterna, las cuales pueden desfasarse de 0.15º a 360º.

A continuación se mencionan algunas características adicionales que lo hacen un instrumento versátil son:

- Realiza cálculo de error cuando se utiliza para calibrar otros instrumentos.
- Fija los límites de valores de entrada con el fin de no dañar el instrumento.

- Permiten incrementar o disminuir el valor de la salida diez veces, dentro de los límites de operación permitidos en el instrumento, a través de las teclas MULT y DIV respectivamente.

Este instrumento opera en modo local o modo remoto. La operación en modo local se hace a través del panel frontal del instrumento y la operación en modo remoto se hace a través de la interfaz GPIB (del Inglés General Purpose Interface Bus, Bus de Interfaz de Propósito General).

Cuando el instrumento trabaja en modo remoto no responde a las teclas del panel frontal, sólo al menú que pone al instrumento en modo local.

Cuando se trabaja en modo local los controles, indicadores y bornes de conexión del panel frontal (fig. 15-17) tienen las funciones siguientes:

Indicadores

1. Pantalla de salida: Despliega los valores la frecuencia, las amplitudes de salida y el estado de operación del instrumento.
2. Pantalla de mando: Despliega los valores que se ingresan para generar una señal de salida.

Controles

3. STBY Pone al calibrador modo de espera (standby). En este modo las terminales de salida NORMAL y AUX se desconectan internamente del instrumento. El instrumento se encuentra en este modo cuando es encendido.
4. OPR Pone al calibrador en modo de operación (operate). En este modo las terminales de salida NORMAL y AUX se conectan internamente al instrumento. En este modo se genera una señal o dos señales con los valores introducidos en las terminales de salida NORMAL y AUX
5. EARTH Conecta y desconecta internamente la terminal de salida NORMAL LO y la tierra física.
6. PREV MENU Regresa al menú de opciones anterior.
7. Teclas identificadas por etiquetas en la pantalla de mando. Su función cambia a través de la operación de instrumento.
8. NEW REF Esta tecla se ilumina cuando ocurre un error en la operación del instrumento.
9. SETUP Pone al calibrador en modo de configuración

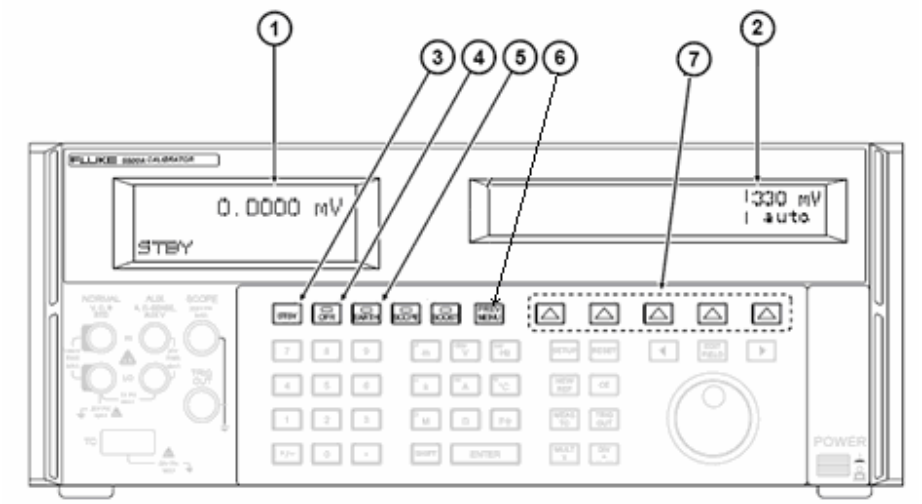


Figura 15. Panel frontal del FLUKE 5500A.

10. RESET Aborta la operación que se encuentra realizando el instrumento y regresa al estado inicial de encendido.
11. CE Limpia la información introducida en la pantalla de mando.
12. ◄ EDIT FIELD ► Ajusta gradualmente el valor de la salida
13. Enciende y apaga el instrumento
14. DIV ÷ Disminuye diez veces el valor de la salida previamente introducida, dentro de los límites de operación permitidos en el instrumento.
15. MULT X Incrementar diez veces el valor de la salida previamente introducida, dentro de los límites de operación permitidos en el instrumento.
16. Define la variable (tensión eléctrica, corriente, frecuencia, etc.) que genera el instrumento.
17. μ m n K P M Selecciona un prefijo o sufijo por el cual se quiera multiplicar la variable a generar.
18. ENTER Despliega en la pantalla de salida las entradas introducidas en la pantalla de mando.
19. SHIFT Selecciona funciones adicionales que están etiquetas con letras pequeñas en al esquina superior izquierda de las teclas 16 y 17.
20. El teclado numérico sirve para introducir el valor de señal a generar.
21. +/- Cambia la polaridad de la salida para las variables de tensión eléctrica continua o corriente continua.

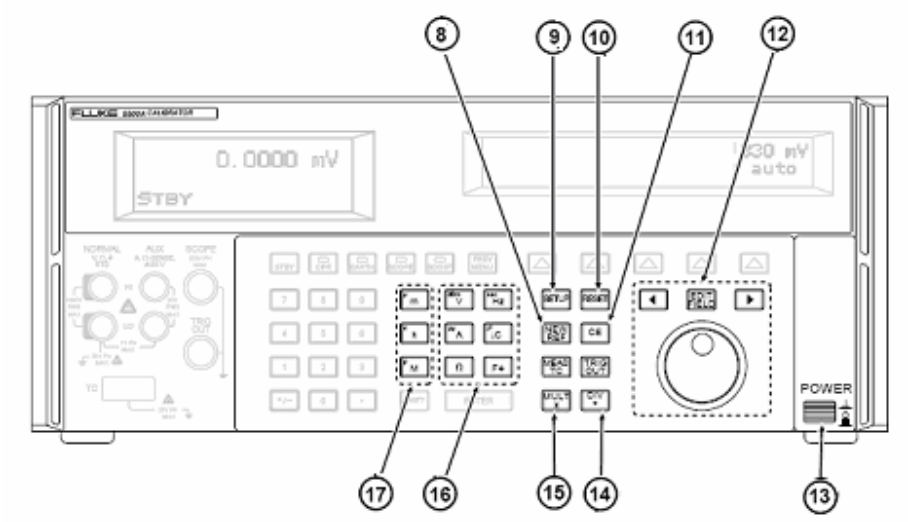


Figura 16. Panel frontal del FLUKE 5500A

Bornes de conexión

22. Salida auxiliar (AUX): En este borne se generan señales de corriente alterna, corriente directa, tensión eléctrica, resistencia eléctrica, capacitancia y simulación de RTD´s.
23. **NORMAL** En esta salida se generan señales de tensión eléctrica alterna, tensión eléctrica directa, resistencia eléctrica, capacitancia y simulación de RTD´s.

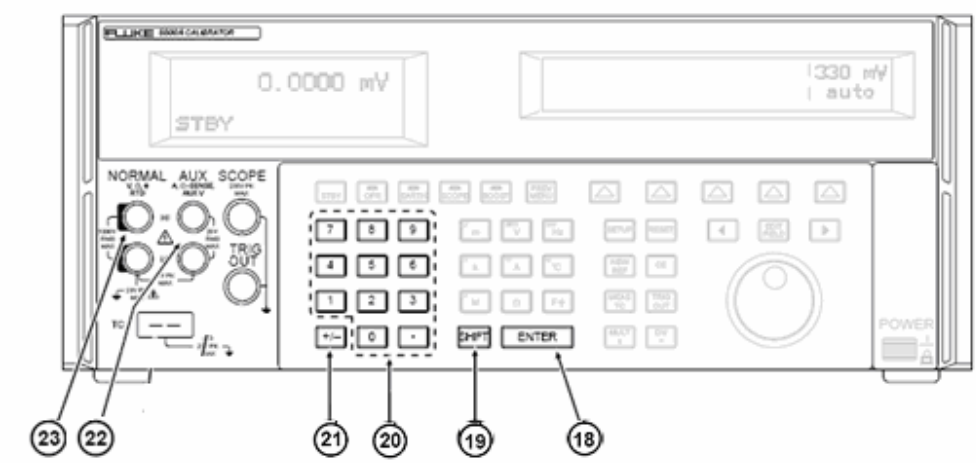


Figura 17. Panel frontal del FLUKE 5500A.

El panel posterior (fig. 18) del instrumento tiene los elementos siguientes:

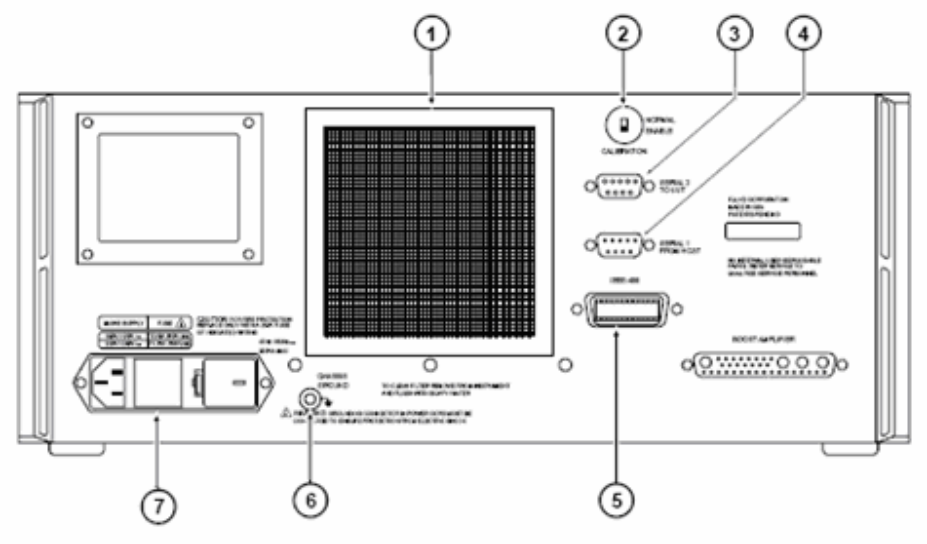


Figura 18. Panel posterior del FLUKE 5500A

1. Un filtro aire que sirve para proteger al ventilador del polvo.
2. **CALIBRATION NORMAL/ENABLE** slide switch Activa o desactiva la memoria no volátil utilizada para almacenar constantes de calibración. En la posición ENABLE es posible almacenar información en la memoria lo cual no ocurre en la posición NORMAL.
3. **SERIAL 2 TO UUT** Conector para establecer comunicación serial entre el FLUKE 5500A y otro instrumento.
4. **SERIAL 1 FROM HOST** Conector que sirve para la comunicación remota entre el FLUKE 5500A y una impresora.
5. **IEEE-488** Este conector es una interfaz paralela estándar que sirve para controlar el FLUKE 5500A en modo remoto a través de una computadora personal o portátil como hablante/oyente (talker/listener) a través del protocolo IEEE-488.
6. **CHASSIS GROUND** Conecta internamente el chasis a la tierra física.
7. **AC Power Input Module** Módulo con un conector a tierra física para la tensión eléctrica de alimentación del instrumento, un switch para elegir la tensión eléctrica de alimentación del instrumento y un fusible para protegerlo.

4.2 Medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 (IPAT)

El CLARKE HESS 6000 es un instrumento que se usa para medir ángulo de fase entre dos señales senoidales, cuadradas, triangulares o diente de sierra. Este instrumento puede seleccionar automáticamente el intervalo de medición del ángulo de fase entre las señales de entrada (de 0° a $\pm 180^{o}$ ó de 0° a 360º). Trabaja con señales de frecuencias entre 5Hz y 500kHz y la exactitud típica para frecuencias entre 10Hz y 50kHz es $\pm 0.002°$.

Este instrumento opera en modo local o modo remoto. La operación en modo local se hace a través del panel frontal del instrumento y la operación en modo remoto se hace a través de la interfaz GPIB.

Cuando el instrumento trabaja en modo remoto no responde a las teclas del panel frontal, sólo al menú que pone al instrumento en modo local.

Cuando se trabaja en modo local los controles, indicadores y bornes de conexión del panel frontal (fig. 19) tienen las funciones siguientes:

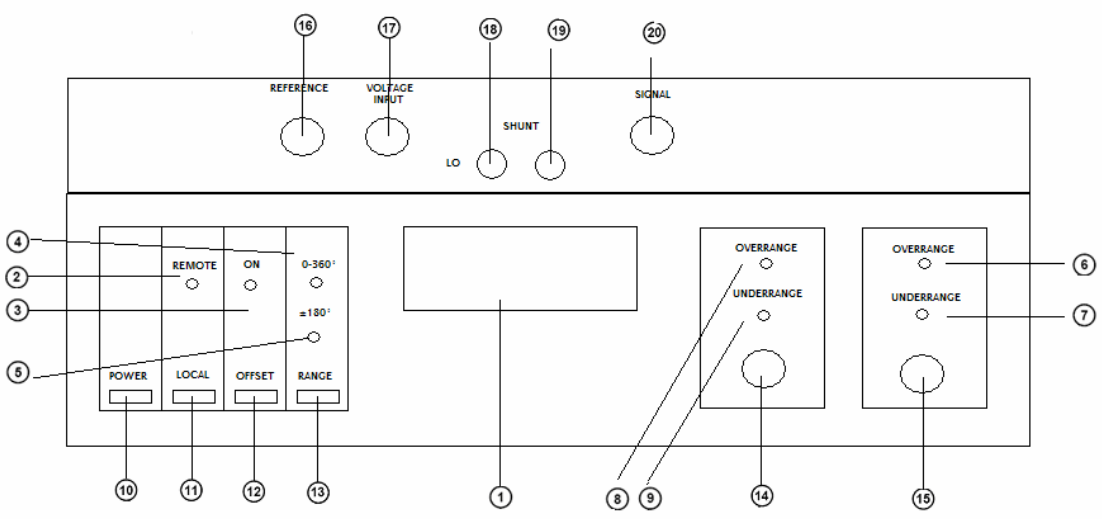


Figura 19. Panel frontal CLARKE HESS 6000.

Indicadores

1. Display que muestra el ángulo de fase entre las dos señales de tensión en grados.
2. LED que indica si el instrumento trabaja en modo local o remoto. .
3. LED que indica si está habilitada la función de offset.
4. LED que indica que el ángulo de fase entre las señales que se introducen en 14 y 15 se despliega en el intervalo de 0 a 360º.
5. LED que indica que el ángulo de fase entre las señales que se introducen en 14 y 15 se despliega en el intervalo de 0 a $\pm 180^{o}$.
6. LED que indica si la señal que se introduce en 15 tiene mayor amplitud con respecto al límite superior de amplitud del instrumento.
7. LED que indica si la señal que se introduce en 15 tiene menor amplitud con respecto al límite inferior de amplitud del instrumento
8. LED que indica si la señal que se introduce en 14 tiene mayor amplitud con respecto al límite superior de amplitud del instrumento
9. LED que indica si la señal que se introduce en 14 tiene menor amplitud con respecto al límite inferior de amplitud del instrumento

Controles

10. POWER: Enciende y apaga el instrumento.
11. LOCAL; Permite la operación del instrumento en modo local cunado se encuentra trabajando en modo remoto.
12. OFFSET: Sirve para habilitar la función de offset.
13. RANGE: Permite elegir el intervalo en el que se despliegan las lecturas de ángulo de fase (de 0° a $\pm 180^{o}$ ó de 0° a 360º).

Bornes

14. SIGNAL IN: Permite introducir una señal de tensión eléctrica.
15. REFERENCE IN: Permite introducir una señal de tensión eléctrica.
18. LO: Permite introducir la referencia para una señal de corriente.
19. SHUNT: Permite introducir una señal de corriente.
20. SIGNAL: Salida de una señal de tensión eléctrica.

El panel posterior (fig. 20) del instrumento tiene los elementos siguientes:

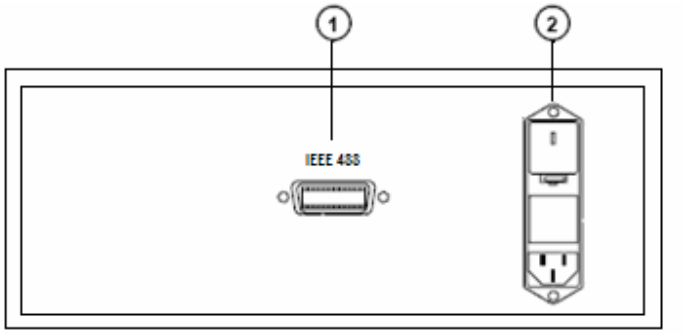


Figura 20. Panel posterior del CLARKE HESS 6000.

1. IEEE-488 Este conector es una interfaz paralela estándar que sirve para controlar el CLARKE HESS 6000 en modo remoto a través de una computadora personal o portátil como hablante/oyente (talker/listener) a través del protocolo IEEE-488.
2. Módulo de alimentación con un conector a tierra física para la tensión eléctrica de alimentación del instrumento, un switch para elegir la tensión eléctrica de alimentación de operación y un fusible para protección del instrumento.

4.3 Procedimiento de calibración de ángulo de fase entre señales tensión-tensión

Previamente a iniciar la calibración es importante:

- Encender ambos instrumentos por lo menos treinta minutos.
- Cuidar que la temperatura del ambiente este comprendida entre 21 y 25º y la humedad relativa por debajo del 80%.
- Conectar ambos instrumentos a un contacto que incluya un conductor conectado a tierra física.

A continuación se listan los pasos para realizar el proceso de calibración, de forma manual.

1. Encender el IBC[2] e IPAT
2. Conectar el IBC y el IPAT (fig. 21), la conexión es directa ya que las señales generadas con el IBC son medidas sin la aplicación de algún tipo de acondicionamiento de la señal. Las terminales LO de las NORMAL y AUX se ponen en corto.

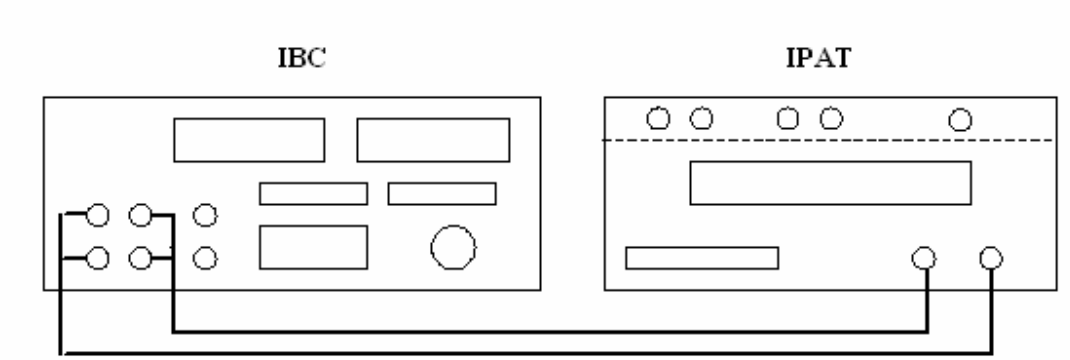


Figura 21. Conexión entre el IBC y el IPAT para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

3. Introducir el valor de la tensión eléctrica y presionar la tecla que indica su unidad (fig. 22), el cual se genera por la terminal NORMAL.

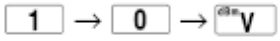


Figura 22. Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

4. Introducir el valor de la tensión eléctrica y presionar la tecla que indica su unidad (fig. 23), el cual se genera por la terminal AUX.

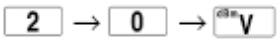


Figura 23. Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

5. Introducir el valor de la frecuencia para ambas señales y presionar la tecla que indica su unidad (fig.24).

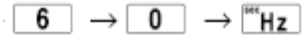


Figura 24. Introducción de un valor de frecuencia y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

[2] Nota: cuando el Calibrador Multifunción FLUKE 5500A se enciende se encuentra en modo STANDBY por lo que no genera ninguna salida en sus terminales.

6. Presionar la tecla ENTER
7. Ajustar el ángulo de fase
    a. La señal de referencia es la señal de la salida Normal, el ángulo se introduce en grados de 0 a $\pm 180^{\circ}$, si es positivo la señal de la terminal NORMAL esta en adelanto con respecto a la señal de la terminal AUX, si es negativo la señal de la terminal NORMAL esta en atraso con respecto a la señal de la terminal AUX.
    b. Presionar las teclas suaves WAVE MENUS, para abrir el menú waveform (fig. 25).

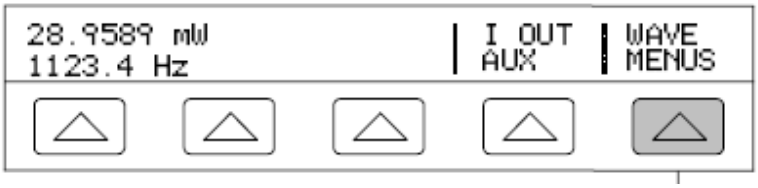


Figura 25. Menú waveform para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

    c. Presionar la tecla PHASE para ingresar el ángulo de fase (fig. 26).

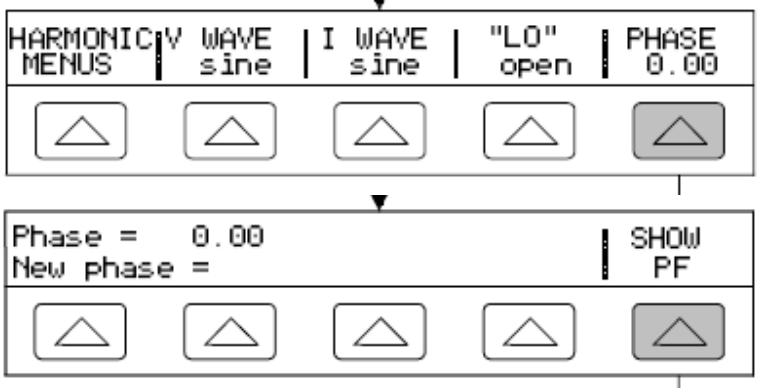


Figura 26. Ingreso de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

    d. Con las teclas numéricas introducir el valor del ángulo de fase deseado, presionar la tecla $+/-$ para elegir si la señal de referencia esta en adelanto o atraso (fig. 27).

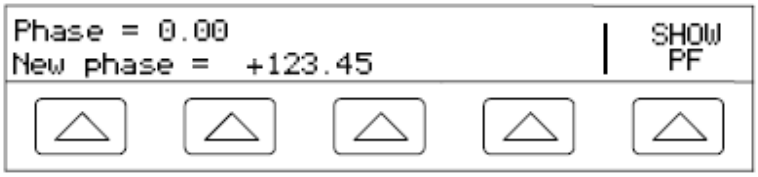


Figura 27. Ingreso del valor de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

    e. Presionar la tecla ENTER, para fijar el valor del ángulo de fase.
8. Presionar la tecla PREV MENU una o más veces para regresar al menú previo.

9. Presionar la tecla OPERATE, para generar en las terminales del instrumento dos señales de tensión-tensión con los valores de tensión, frecuencia y ángulo de fase introducidos.
10. Realizar cinco mediciones del ángulo de fase con el IPAT y registrarlas en una tabla (Tabla 2).

Li Normal	Li Auxiliar	Frecuencia Hz	Li Grados	Lp Grados	Error Grados	Tolerancia Grados	Incertidumbre Grados

Tabla 2. Formato para registrar lecturas.

En donde:
Li: son valores introducidos en el IBC para generar un ángulo de fase
Lp: es el promedio de cinco lecturas tomadas por el IPAT

11. Poner el IBC en condiciones de encendido usando la tecla RESET, para limpiar cualquier salida en el instrumento.
12. Desconectar los instrumentos.
13. Apagar ambos instrumentos.
14. Registro de la temperatura y humedad relativa ambientales durante la calibración
15. Cálculo del error para cada punto de calibración
16. Determinación del nivel de incertidumbre asociado a cada punto de medición
17. Generación del informe de calibración

El procedimiento descrito es para realizar la calibración para un punto de calibración específico. Para llevar a cabo una calibración que involucre diversos puntos de calibración los pasos a seguir son 1, 2, la repetición de 3 a 11 para cada punto de calibración que se quiera realizar, y finalmente de 12 a 17.

4.4 Procedimiento de calibración de ángulo de fase entre señales tensión-corriente

Previamente a iniciar la calibración es importante:

- Encender ambos instrumentos por lo menos treinta minutos antes.
- Cuidar que la temperatura del ambiente este comprendida entre 21 y 25º y la humedad relativa por debajo del 80%.
- Conectar ambos instrumentos a un contacto que incluya un conductor conectado a tierra física.

A continuación se listan los pasos para realizar el proceso de calibración, de forma manual.

1. Encender el IBC[3] e IPAT
2. Conectar el IBC y el IPAT (fig. 28), la conexión es directa ya que las señales generadas con el IBC son medidas sin la aplicación de algún tipo de acondicionamiento de la señal. Las terminales LO de las NORMAL y AUX se ponen en corto.

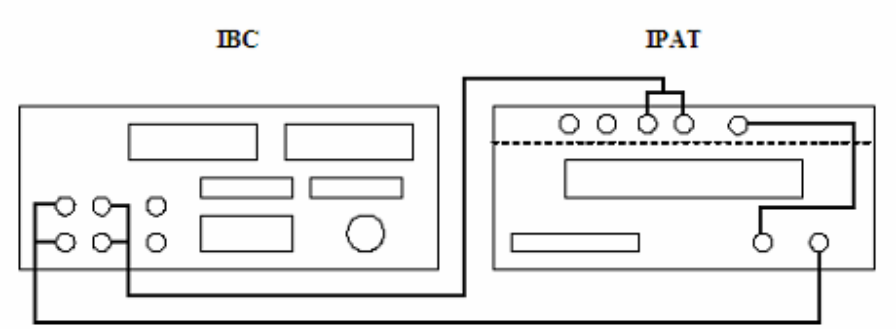


Figura 28. Conexión entre el IBC y el IPAT para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

3. Introducir el valor de la tensión eléctrica y presionar la tecla que indica su unidad (fig. 29), el cual se genera por la terminal NORMAL.

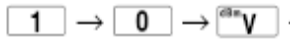


Figura 29. Introducción de un valor de tensión eléctrica y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

4. Introducir el valor de la corriente y presionar la tecla que indica su unidad (fig. 30), el cual se genera por la terminal AUX.

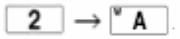


Figura 30. Introducción de un valor de corriente y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

5. Introducir el valor de la frecuencia para ambas señales y presionar la tecla que indica su unidad (fig. 31).

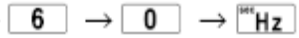


Figura 31. Introducción de un valor de frecuencia y su unidad para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

6. Presionar la tecla ENTER
7. Ajustar el ángulo de fase
    a. La señal de referencia es la señal de la salida Normal, el ángulo se introduce en grados de 0 a $\pm 180^{\circ}$, si es positivo la señal de la

[3] Nota: cuando el Calibrador Multifunción FLUKE 5500A se enciende se encuentra en modo STANDBY por lo que no genera ninguna salida en sus terminales.

terminal NORMAL esta en adelanto con respecto a la señal de la terminal AUX, si es negativo la señal de la terminal NORMAL esta en atraso con respecto a la señal de la terminal AUX.

b. Presionar las teclas suaves WAVE MENUS, para abrir el menú waveform (fig. 32).



Figura 32. Menú waveform para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

c. Presionar la tecla PHASE para ingresar el ángulo de fase (fig. 33).

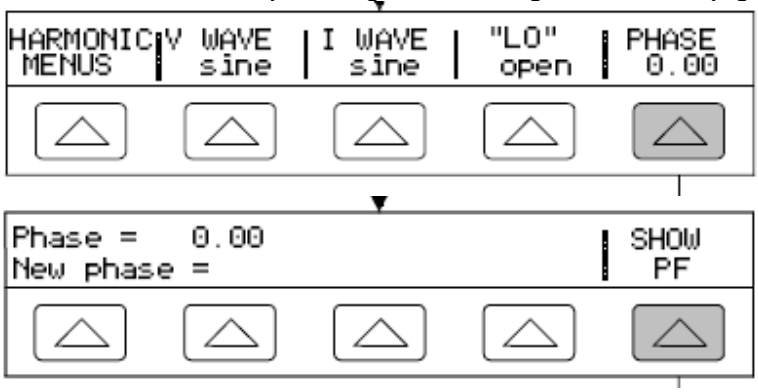


Figura 33. Ingreso de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

d. Con las teclas numéricas introducir el valor del ángulo de fase deseado, presionar la tecla +/− para elegir si la señal de referencia esta en adelanto o atraso (fig. 34).



Figura 34. Ingreso del valor de ángulo de fase para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente.

e. Presionar la tecla ENTER, para fijar el valor del ángulo de fase.

8. Presionar la tecla PREV MENU una o más veces para regresar al menú previo.
9. Presionar la tecla OPERATE, para generar en las terminales del instrumento dos señales de tensión-corriente con los valores de tensión, corriente, frecuencia y ángulo de fase introducidos. Cada vez que se generan las señales en el IBC el IPAT realiza la medición del ángulo de fase entre las señales.
10. Realizar cinco lecturas con el IPAT y registrarlas en una tabla (Tabla 2)

11. Poner el IBC en condiciones de encendido usando la tecla RESET, para limpiar cualquier salida en el instrumento.
12. Desconectar los instrumentos.
13. Apagar ambos instrumentos.
14. Registro de la temperatura y humedad relativa ambientales durante la calibración
15. Cálculo del error para cada punto de calibración
16. Determinación del nivel de incertidumbre asociado a cada punto de medición
17. Generación del informe de calibración

El procedimiento descrito es para realizar la calibración para un punto de calibración específico. Para llevar a cabo una calibración que involucre diversos puntos de calibración los pasos a seguir son 1, 2, la repetición de 3 a 11 para cada punto de calibración que se quiera realizar, y finalmente de 17 a 22.

CAPÍTULO 5. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE ÁNGULO DE FASE

Para la automatización del procedimiento de calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A para ángulo de fase tensión-tensión y tensión-corriente se plantea tiene una arquitectura (fig. 35) basada en la utilización de una computadora portátil donde se inserta una tarjeta de interfaz NI-PCMCIA-GPIB que permite controlar el FLUKE 5500A (IBC) y el medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000 (IPAT); el control se hace mediante un programa diseñado bajo la plataforma LABVIEW.

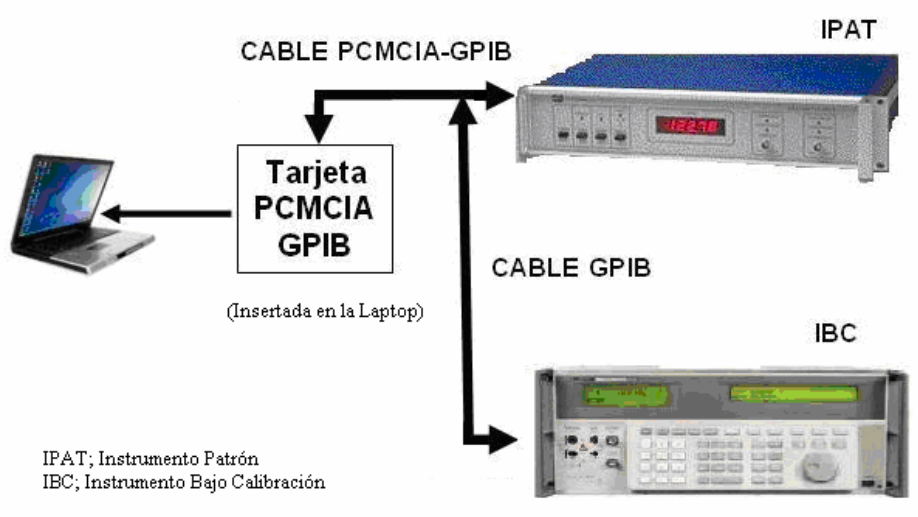


Figura 35. Arquitectura de la automatización.

El hardware empleado en la automatización es un cable NI-GPIB-GPIB [25], un cable NI-PCMCIA-GPIB [26] y una tarjeta NI-PCMCIA-GPIB [27].

El **GPIB** (del Inglés General Purpose Interface Bus, Bus de Interfaz de Propósito General) [28] es un bus y un protocolo estándar de conexión que permite la comunicación entre una computadora y un instrumento (osciloscopio, fuente de tensión, fuente de corriente, generador de funciones, etc.), que permite el control del instrumento para su configuración y uso.

Fue creado en 1970 y se le llamó HP-IB (del Inglés Hewlett Packard Instrument Bus, Bus de Instrumentos de Hewlett Packard). Se popularizó rápidamente debido a que originalmente su tasa de transferencia estándar era de 1 Mbyte/s.

Los principales fabricantes de instrumentos acordaron su estandarización en 1975 a través de la norma IEEE 488.1, la cual se centraba en las características eléctricas y mecánicas del bus. Una segunda estandarización se llevo a cabo en 1987 a través de la norma IEEE 488.2, la cual delimitó de forma concreta la definición de comandos, formato de los datos comunes a todos los equipos y protocolos de comunicación para los mismos. El paso siguiente fue la adopción del formato de comandos SCPI (del Inglés Standard Commands for Programmable Instrumentation, Comandos Estándar para Instrumentación Programable) que

define una estructura de comandos estándar aceptados por diversos instrumentos de diferentes fabricantes.
El bus GPIB se utiliza para interconectar instrumentos programables y no programables con cualquier otro instrumento necesario para implementar un sistema de instrumentación. Para realizar la interconexión se establece que:

- La transferencia de datos a través de los instrumentos interconectados es digital.
- El número de dispositivos interconectados en un bus no debe ser mayor a 15.
- La longitud total de la ruta de transmisión entre cables interconectados no debe ser mayor a 20 m
- La tasa de transferencia entre instrumentos no debe exceder los 8 Mbyte/s.

Para organizar y dirigir el flujo de información que se intercambia entre los instrumentos y el sistema de comunicación se requieren de tres elementos que son:

1. Un dispositivo que funcione como oyente (listener), el cual tiene la capacidad de recibir datos de otros dispositivos a través de la interfaz GPIB.
2. Un dispositivo que funcione como hablante (talker), el cual tiene la capacidad de enviar datos a otro dispositivo a través de la interfaz GPIB.
3. Un dispositivo que funcione como controlador el cual controla los demás instrumentos para que escuchen o hablen, supervisa todas las operaciones que se realizan en el bus, determina el dispositivo que envía la información y el momento en que se realiza su envío esto asegura que no haya dos o más instrumentos enviando simultáneamente información al bus.

El bus GPIB es de 8 bits en paralelo y maneja lógica negativa con niveles TTL estándar. El valor lógico “verdadero” es para voltajes menores o iguales a 0.8 V y “falso” para valores mayores o iguales a 2.0V (Tabla 3).

Codificación de Estado Lógico	Niveles Eléctricos de la Señal
0	Estado alto ≥ +2.0 V
1	Estado bajo ≤ +8.0 V.

Tabla 3. Relación de estados lógicos y eléctricos.

El bus GPIB fue diseñado para trabajar a una velocidad de transferencia de datos de 1 Mbyte/s. Para cumplir este requisito es necesario:

- No tener más de 15 dispositivos conectados al bus y al menos dos tercios de ellos deben estar encendidos.
- La separación máxima entre dos dispositivos es de 4 m, y la separación promedio en toda la red debe ser menor a 2 m.
- La longitud total de la red no debe exceder los 20 m.
- El dispositivo más lento determina la velocidad de transferencia.

El bus consta de 24 terminales (fig. 36) agrupadas de la siguiente forma:

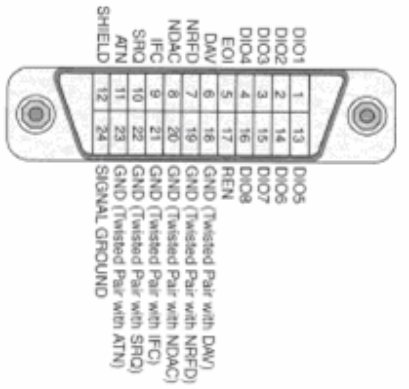


Figura 36. Terminales del bus GPIB y su localización en el conector.

- Ocho terminales de transmisión de datos (DIO1-DIO8) que transportan tanto datos como órdenes. Si está a nivel bajo son órdenes o direcciones y si está a nivel alto son datos. Todas las órdenes y la mayoría de los datos emplean 7 bits codificados en ASCII, el octavo bit se puede emplear o no para la paridad.
- Tres terminales para el control asíncrono de la comunicación mediante las cuales se verifica la transmisión correcta de los datos. Este proceso garantiza que la transmisión y la recepción se realizan sin errores. Las líneas son:
    1. NRFD (Not Ready For Data): Indica cuando un dispositivo está preparado para recibir un mensaje.
    2. NDAC (Not Data Accepted): Indica cuando un dispositivo ha aceptado un mensaje.
    3. DAV (Data Valid): Indica cuando las señales en las líneas de datos se consideran válidas y pueden ser aceptadas por los dispositivos.
- Cinco terminales para el control general del bus:
    1. SRQ (Service ReQuest): Se emplea para solicitar turno al controlador.
    2. IFC (InterFace Clear): Inicializa los parámetros y direcciones del bus.
    3. REN (Remote ENable): Establece el control remoto de un dispositivo.
    4. EOI (End Or Identify): Se emplea como indicador de fin de transferencia de datos.

5. ATN (ATtentioN): La emplea el controlador para distinguir entre los datos y los mensajes de control. Determina el tipo de información presente en las líneas de datos.

- El resto de las terminales son las tierras de las terminales anteriores.

Los **comandos SCPI** [29] son un conjunto de órdenes con una sintaxis común que utilizan los fabricantes de instrumentos programables de medición o generación.

Una ventaja del estándar SCPI es la definición homogénea de comandos para todos los aparatos de un mismo tipo (osciloscopios, generadores defunciones, multímetros, etc.).

Los comandos SCPI tienen una estructura jerárquica y se agrupan en categorías, cada categoría es una acción que el dispositivo puede realizar. Una categoría, por ejemplo, es el disparo (TRIGGER), la medición (MEASURE), el despliegue (DISPLAY), etc.

Algunas categorías se subdividen a su vez. Por ejemplo, dentro de la categoría de disparo (TRIGGER) se encuentra la referencia a quien ejecuta el disparo (SOURCE), en que tiempo (TIMER) y cuantos disparos (COUNT). No todos los aparatos cuentan con todas las categorías, por ejemplo una fuente de alimentación no tiene la categoría de medición (MEASURE).

Los comandos SCPI consisten simplemente en enunciados de esas categorías con sus ramificaciones y parámetros opcionalmente. La ventaja que tiene este esquema es que si dos aparatos son capaces de realizar la misma acción entonces el comando SCPI es el mismo para ambos.

Las convenciones usadas para la sintaxis de los comandos son las siguientes:

- Los comandos se escriben como texto ASCII en mayúsculas o minúsculas.
- Los caracteres en mayúsculas son necesarios para especificar la orden, mientras que los que están en minúsculas pueden suprimirse, sirviendo sólo para facilitar la lectura de programas por usuario. Los comandos en sí pueden ser escritos indistintamente en mayúsculas o minúsculas.
- Los corchetes “[ ]” indican parámetros opcionales.
- Las llaves “{ }” indican conjuntos de parámetros entre los que se debe elegir uno.
- La barra vertical “|” separa las diferentes elecciones que se pueden escoger.
- Un parámetro entre los símbolos “<>” significa que se debe proporcionar su valor o su nombre.
- Las categorías y subcategorías se dividen por dos puntos.
- Se pueden concatenar varios comandos usando punto y coma (;).

- Algunas instrucciones admiten al final un signo de interrogación que indica una demanda de información.

Como los comandos SCPI no son propios del bus, sino del instrumento, pueden emplearse independientemente de la interfaz de comunicación siempre que el aparato sea compatible con la normativa SCPI.

Aparte de los comandos SCPI propios de cada tipo de instrumentos existen una serie de comandos que son comunes a todo tipo de instrumento (Tabla 4). La mayoría de estos comandos muestran información del estado de los registros del instrumento.

Orden	Nombre de la orden	Función
*CLS	Clear Status Command	*-Despeja el registro de estado y los registros de incidencia.*
*ESE	Event Status Enable Command	*-Habilita bits del registro de habilitación de incidencias*
*ESE?	Event Status Enable Query	*-Interroga el registró de habilitación de Incidencias estándar.*
*ESR?	Event Status Register Query	*-Interroga el registro de Incidencias estándar.*
*IDN	Identification Query	*-Identifica tipo de instrumento y versión software.*
*LRN?	Learn Device Setup Query	*-Requiere el estado actual del equipo.*
*OPC	Operation Complete Command	*-Fija el bit de "Operación completa" del registro estándar.*
*OPC?	Operation Complete Query	*-Responde con "1" si se han ejecutado ordenes previas.*
*OPT?	Option Identification Query	*-Requiere la opción instalada en el equipo.*
*RCL	Recall Command	*-Restaura el estado del equipo del registro save/recall.*
*RST	Reset Command	*-Sitúa al equipo en el estado básico de referencia.*
*SAV	Save Command	*-Almacena el estado actual en un registro save/recall.*
*SRE	Service Request Enable Command	*- Habilita los bits del registro de habilitación de Byte de estado.*
*SRE?	Service Request Enable Query	*- Requiere el contenido del registro SER de habilitación del byte de estado*
*STB?	Read Status Byte Query	*- Requiere el estado del registro resumido del Byte de estado.*
*TRG	Trigger Command	*- Arranca o dispara la operación del equipo de forma remota.*
*TST?	Selft-Test Query	*-Requiere el resultado del autotest del equipo.*
*WAI	Wait-to-Continue Command	*- Espera a que se realicen todas las operaciones pendientes.*

Tabla 4. Comandos SCPI.

La transferencia de comandos SCPI entre una computadora personal o portátil se puede llevar a través de una tarjeta NI-PMCIA-GPIB y un cable NI-PMCIA-GPIB.

El **cable NI-PCMCIA-GPIB** [26] (fig. 37) consta con una terminal GPIB y otra PCMCIA. El extremo GPIB tiene 24 pines con la funcionalidad mostrada en la figura 35 y el extremo PCMCIA cuenta con 25 pines y va insertado en la tarjeta NI-

PCMCIA-GPIB. Estos cables están disponibles en el mercado en longitudes de 1m, 2m y 4 m



Figura 37. Cable NI-PCMCIA-GPIB.

La **tarjeta NI-PCMCIA-GPIB** [27] esta construida con base en el protocolo IEEE-488 y se inserta en una ranura PCMCIA de una computadora portátil. Esta tarjeta permite controlar uno o varios instrumentos a través de la computadora portátil. Cuanta con dos terminales de 68 y 25 pines (lado izquierdo y derecho de la figura 38).



Figura 38. Tarjeta NI-PCMCIA GPIB.

En el mercado hay disponibles tres tipos de tarjetas PCMCIA, del mismo largo (85.6 mm), peso (54 mg) y número de pines (68), identificadas como Tipo I, Tipo II y Tipo III (fig. 39), la diferencia entre ellas es el espesor 3.3mm, 5mm y 10.5mm respectivamente. La tarjeta Tipo I se usa típicamente como dispositivo de memoria, la tarjeta Tipo II para aplicaciones que requieren entradas y salidas de información y la Tipo III se usan en dispositivos cuyos componentes son de espesor muy pequeño.



Figura 39. Tarjetas PCMCIA Tipo I, II y III.

La tarjeta NI-PCMCIA-GPIB es del Tipo II y presenta velocidades de transferencia de 1.3 MBytes/s.

Para comunicar una computadora con dos o más instrumentos se requiere el uso de un cable NI-GPIB-GPIB.

El **cable GPIB** [25] (fig. 40) consta de dos conectores duales GPIB (hembra/macho) (fig. 41) con 24 pines con la funcionalidad mostrada en la figura 35. Los instrumentos de medición cuentan con conectores hembras.



Figura 40. Cable NI-GPIB-GPIB.

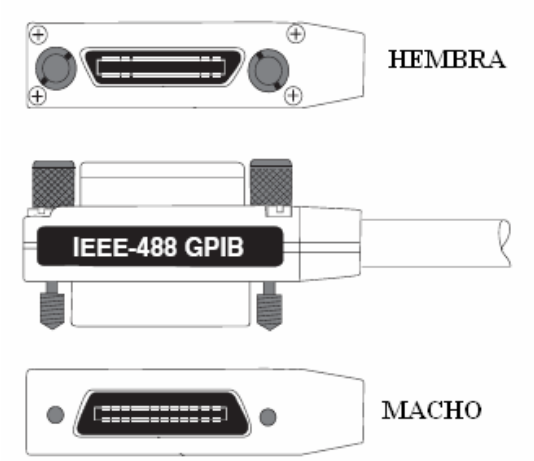


Figura 41. Terminales de los conectores de un cable GPIB.

En el mercado hay cables disponibles en longitudes de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 20 metros. Dependiendo de la longitud del cable se pueden presentar retardos en el envío de datos, los retardos pueden llegar a ser de hasta 336 ns cuando se tienen cables del orden de 10 m.

LABVIEW [30] (del Inglés Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un software grafico basado en lenguaje G para desarrollo de sistemas de prueba, control y diseño mediante programación. Este programa fue creado por National Instruments 1976 para trabajar bajo la plataforma MAC y salió

al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux. En la actualidad se encuentran disponibles las versiones 8.20 y 8.21 con soporte para Windows Vista.

Algunos de los usos que se le han dado son: Adquisición de datos, control de instrumentos, automatización industrial y diseño de sistemas de control.

Dentro de la filosofía de LABVIEW se considera que cualquier usuario con conocimientos básicos de programación puede desarrollar un programa en este software. Por ello, el lenguaje G de LABVIEW permite el desarrollo fácil de interfaces de usuario y la comunicación con instrumentos a través de diversos puertos de comunicación además del GPIB como son el RS232, el PXI, el VXI, el TCP/IP, BLUETOOTH y USB.

Ofrece además la capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones como son: .NET, ACTIVEX, MULTISI, MATLAB Y SIMULINK.

Así mismo, cuenta con diversos módulos para aplicaciones específicas como el módulo de control de movimiento, el de tiempo real, el de adquisición y tratamiento de imágenes, el de programación de FPGA´s para control o validación entre otros.

Los programas hechos con LABVIEW se llaman VI (del Inglés Virtual Instrument, Instrumentos Virtuales), al ser una herramienta gráfica de programación, los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión.

El ambiente de programación LABVIEW se divide en panel frontal (*front panel*) y diagrama de bloques (*block diagram*). En el primero se diseña la interfaz de usuario mediante el uso de controles (*controls*) e indicadores (*indicators*) y la funcionalidad de este se programa en el diagrama de bloques, las líneas de código que aparecen en este se representan por iconos que se interconectan entre si para especificar una función determinada.

5.1 Diagramas de flujo del programa de automatización del procedimiento de calibración del calibrador FLUKE 5500A en ángulo de fase.

Previamente se describió como calibrar el FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-tensión (sección 4.3) y tensión-corriente (sección 4.4).

Con base en esta información se desarrollaron los diagramas de flujo (figuras 42 y 43) en los que se basa la programación en LABVIEW de la automatización del procedimiento de calibración que nos ocupa.

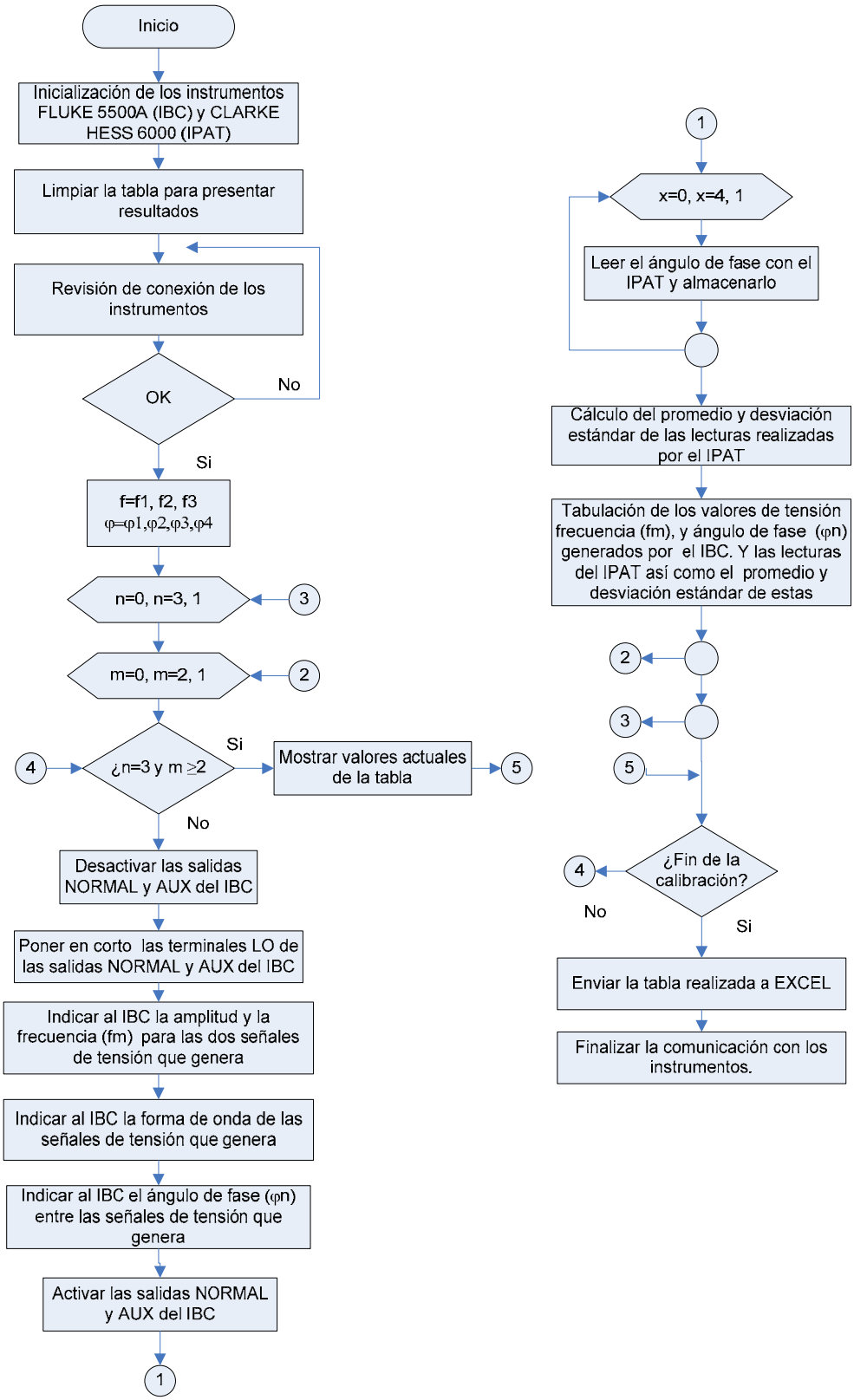


Figura 42. Diagrama de flujo para la calibración de ángulo de fase tensión-tensión.

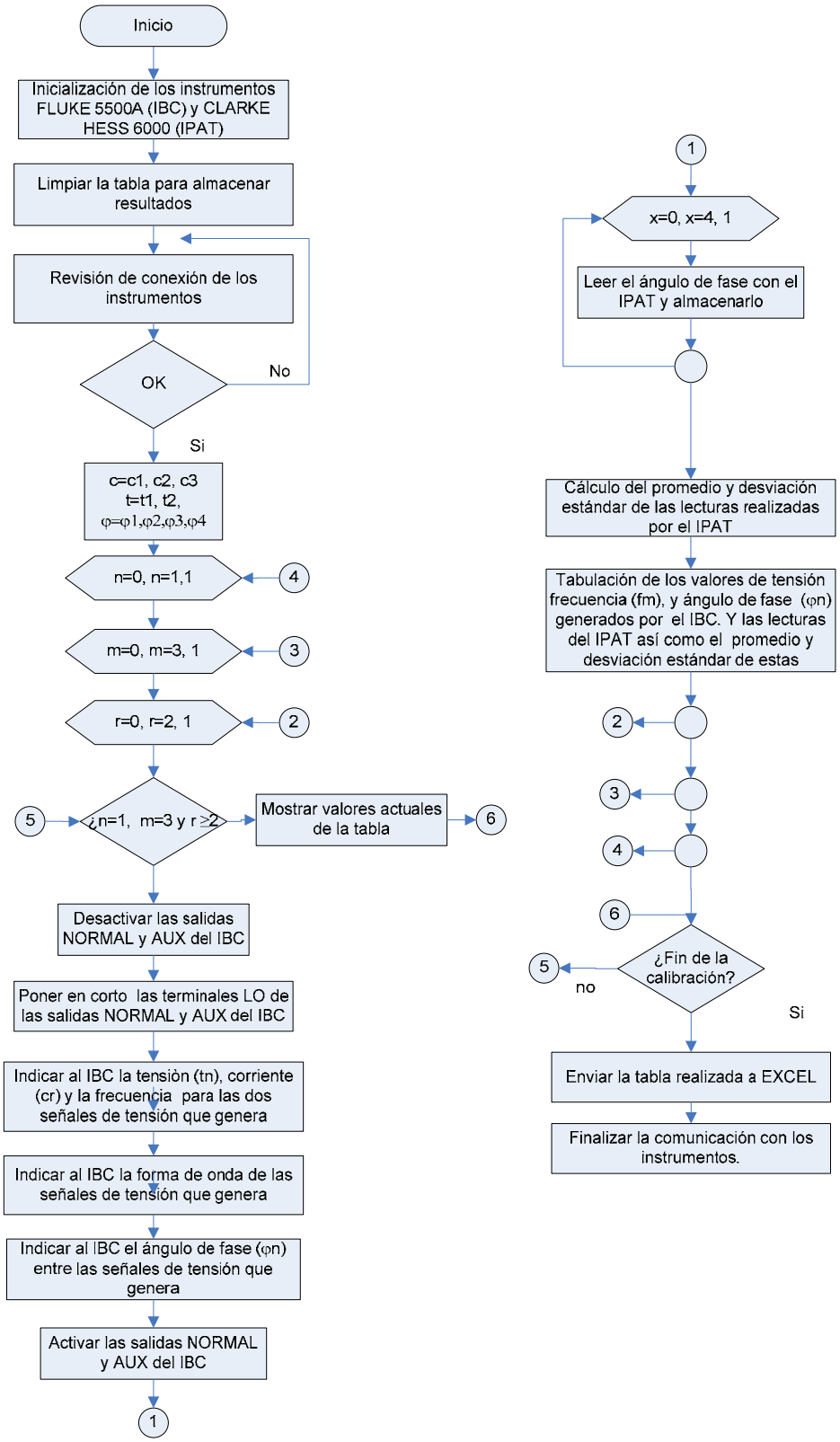


Figura 43. Diagrama de flujo para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente

5.2 Implementación de los diagramas de flujo para la automatización de la calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A en ángulo de fase usando LABVIEW.

Como se mencionó anteriormente, el calibrador multifunción FLUKE 5500A, , es un instrumento que se utiliza como patrón para realizar calibraciones de instrumentos de medición de diversas variables eléctricas como tensión eléctrica alterna, tensión eléctrica continua, corriente alterna, corriente continua, resistencia, capacitancia, temperatura, potencia y ángulo de fase.
El trabajo presente forma parte de la automatización de la calibración del FLUKE 5500A en todas las variables mencionadas.

La automatización del proceso de calibración en cada variable se integró a un VI principal; cuya pantalla se muestra en la figura 44.

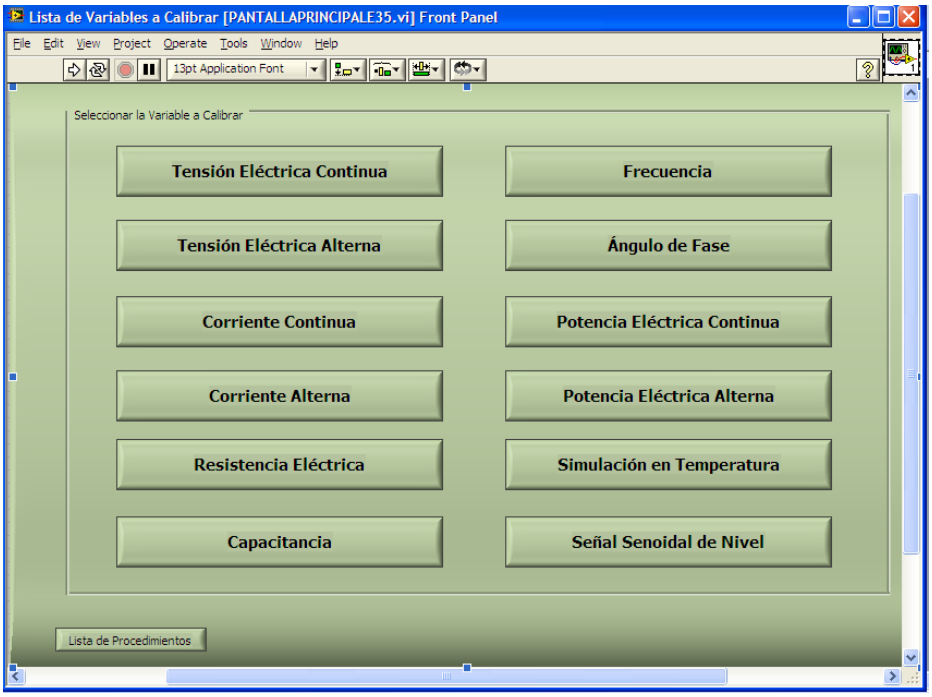


Figura 44. Pantalla del VI principal.

A continuación se describe el programa realizado en LABVIEW para la automatización de la calibración del calibrador multifunción FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales de tensión-tensión y tensión-corriente.

5.2.1 Interfaz de usuario

Al presionar el botón de Ángulo de fase de la pantalla del VI principal aparece una pantalla emergente que permite elegir el tipo de señales entre las que se quiere medir el ángulo de fase, señales tensión-tensión o tensión-corriente (fig. 45).



Figura 45. Elección del tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase.

Al presionar el botón tensión-tensión o tensión-corriente aparece una pantalla emergente (fig. 46) con la que se inicia el procedimiento automático de calibración que al ser ejecutada nos permite elegir el instrumento patrón, elegir el instrumento bajo calibración, ver el diagrama eléctrico de conexión entre los instrumentos involucrados en la calibración e iniciar el procedimiento de calibración. La elección de cada opción aparece una pantalla emergente respectivamente, las cuales se describen a continuación.

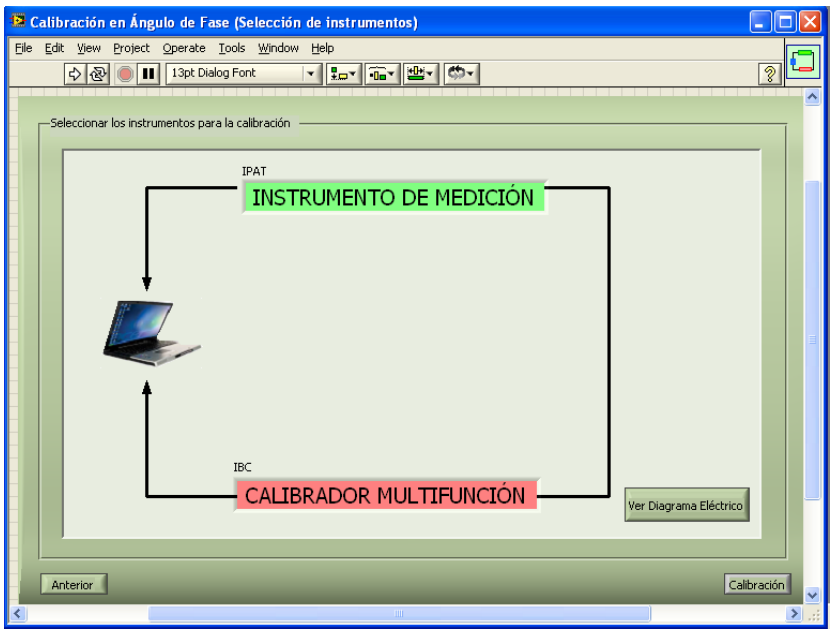


Figura 46. Pantalla de selección de los instrumentos involucrados en la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase (tensión-tensión o tensión corriente).

Cuando se elige la opción INSTRUMENTO DE MEDICIÓN (fig. 47), aparece una pantalla en la que se selecciona el instrumento patrón (IPAT, CLARKE HESS 6000). Al elegir este instrumento aparece otra pantalla en la que se ingresa la información la información del IPAT, que posteriormente se utilizará para elaborar el informe de calibración.

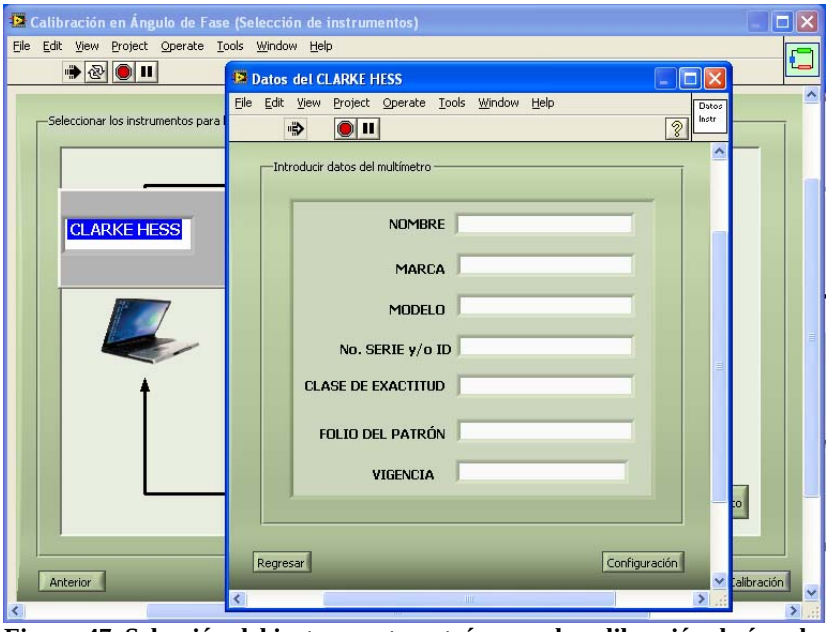


Figura 47. Selección del instrumento patrón para la calibración de ángulo.

De forma similar, al presionar el botón CALIBRADOR MULTIFUNCIÓN (fig. 48) aparece una pantalla que permite seleccionar un instrumento bajo calibración (IBC) e introducir la información del mismo.

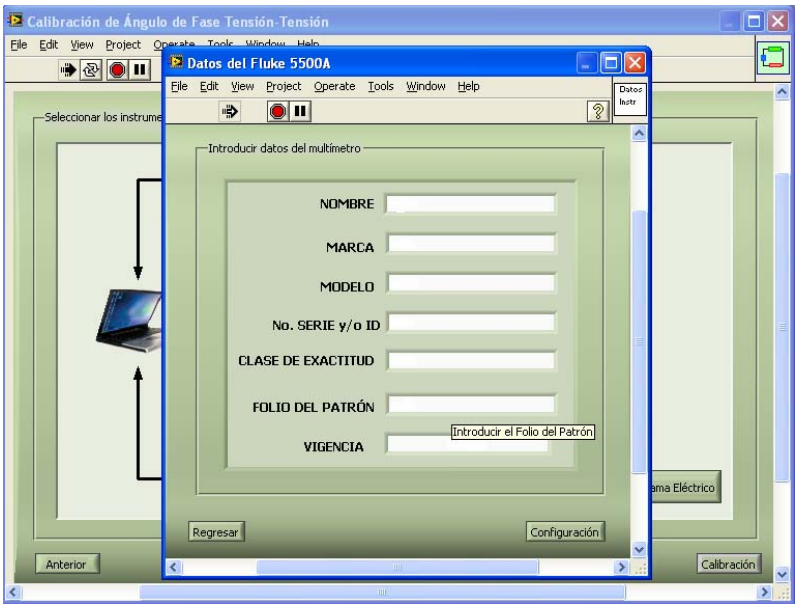


Figura 48. Selección del instrumento bajo calibración para la calibración de ángulo de fase.

Cuando se presiona el botón VER DIAGRAMA ELÉCTRICO aparece una pantalla por tres segundos que muestra un diagrama eléctrico que representa las conexiones realizadas entre los instrumentos. Cuando se trabaja con señales tensión-tensión la pantalla se muestra en la figura 49 y para señales tensión-corriente en la figura 50.

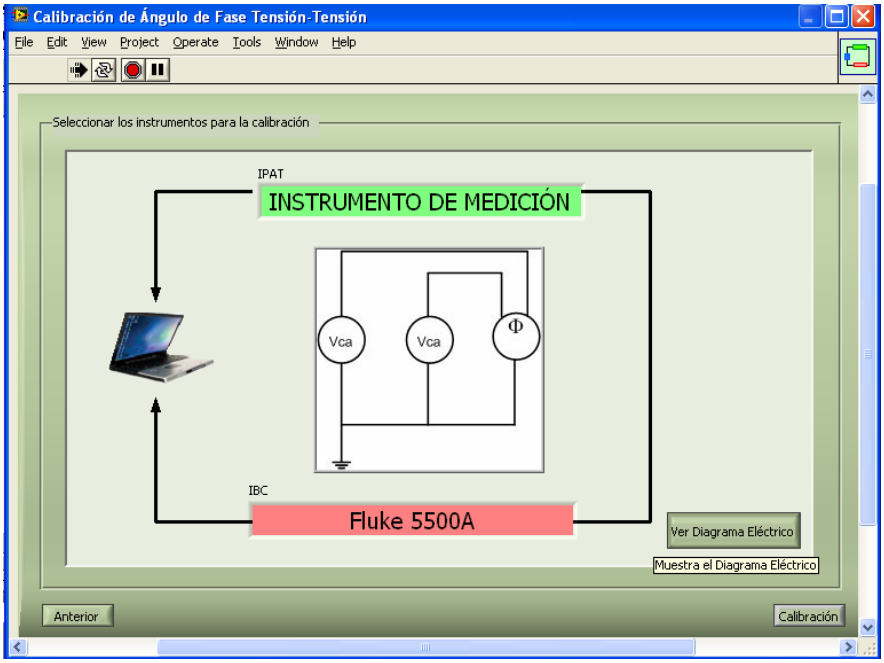


Figura 49. Diagrama eléctrico de conexión entre los instrumentos para la calibración de ángulo de fase entre señales tensión-tensión.

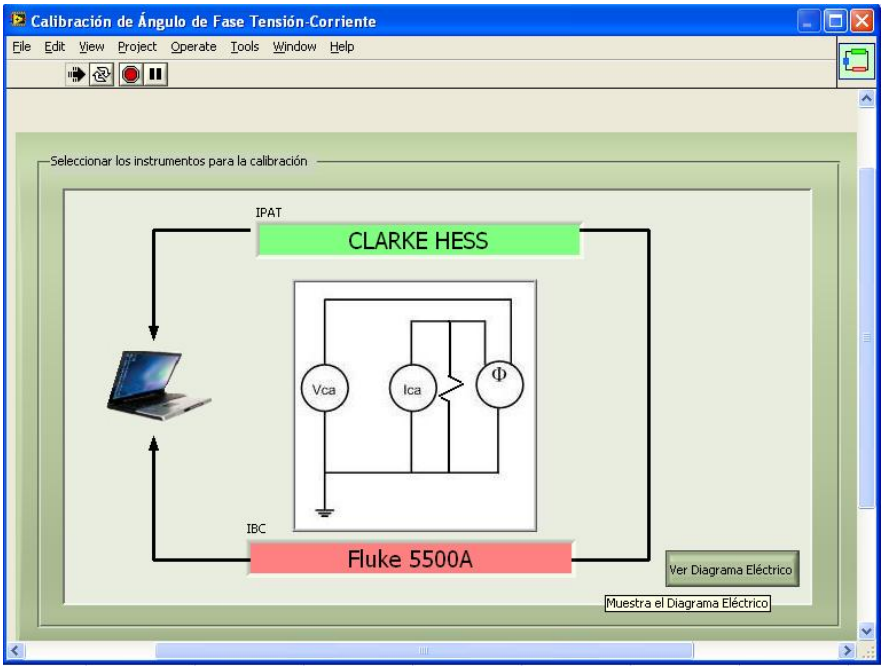


Figura 50. Diagrama eléctrico de conexión entre los instrumentos para la calibración de ángulo de fase entre señales tensión-corriente.

La calibración del instrumento se inicia cuando se presiona el botón CALIBRACIÓN, al presionarlo (siempre y cuando se halla seleccionado el IPAT y el IBCE) aparece la pantalla de calibración y un mensaje (fig. 51) que solicita revisar las conexiones entre los instrumentos para evitar dañar los mismos. Al seleccionar OK se inicia la calibración.

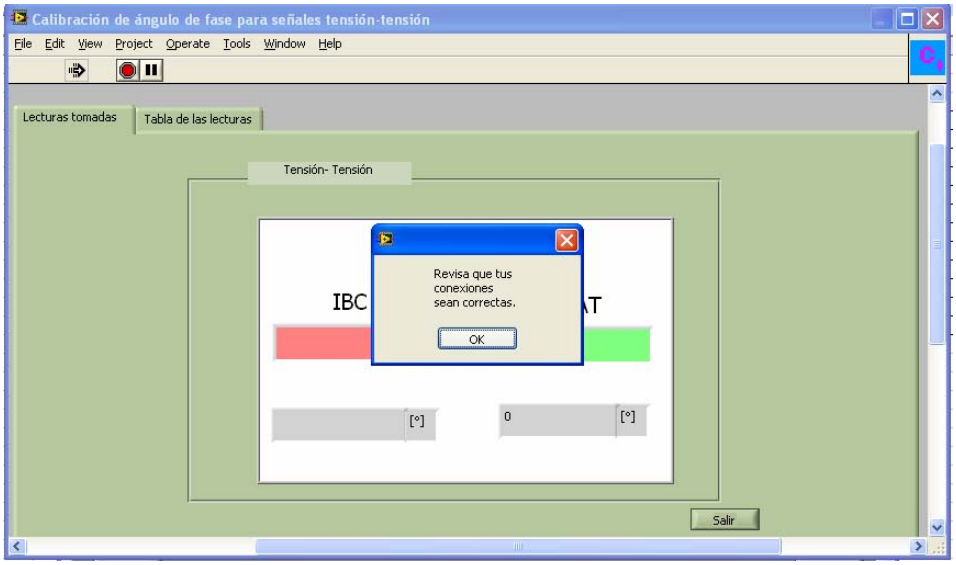
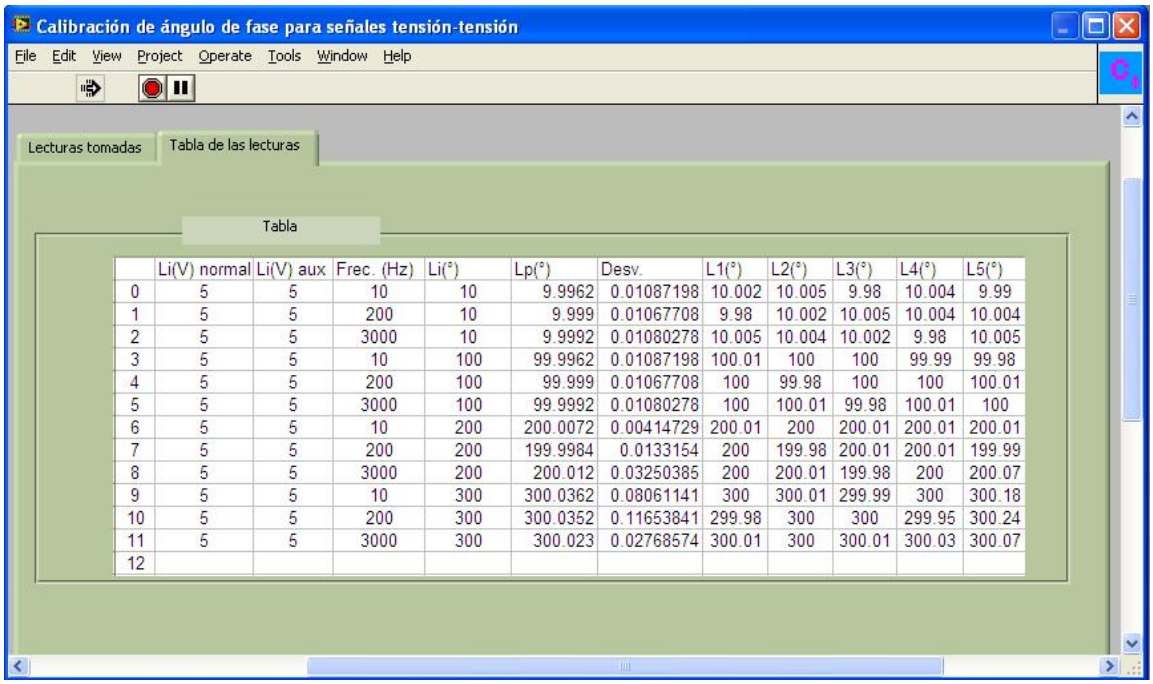


Figura 51. Pantalla de la calibración en ángulo de fase.

En la pantalla de calibración (fig. 51) aparece una carpeta con dos pestañas (*tab control*); lecturas tomadas y tabla de lecturas. La pestaña de LECTURAS TOMADAS muestra el ángulo de fase generado por el IBC y el promedio de cinco lecturas realizadas por el IPAT para cada punto de calibración así como el nombre de los instrumentos involucrados en la calibración.

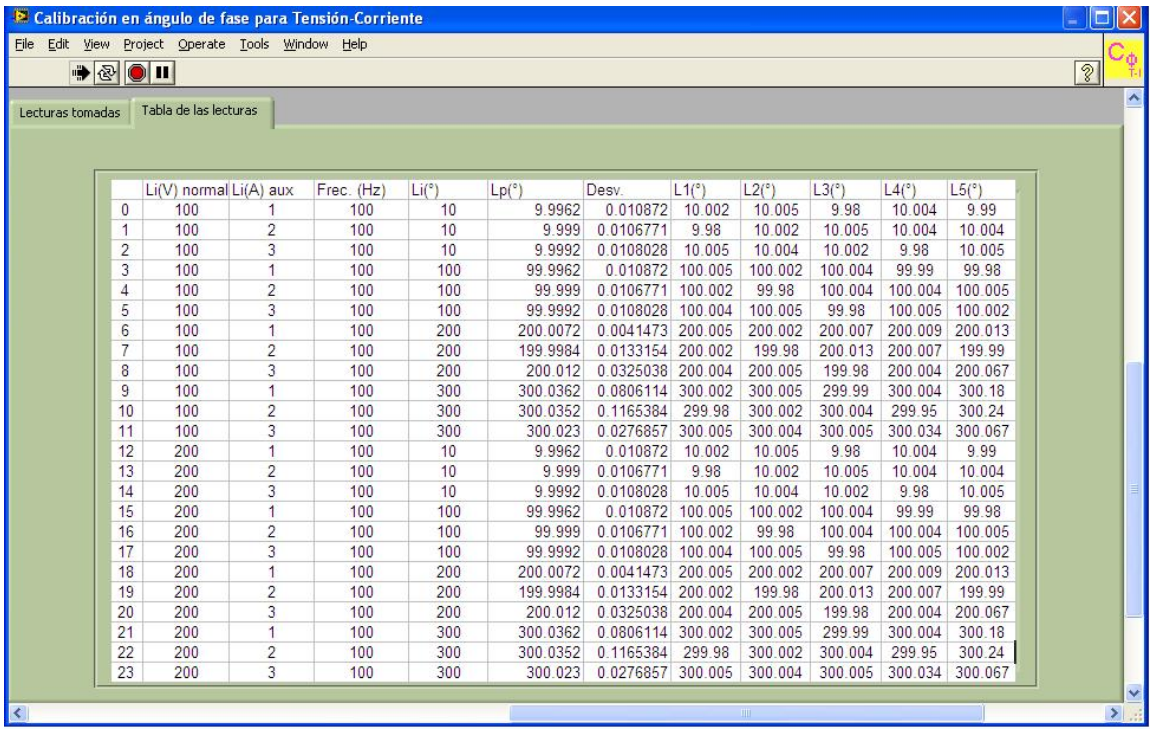
En la pestaña llamada TABLA DE LAS LECTURAS se muestran los valores de tensiones (y/o corrientes), frecuencia y ángulo de fase de las señales generadas en el IBC y las cinco lecturas tomadas por el IPAT, su promedio y desviación estándar para cada punto de calibración. Cuando se trabaja con señales tensión-tensión la pantalla se muestra en la figura 52 y para señales tensión-corriente en la figura 53.

Al presionar el botón SALIR termina la calibración y el programa regresa a la pantalla de selección de los instrumentos para la calibración de ángulo de fase (fig. 46) y se abre automáticamente una hoja de EXCEL que contiene también la tabla de lecturas que será usada para elaborar el informe de calibración. Cuando se trabaja con señales tensión-tensión la pantalla se muestra en la figura 54 y para señales tensión-corriente en la figura 55.



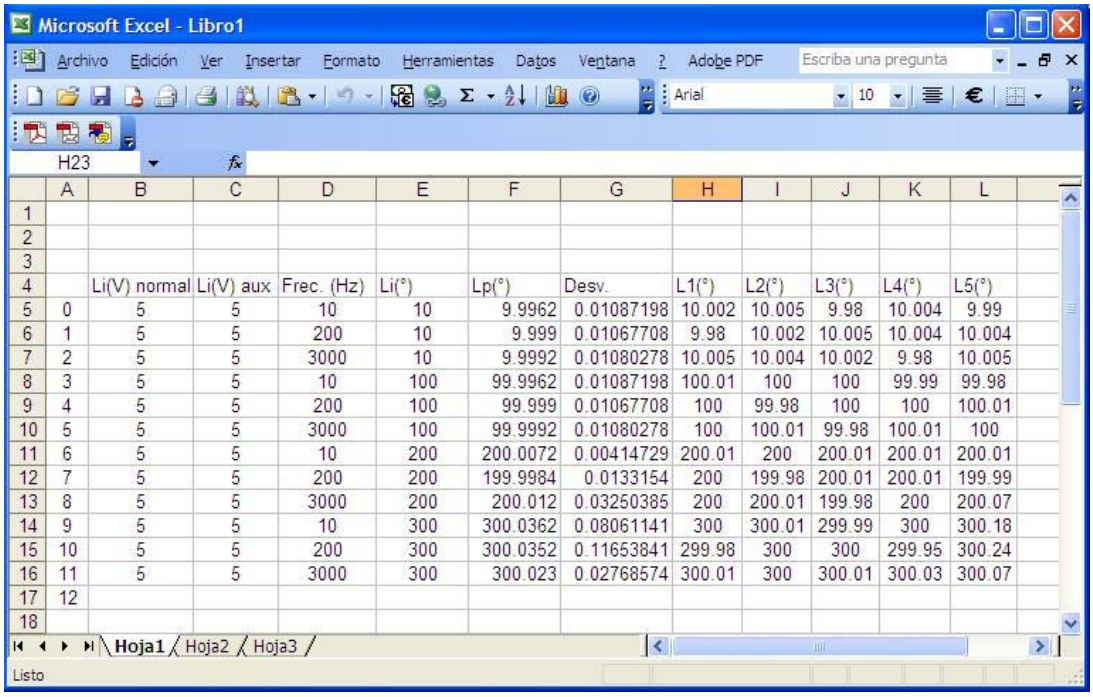
	Li(V) normal	Li(V) aux	Frec. (Hz)	Li(°)	Lp(°)	Desv.	L1(°)	L2(°)	L3(°)	L4(°)	L5(°)
0	5	5	10	10	9.9962	0.01087198	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
1	5	5	200	10	9.999	0.01067708	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
2	5	5	3000	10	9.9992	0.01080278	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
3	5	5	10	100	99.9962	0.01087198	100.01	100	100	99.99	99.98
4	5	5	200	100	99.999	0.01067708	100	99.98	100	100	100.01
5	5	5	3000	100	99.9992	0.01080278	100	100.01	99.98	100.01	100
6	5	5	10	200	200.0072	0.00414729	200.01	200	200.01	200.01	200.01
7	5	5	200	200	199.9984	0.0133154	200	199.98	200.01	200.01	199.99
8	5	5	3000	200	200.012	0.03250385	200	200.01	199.98	200	200.07
9	5	5	10	300	300.0362	0.08061141	300	300.01	299.99	300	300.18
10	5	5	200	300	300.0352	0.11653841	299.98	300	300	299.95	300.24
11	5	5	3000	300	300.023	0.02768574	300.01	300	300.01	300.03	300.07
12											

Figura 52. Tabla de lecturas de la calibración en ángulo de fase entre señales tensión-tensión.



	Li(V) normal	Li(A) aux	Frec. (Hz)	Li(°)	Lp(°)	Desv.	L1(°)	L2(°)	L3(°)	L4(°)	L5(°)
0	100	1	100	10	9.9962	0.010872	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
1	100	2	100	10	9.999	0.0106771	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
2	100	3	100	10	9.9992	0.0108028	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
3	100	1	100	100	99.9962	0.010872	100.005	100.002	100.004	99.99	99.98
4	100	2	100	100	99.999	0.0106771	100.002	99.98	100.004	100.004	100.005
5	100	3	100	100	99.9992	0.0108028	100.004	100.005	99.98	100.005	100.002
6	100	1	100	200	200.0072	0.0041473	200.005	200.002	200.007	200.009	200.013
7	100	2	100	200	199.9984	0.0133154	200.002	199.98	200.013	200.007	199.99
8	100	3	100	200	200.012	0.0325038	200.004	200.005	199.98	200.004	200.067
9	100	1	100	300	300.0362	0.0806114	300.002	300.005	299.99	300.004	300.18
10	100	2	100	300	300.0352	0.1165384	299.98	300.002	300.004	299.95	300.24
11	100	3	100	300	300.023	0.0276857	300.005	300.004	300.005	300.034	300.067
12	200	1	100	10	9.9962	0.010872	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
13	200	2	100	10	9.999	0.0106771	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
14	200	3	100	10	9.9992	0.0108028	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
15	200	1	100	100	99.9962	0.010872	100.005	100.002	100.004	99.99	99.98
16	200	2	100	100	99.999	0.0106771	100.002	99.98	100.004	100.004	100.005
17	200	3	100	100	99.9992	0.0108028	100.004	100.005	99.98	100.005	100.002
18	200	1	100	200	200.0072	0.0041473	200.005	200.002	200.007	200.009	200.013
19	200	2	100	200	199.9984	0.0133154	200.002	199.98	200.013	200.007	199.99
20	200	3	100	200	200.012	0.0325038	200.004	200.005	199.98	200.004	200.067
21	200	1	100	300	300.0362	0.0806114	300.002	300.005	299.99	300.004	300.18
22	200	2	100	300	300.0352	0.1165384	299.98	300.002	300.004	299.95	300.24
23	200	3	100	300	300.023	0.0276857	300.005	300.004	300.005	300.034	300.067

Figura 53. Tabla de lecturas de la calibración en ángulo de fase entre señales tensión-corriente.



Microsoft Excel - Libro1

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Adobe PDF — Escriba una pregunta

Arial 10

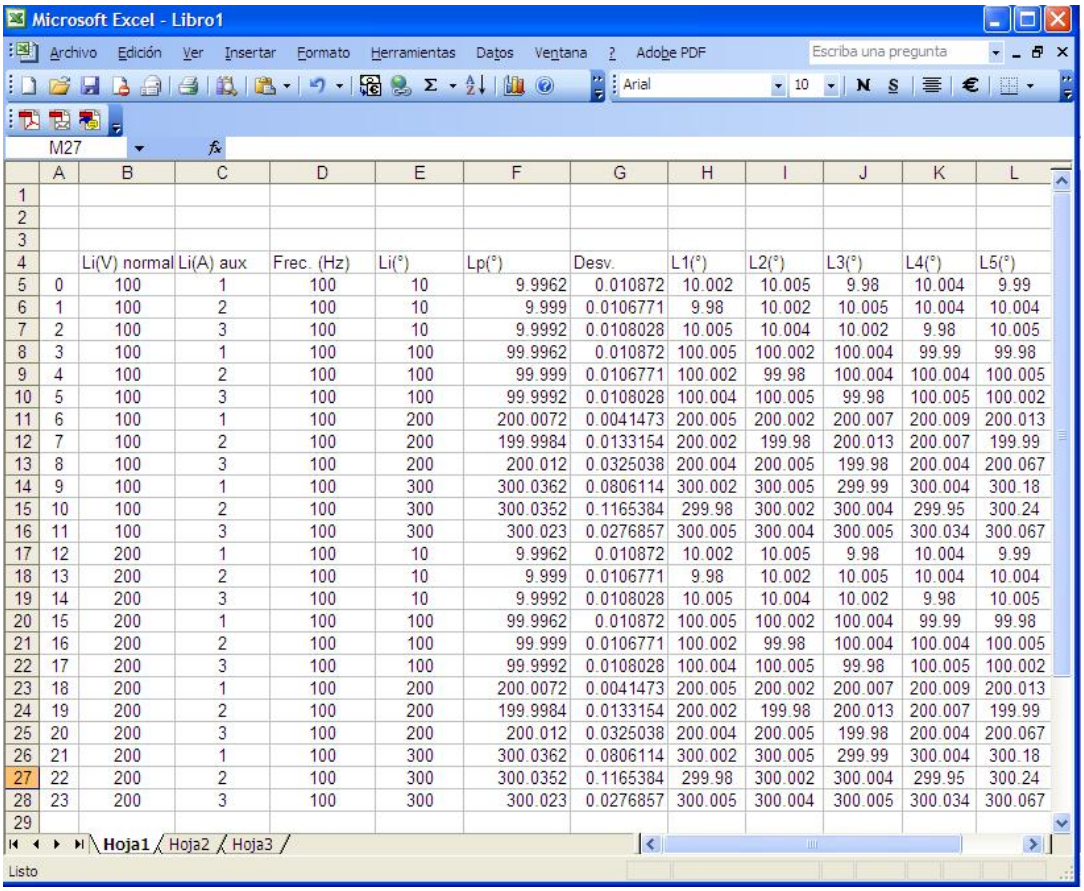
H23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4		Li(V) normal	Li(V) aux	Frec. (Hz)	Li(°)	Lp(°)	Desv.	L1(°)	L2(°)	L3(°)	L4(°)	L5(°)
5	0	5	5	10	10	9.9962	0.01087198	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
6	1	5	5	200	10	9.999	0.01067708	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
7	2	5	5	3000	10	9.9992	0.01080278	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
8	3	5	5	10	100	99.9962	0.01087198	100.01	100	100	99.99	99.98
9	4	5	5	200	100	99.999	0.01067708	100	99.98	100	100	100.01
10	5	5	5	3000	100	99.9992	0.01080278	100	100.01	99.98	100.01	100
11	6	5	5	10	200	200.0072	0.00414729	200.01	200	200.01	200.01	200.01
12	7	5	5	200	200	199.9984	0.0133154	200	199.98	200.01	200.01	199.99
13	8	5	5	3000	200	200.012	0.03250385	200	200.01	199.98	200	200.07
14	9	5	5	10	300	300.0362	0.08061141	300	300.01	299.99	300	300.18
15	10	5	5	200	300	300.0352	0.11653841	299.98	300	300	299.95	300.24
16	11	5	5	3000	300	300.023	0.02768574	300.01	300	300.01	300.03	300.07
17	12											
18												

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Listo

Figura 54. Tabla de lecturas en EXCEL para la calibración en ángulo de fase tensión-tensión.



Microsoft Excel - Libro1

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Adobe PDF — Escriba una pregunta

Arial 10

M27

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4		Li(V) normal	Li(A) aux	Frec. (Hz)	Li(°)	Lp(°)	Desv.	L1(°)	L2(°)	L3(°)	L4(°)	L5(°)
5	0	100	1	100	10	9.9962	0.010872	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
6	1	100	2	100	10	9.999	0.0106771	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
7	2	100	3	100	10	9.9992	0.0108028	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
8	3	100	1	100	100	99.9962	0.010872	100.005	100.002	100.004	99.99	99.98
9	4	100	2	100	100	99.999	0.0106771	100.002	99.98	100.004	100.004	100.005
10	5	100	3	100	100	99.9992	0.0108028	100.004	100.005	99.98	100.005	100.002
11	6	100	1	100	200	200.0072	0.0041473	200.005	200.002	200.007	200.009	200.013
12	7	100	2	100	200	199.9984	0.0133154	200.002	199.98	200.013	200.007	199.99
13	8	100	3	100	200	200.012	0.0325038	200.004	200.005	199.98	200.004	200.067
14	9	100	1	100	300	300.0362	0.0806114	300.002	300.005	299.99	300.004	300.18
15	10	100	2	100	300	300.0352	0.1165384	299.98	300.002	300.004	299.95	300.24
16	11	100	3	100	300	300.023	0.0276857	300.005	300.004	300.005	300.034	300.067
17	12	200	1	100	10	9.9962	0.010872	10.002	10.005	9.98	10.004	9.99
18	13	200	2	100	10	9.999	0.0106771	9.98	10.002	10.005	10.004	10.004
19	14	200	3	100	10	9.9992	0.0108028	10.005	10.004	10.002	9.98	10.005
20	15	200	1	100	100	99.9962	0.010872	100.005	100.002	100.004	99.99	99.98
21	16	200	2	100	100	99.999	0.0106771	100.002	99.98	100.004	100.004	100.005
22	17	200	3	100	100	99.9992	0.0108028	100.004	100.005	99.98	100.005	100.002
23	18	200	1	100	200	200.0072	0.0041473	200.005	200.002	200.007	200.009	200.013
24	19	200	2	100	200	199.9984	0.0133154	200.002	199.98	200.013	200.007	199.99
25	20	200	3	100	200	200.012	0.0325038	200.004	200.005	199.98	200.004	200.067
26	21	200	1	100	300	300.0362	0.0806114	300.002	300.005	299.99	300.004	300.18
27	22	200	2	100	300	300.0352	0.1165384	299.98	300.002	300.004	299.95	300.24
28	23	200	3	100	300	300.023	0.0276857	300.005	300.004	300.005	300.034	300.067
29												

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Listo

Figura 55. Tabla de lecturas en Excel para la calibración en ángulo de fase tensión-corriente.

5.2.2 Diagrama de bloques

La programación de la funcionalidad de la interfaz de usuario se realizó utilizando un ejemplo en LABVIEW llamado *New event handler.vi* que responde a eventos en los controles de la interfaz de usuario (presionar un botón, hacer clic derecho con el Mouse, etc.). Esta platilla basa su funcionamiento en una arquitectura de programación conocida como *User Interface Event Handler* que consta de un ciclo While (*While Loop*) que contiene una Estructura de Eventos (*Event Structure).*

La funcionalidad de la interfaz de usuario que permite elegir el tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase; tensión-tensión o tensión-corriente (fig. 45), tiene considerados los eventos siguientes (fig. 56) para los controles señalados en la Tabla 5.

Evento	Control (tipo botón)	Evento asociado	Comentarios
1	Tensión-Tensión	Value change	Aparece la pantalla de selección de instrumentos (fig. 46)
2	Tensión-Corriente	Value change	Aparece la pantalla de selección de Instrumentos (fig. 46)
3	Regresar	Value change	Aparece la pantalla del VI principal (fig. 44)

Tabla 5. Eventos para seleccionar el tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase.

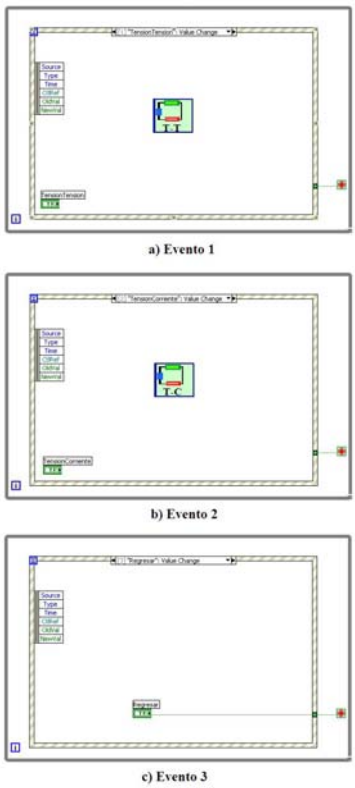


Figura 56. Eventos para seleccionar el tipo de señales entre las que se mide el ángulo de fase.

Al seleccionar el tipo de señal aparece la pantalla de selección de los instrumentos (fig. 46) en esta pantalla se tienen considerados los eventos siguientes (fig. 57 y 58) para los controles señalados en la Tabla 6.

Evento	Control (tipo botón)	Evento Asociado	Comentarios
1	Ver Diagrama Eléctrico	Mause up	Muestra por dos y medio segundos un diagrama eléctrico que representa las conexiones realizadas entre los instrumentos (fig. 49 ó 50)
2	Calibración	Value change	Inicia la calibración del instrumento (fig. 51)
3	Anterior	Value change	Aparece la pantalla de selección de señales al salir de VI de selección de instrumentos (fig. 45)
4	Instrumento De Medición	Mause up	Permite introducir la información del CLARKE HESS 6000 (fig. 47)
5	Calibrador Multifunción	Mause up	Permite introducir la información del FLUKE 5500A (fig. 48)
6		Time out	Hace invisible el diagrama eléctrico cada 2.5 segundos

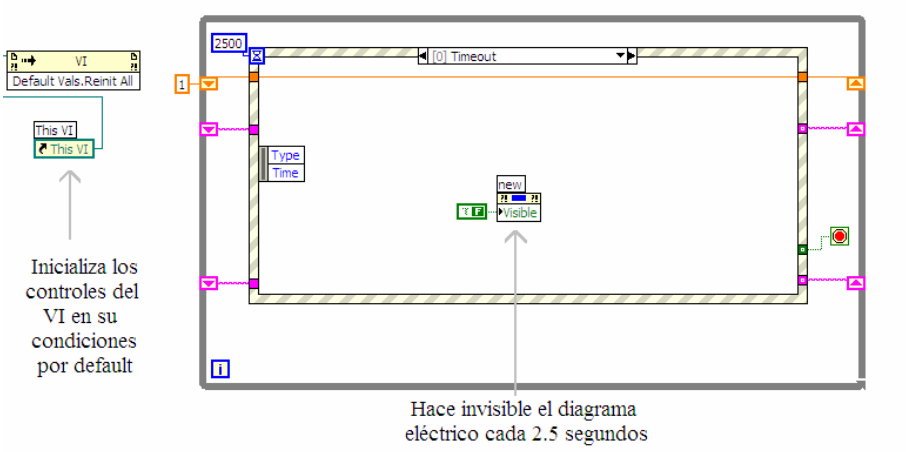
Tabla 6. Eventos para la selección de instrumento.

Para programar en LABVIEW los diagramas de flujo (fig. 42 y 43), se obtuvieron de la página de NI [31] y de la compañía CLARKE HESS los drivers del FLUKE 5500A y del CLARKE HESS 6000 respectivamente.

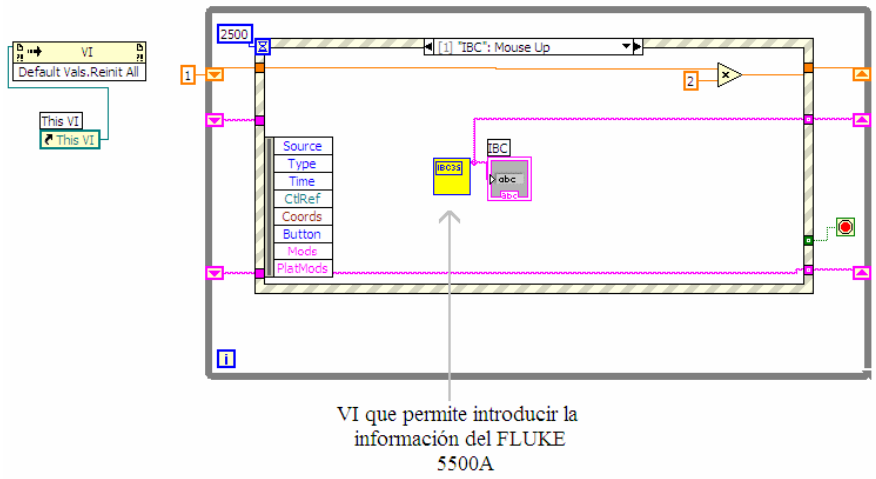
Los drivers (controladores) de un instrumento, son VIs realizados en LABIEW que permiten enviar y recibir información entre un instrumento programable y una computadora personal o portátil a través de la interfaz GPIB o RS-232. Estos VIs se encuentran en general dentro de una carpeta con extensión .llb para versiones de LABVIEW menores a ocho o en un proyecto para versiones de LABVIEW de ocho en adelante.

Entre los drivers de un instrumento se encuentra un VI conocido como árbol de drivers, cuyo nombre se construye con el identificador del nombre del instrumento seguido de la palabra VI Tree y con extensión .vi. En este programa se colocan los iconos de todos los VIs divididos en categorías que facilitan su uso (Initialize, close, output functions, etc.) y dependen de la función del instrumento.

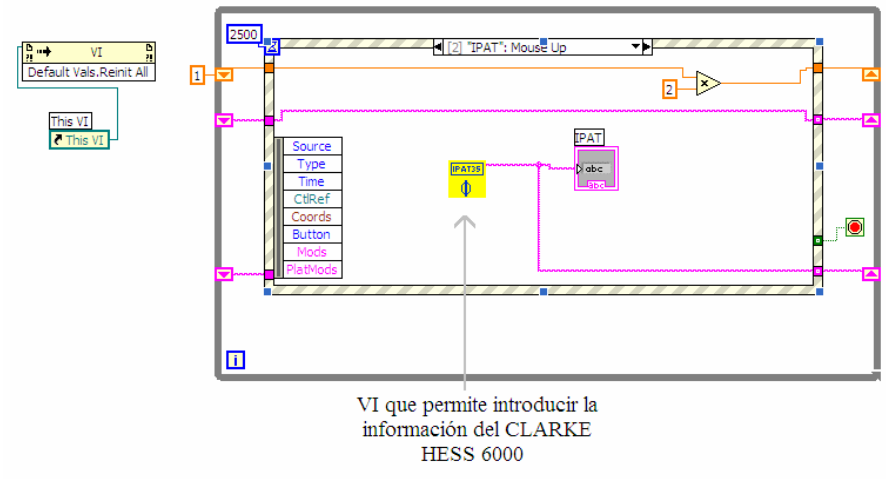
La figura 59 muestra el árbol del FLUKE 5500A. Estos drivers permiten interactuar con el FLUKE 5500A, 5520A, 5700A y 5720A.



a) Evento 1

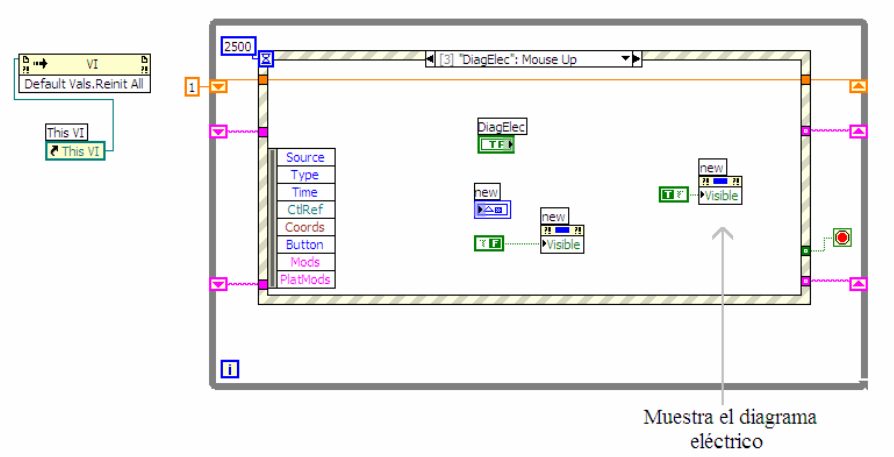


b) Evento 2

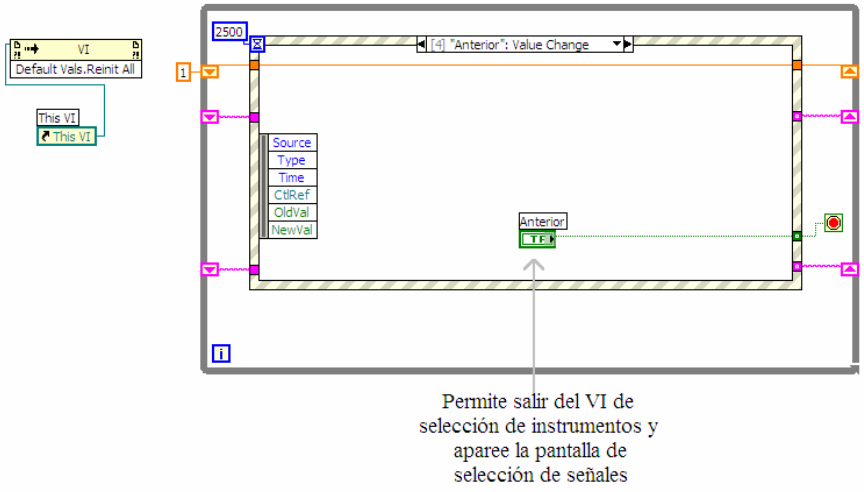


c) Evento 3

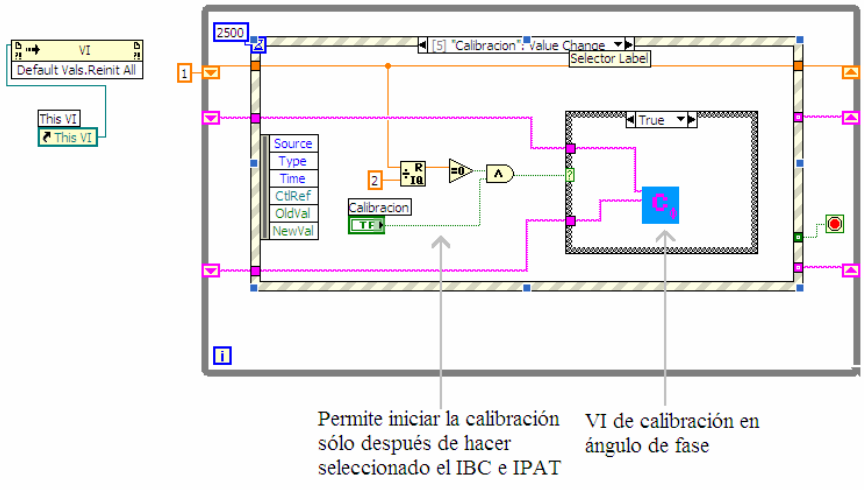
Figura 57. Eventos para la selección del instrumento.



d) Evento 4



e) Evento 5



f) Evento 6

Figura 58. Eventos para la selección del instrumento.

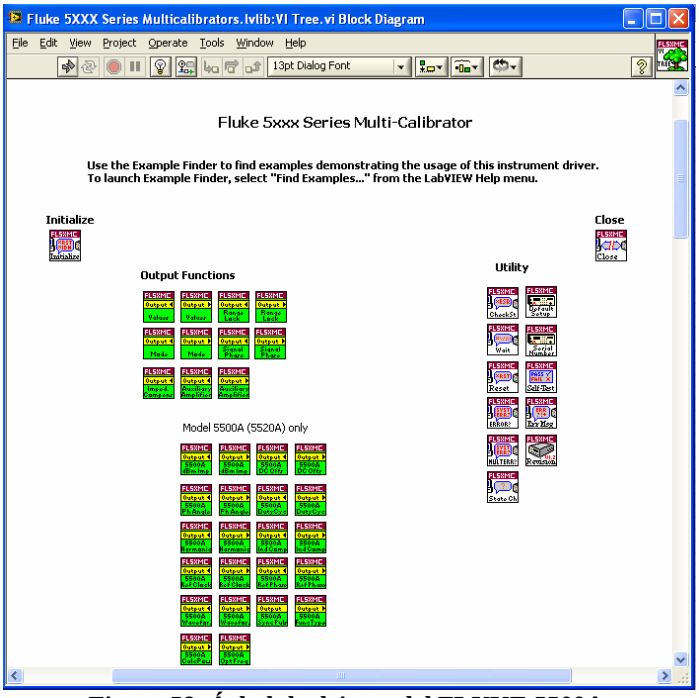


Figura 59. Árbol de drivers del FLUKE 5500A.

Cada driver de un instrumento consta de un panel frontal (fig. 60) y un diagrama de bloques (fig. 61) En el panel frontal se encuentran controles e indicadores entre los cuales se encuentra el identificador de la interfaz a través de la cual se comunica el instrumento con una computadora, en el diagrama de bloques se encuentran las instrucciones SCPI correspondientes a cada instrumento.

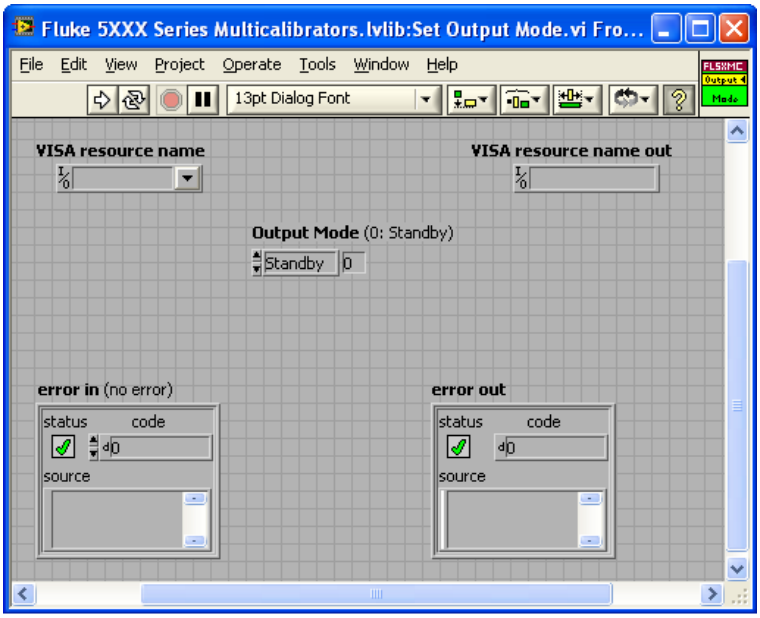


Figura 60. Panel frontal del driver OPERATE del FLUKE 5500A.

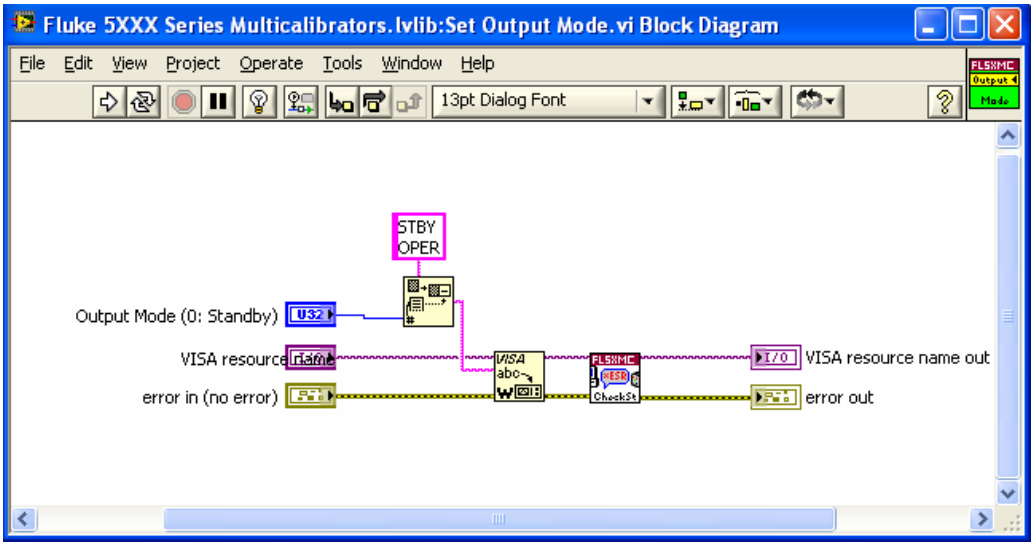


Figura 61. Diagrama de bloques del driver OPERATE del FLUKE 5500A.

Algunos instrumentos no cuentan con drivers de acceso libre por lo cual se requiere solicitarlos al fabricante o se programan con base en las instrucciones que se encuentran en el manual d programación.

En particular, el driver del CLARKE HESS 6000 fue proporcionado por el fabricante del instrumento y sólo se recibió un programa que consta de un panel frontal (fig. 62) y un diagrama de bloques (fig. 63) que permite leer el ángulo de fase entre las señales conectadas al instrumento y mostrar si esta o no dentro de un intervalo determinado.

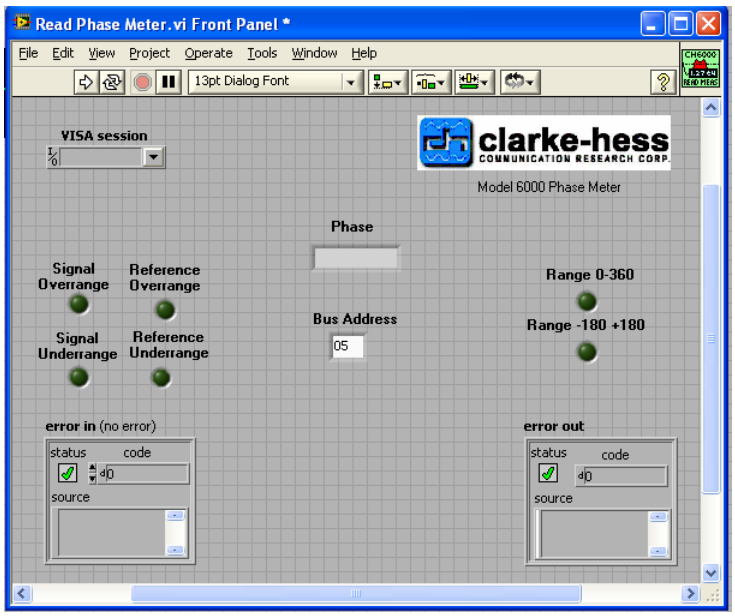


Figura 62. Panel frontal del driver del CLARKE HESS 6000.

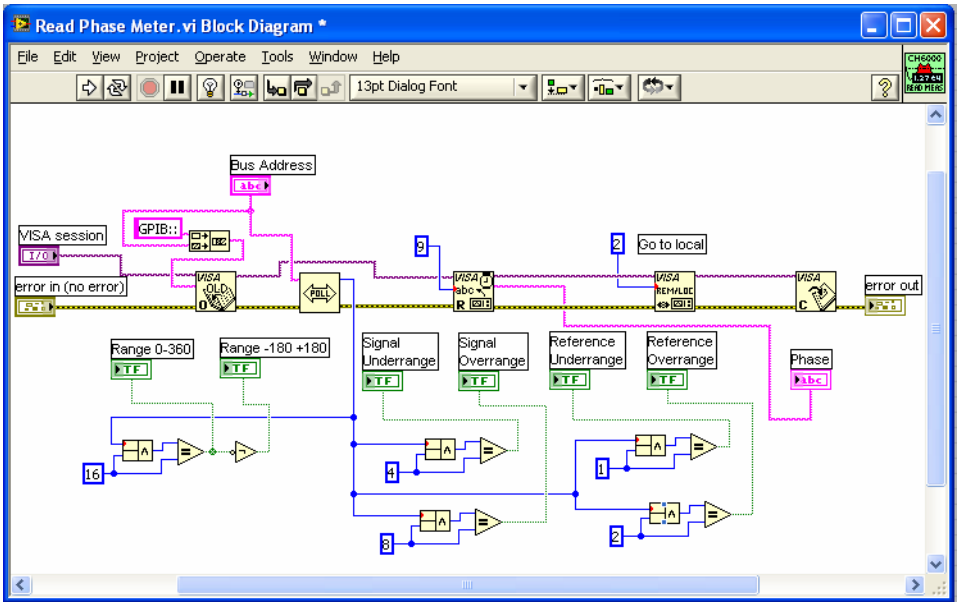


Figura 63. Diagrama de bloques del CLARKE HESS 6000.

5.2.2.1 Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500 en ángulo de fase para señales tensión-tensión.

La figura 64 muestra el diagrama de bloques, dividido en seis secciones, del programa de calibración descrito en el diagrama de flujo de la figura 42.

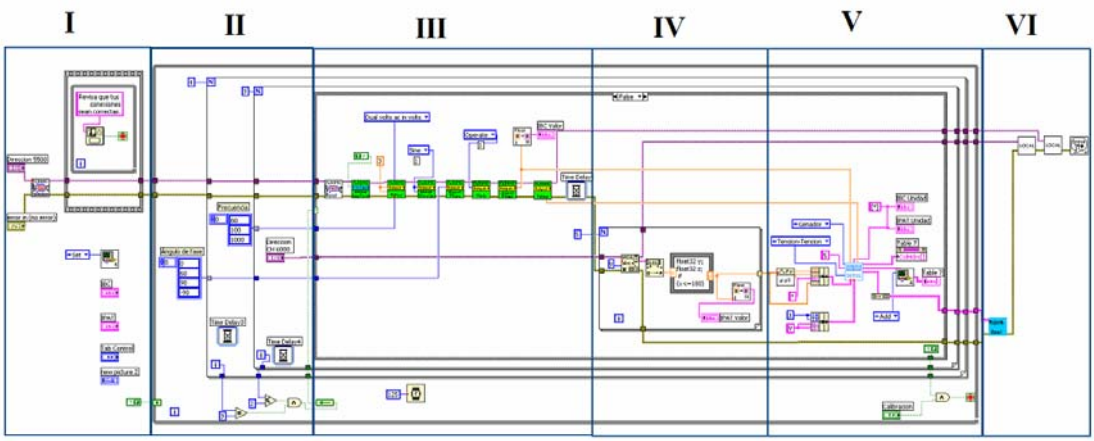


Figura 64. Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-tensión.

Sección I: En esta sección se verifica si existe la comunicación con el instrumento y se manda un mensaje que pide revisar las conexiones de los instrumentos antes de realizar la calibración.

Sección II: En esta sección se observan dos ciclos for anidados que toman un valor de frecuencia y ángulo de fase de los arreglos FRECUENCIA y ÁNGULO DE FASE.

Las iteraciones de cada ciclo son comparadas con condiciones establecidas que al cumplirse terminan el envío o lectura de información de los instrumentos gracias al uso de una estructura Case (Case Structure).

Sección III: En esta sección se localizan los iconos de los drivers del FLUKE 5500A que inicializan el instrumento, ponen en corto las terminales LO de los canales NORMAL y AUX, definen la forma de onda de las señales de salida, envían los valores de tensión, frecuencia y ángulo de fase y activan la salida del instrumento.

Sección IV: En esta sección hay un ciclo for que contiene el driver del CLARKE HESS 6000, que permite leer y almacenar el ángulo de fase generado por el FLUKE 5500A.

Sección V: En esta sección se determina el promedio y la desviación estándar de las lecturas tomadas por el CLARKE HESS 6000. Para cada punto de calibración se tabulan los valores de tensión, frecuencia, ángulo de fase, promedio, desviación estándar y cinco lecturas realizadas por el CLARKE HESS.

Sección VI: Esta sección genera un reporte en EXCEL a partir de la tabla de lecturas construida en la sección V y se manda un comando a los instrumentos utilizados para que trabajen en modo local con lo que se finaliza la comunicación con los instrumentos.

5.2.2.2 Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-corriente.

Con base en el diagrama de flujo de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-corriente (fig. 43) se programo el diagrama de bloques de la figura 65.

Este diagrama se divide en seis secciones cuya función se describe a continuación:

Sección I: En esta sección se verifica si existe la comunicación con el instrumento y se manda un mensaje que pide revisar las conexiones de los instrumentos antes de realizar la calibración.

Sección II: En esta sección se observan tres ciclos for anidados que toman un valor de tensión, ángulo de fase y corriente de los arreglos TENSIÓN, ÁNGULO DE FASE y CORRIENTE. Las iteraciones de cada ciclo son comparadas con condiciones establecidas que al cumplirse terminan el envío o lectura de información de los instrumentos gracias al uso de una estructura Case (Case Structure).

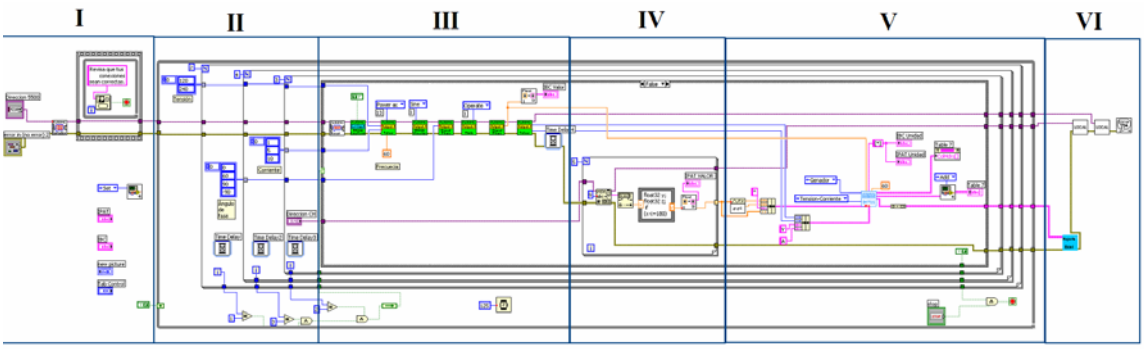


Figura 65. Diagrama de bloques de la calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase para señales tensión-corriente.

Sección III: En esta sección se localizan los iconos de los drivers del FLUKE 5500A que inicializan el instrumento, ponen en corto las terminales LO de los canales NORMAL y AUX, definen la forma de onda de las señales de salida, envían los valores de tensión, frecuencia y ángulo de fase y activan la salida del instrumento.

Sección IV: En esta sección hay un ciclo for que contiene el driver del CLARKE HESS 6000, que permite leer y almacenar el ángulo de fase generado por el FLUKE 5500A.

Sección V: En esta sección se determina el promedio y la desviación estándar de las lecturas tomadas por el CLARKE HESS 6000. Para cada punto de calibración se tabulan los valores de tensión, frecuencia, ángulo de fase, promedio, desviación estándar y cinco lecturas realizadas por el CLARKE HESS.

Sección VI: Esta sección genera un reporte en EXCEL a partir de la tabla de lecturas construida en la sección V y se manda un comando a los instrumentos utilizados para que trabajen en modo local con lo que se finaliza la comunicación con los instrumentos.

5.3 Prueba del programa de automatización del procedimiento de calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales tensión-tensión.

En el mes de mayo de este año se realizó una visita al LAPEM en donde se probaron los programas realizados para la automatización del procedimiento calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales tensión-tensión y tensión-corriente.

Para esta prueba se conectaron los instrumentos y una computadora portátil como se muestra en la figura 66; en la que se observa que la conexión entre los instrumentos es directa. La terminal NORMAL y AUX del FLUKE 5500ª, ambas

generan tensión eléctricas, se conectan a las terminales de REFERENCE IN y SIGNAL IN del CLARKE HESS 6000 respectivamente.

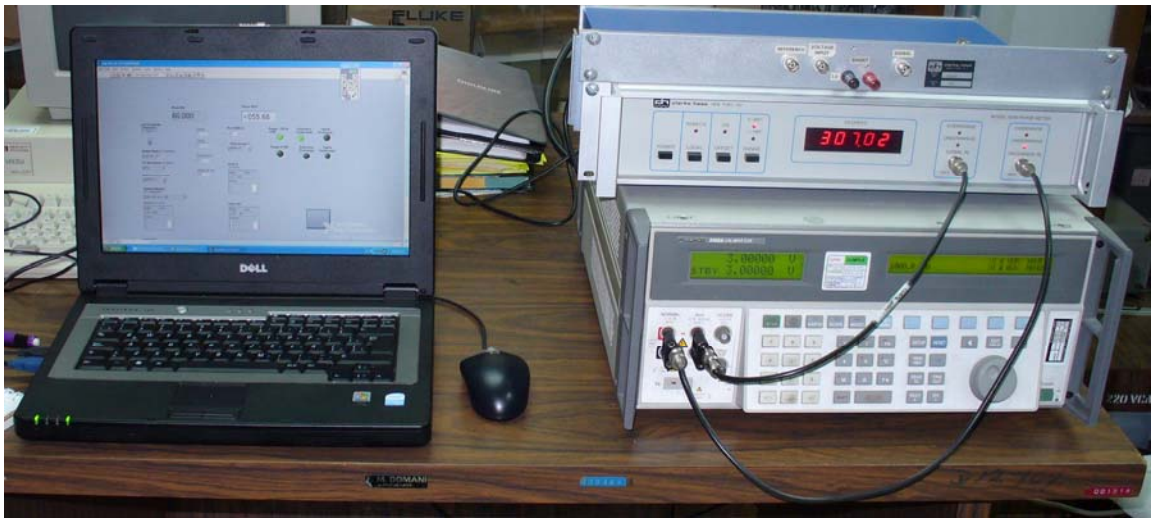


Figura 66. Prueba de la calibración en ángulo de fase tensión-tensión

Como resultado de esta prueba se logró:

- Establecer la comunicación entre los instrumentos a través de la interfaz GPIB.
- Controlar los instrumentos FLUKE 5500A Y CLARKE HESS 6000 para la generación y medición de ángulo de fase entre señales tensión-tensión a través de una computadora portátil.
- Realizar la calibración del FLUKE 5500A para los puntos de calibración definidos por el usuario.
- Mandar la información de los instrumentos y la tabla de lecturas generada a la hoja en EXCEL que permite generar el informe de calibración.
- Aprobación del programa de automatización por parte del personal del LAPEM

5.4 Prueba del programa de automatización del procedimiento de calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase entre señales tensión-corriente.

Para esta prueba se conectaron los instrumentos como se muestra en la figura 67, en la que se observa que la conexión de los instrumentos es directa. La terminal NORMAL del FLUKE 5500ª, que genera tensión eléctrica, se conecta a las terminales de REFERENCE IN del CLARKE HESS 6000 y la terminal AUX del FLUKE 5500A, que genera corriente, se conecta a las terminales SHUNT, y de la terminal SIGNAL a la terminal SIGNAL IN, del CLARKE HESS 6000.

La segunda prueba que se realizó (Figura 73) fue para la calibración de ángulo de fase tensión-corriente

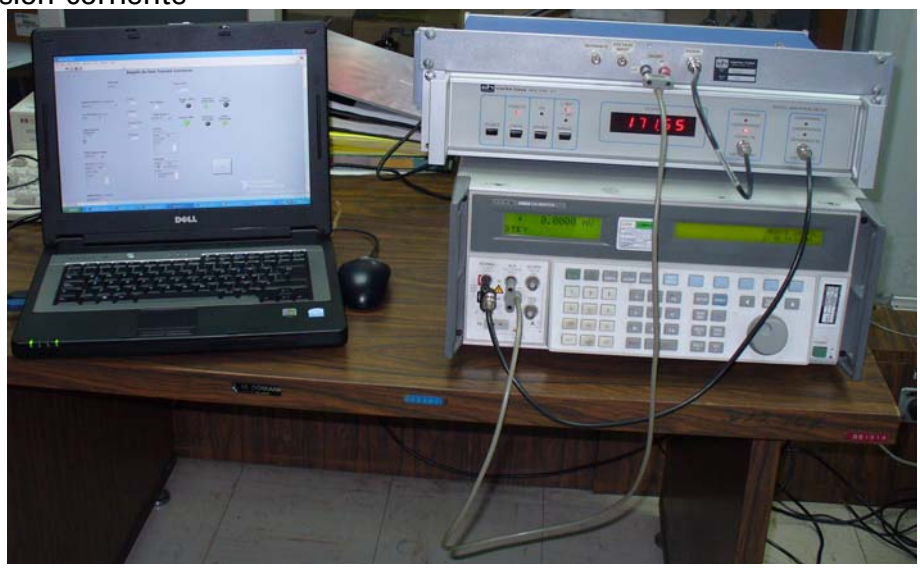


Figura 67. Prueba de la calibración en ángulo de fase tensión-corriente

Como resultado de esta prueba se logró:

- Establecer la comunicación entre los instrumentos a través de la interfaz GPIB.
- Controlar los instrumentos FLUKE 5500A Y CLARKE HESS 6000 para la generación y medición de ángulo de fase entre señales tensión-corriente a través de una computadora portátil.
- Realizar la calibración del FLUKE 5500A para los puntos de calibración definidos por el usuario.
- Mandar la información de los instrumentos y la tabla de lecturas generada a la hoja en EXCEL que permite generar el informe de calibración.
- Aprobación del programa de automatización por parte del personal del LAPEM

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Se logró el objetivo de automatizar el procedimiento de calibración del FLUKE 5500A usando una computadora portátil con una tarjeta de interfaz NI-PCMCIA-GPIB a través de la cual se controlaron el calibrador multifunción FLUKE 5500A y del medidor de ángulo de fase CLARKE HESS 6000, para la generación y medición de ángulo de fase entre señales tensión-tensión y tensión-corriente para diferentes puntos de calibración.

Uno de los aspectos más importantes para realizar la automatización fue entender el procedimiento manual de calibración del FLUKE 5500A en ángulo de fase, así como la operación de los instrumentos utilizados.

Este trabajo muestra a LABVIEW como una herramienta útil y fácil de usar para plasmar los diagramas de flujo del proceso de automatización, una vez que se define.

Este trabajo no sólo consistió en trasladar la solución propuesta a través de los diagramas de flujo a los diagramas de bloques de LABVIEW sino que también consistió en realizar una investigación documental sobre conceptos de Metrología, comunicación a través de la interfaz GPIB, estándar IEEE 488.1 y IEEE 488.2, análisis de manuales de operación de los instrumentos utilizados, realizar visitas al LAPEM para establecer la comunicación con los instrumentos, aprender a usar LABVIEW así como realizar el procedimiento de calibración el FLUKE 5500A en ángulo de fase de forma automática.

Un aspecto interesante en la elaboración de esta tesis fue aplicar conocimientos de temas vistos en algunos cursos impartidos en la Facultad, como Medición e Instrumentación, Análisis de Sistemas y Señales, Sistemas Eléctricos de Potencia. Este trabajo muestra que las enseñanzas académicas de la carrera se ponen en práctica aplicaciones industriales.

A través de este trabajo se comprendió la importancia de realizar mediciones en diversos sectores (económico, industrial, educativo, etc.). En particular, la medición de ángulo de fase, que es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, que requiere que su medición tenga un error e incertidumbre asociada conocida. Esto se logra a través de la calibración de instrumentos patrón, como el FLUKE 5500A, que son usados como referencia para la calibración de medidores de ángulo de fase de trabajo.

El realizar la calibración de forma automática del FLUKE 5500A disminuye el tiempo en que realiza la misma, permite evitar errores en la configuración de los instrumentos y evitar errores humanos en la captura de las lecturas en EXCEL ya que esto se realiza de forma automática.

APÉNDICES

Apéndice A

Sistema Métrico o Sistema Métrico Decimal

El Sistema métrico [32] o fue inventado en 1790 el cual es un sistema de unidades decimal. En 1960 fue oficialmente denominado Système International d'Unités o SI.

Como unidad de longitud se estableció el metro cuyo estándar físico se igualó la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, como unidad de peso se estableció el gramo definido como la masa de un centímetro cúbico de agua en su temperatura de densidad máxima, ambos confeccionados en una aleación de platino.

Las cantidades se expresan como múltiplos de diez de la unidad básica con que se trabaja, por ejemplo kilómetro o kilogramo. Cada múltiplo de diez tiene asociado un prefijo o sufijo, que se muestran en la Tabla 7.

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a

Tabla 7 . Prefijos y Sufijos.

El sistema métrico es llamado también decimal porque se basa en múltiplos de 10. Cualquier medida dada en una unidad métrica puede ser convertida a otra unidad métrica por ejemplo, moviendo el lugar decimal.

En la ciencia, es común trabajar con números grandes del orden de magnitud de 10^{6} o números pequeños del orden de 10^{-9}. Números como estos generalmente se escriben usando la abreviación llamada la notación científica.

En la Tabla 8 se muestran diferentes valores numéricos, sus equivalentes en notación científica y la representación numérica de cada uno.

Valor numérico	Representación en Notación Científica	Representación numérica
Millonésima	10^{-6}	0,000001
Milésima	10^{-3}	0,001
Centésima	10^{-2}	0,01
Décima	10^{1}	0,1
Uno	**1**	1
Diez	10^{1}	10
Cien	10^{2}	100
Mil	10^{3}	1 000
Millón	10^{6}	1 000 000
Mil millones	10^{9}	1 000 000 000

Tabla 8. Representación en notación científica.

Apéndice B

Sistema Internacional de Unidades.

El Sistema Internacional de Unidades [33], abreviado SI, también denominado Sistema Internacional de Medidas. Es el sistema de unidades más comúnmente usado en el mundo junto con el sistema métrico decimal, que es su antecesor. Fue creado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas, que inicialmente definió seis unidades físicas básicas o fundamentales. En 1971, fue añadida la séptima unidad básica, el mol.

Una de sus principales características es que sus unidades están basadas en fenómenos físicos fundamentales. La única excepción es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, que está definida como "la masa del prototipo internacional del kilogramo" o aquel cilindro de platino e iridio almacenado en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.

El Sistema Internacional de Unidades consta de siete unidades básicas (Tabla 9), también denominadas unidades fundamentales. Son las unidades utilizadas para expresar las magnitudes físicas definidas como fundamentales, a partir de las cuales se definen las demás.

Magnitud física fundamental	Unidad básica o fundamental	Símbolo
Longitud	Metro	m
Tiempo	Segundo	s
Masa	Kilogramo	kg
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio o Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

Tabla 9. Unidades básicas.

A partir de estas siete unidades de base se establecen las demás unidades de uso práctico, conocidas como unidades derivadas, asociadas a magnitudes tales como velocidad, aceleración, fuerza, presión, energía, tensión, resistencia eléctrica, etc.

Las definiciones de las unidades de fundamentales [34] son las siguientes:

El **metro** (m) se define como la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de 1 / 299 792 458 de segundo (17ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983).

El **kilogramo** (kg) se define como la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo (1ª y 3ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1889 y 1901).

El **segundo** (s) se define como la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133 (13ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

El **ampere** (A) se define como la intensidad de una corriente constante, que mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud (9ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1948).

El **kelvin** (K) se define como la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

El **mol** (mol) se define como la cantidad de materia que contiene tantas unidades elementales como átomos existen en 0,012 kilogramos de carbono 12 (^{12}C) (14ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1971).

La **candela** (cd) se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es de 1/683 watt por esterradián (16ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1979).

Apéndice C

Sistema General de Unidades de Medida [35]

INTRODUCCIÓN AL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

El Sistema Internacional de Unidades es conocido como "SI" en todos los idiomas y fue adoptado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas, máxima autoridad internacional en metrología, de la cual nuestro país es miembro.

En México, este Sistema se adoptó con el nombre de Sistema General de Unidades de Medida y la información que se presenta a continuación ha sido extractada de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI y puede ser adquirida en la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía.

DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES SI DE BASE

Magnitud	Nombre	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampere	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
cantidad de substancia	mol	mol
intensidad luminosa	candela	cd

- El metro es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un lapso de 1/299 792 458 de segundo (17a. CGPM-1983).
- El kilogramo es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo (1a. y 3a. CGPM-1889 Y 1901).
- El segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 (13a. CGPM-1967, resolución 1).
- El ampere es la intensidad de una corriente eléctrica constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí, en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud (9a. CGPM-1948, resolución 2).
- El kelvin es la fracción 1/273.16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13a. CGPM-1967, resolución 4).
- La candela es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 watts por estereradián (16a. CGPM-1979, resolución 3).
- El mol es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existan átomos en 0.012 kg de carbono 12 (14a. CGPM-1979, resolución 3).

EJEMPLO DE UNIDADES SI DERIVADAS SIN NOMBRE ESPECIAL

Magnitud	Nombre	Símb
superficie	metro cuadrado	m^2
volumen	metro cúbico	m^3
velocidad	metro por segundo	m/s
aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s^2
Concentración (de cantidad de sustancia)	mol por metro cúbico	mol/m^3

DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES SI DERIVADAS (ANTES SUPLEMENTARIAS) (20a. CGPM-1995, resolución H)

Magnitud	Nombre	Símbolo
ángulo plano	radián	rad
ángulo sólido	estereradián	sr

- El radián es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo, un arco de longitud igual a la del radio (ISO/R 31-1).
- El estereradián es el ángulo sólido que tiene su vértice en el centro de una esfera, y, que intercepta sobre la superficie de esta esfera, una área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera (ISO-31-1).

UNIDADES SI DERIVADAS QUE TIENEN NOMBRE Y SÍMBOLO ESPECIAL

Magnitud	Nombre de Unidad (SI) Derivada	Símbolo	Expresión en Unidades (SI) de Base	Expresión en otras Unidades (SI)
Frecuencia	hertz	Hz	s^{-1}	
Fuerza	newton	N	$m\cdot kg\cdot s^{-2}$	
Presión, tensión mecánica	pascal	Pa	$m^{-1}\cdot kg\cdot s^{-2}$	N/m^2
Trabajo, energía	joule	J	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$	N.m
Potencia	watt	W	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}$	J/s
Carga eléctrica	coulomb	C	s.A	
Potencial eléctrico	volt	V	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}\cdot A^{-1}$	W/A
Capacitancia eléctrica	farad	F	$m^{-2}\cdot kg^{-1}\cdot s^2\cdot A^2$	C/V
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}\cdot A^{-2}$	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	$m^{-2}\cdot kg^{-1}\cdot s^3\cdot A^2$	A/V
Flujo magnético	weber	Wb	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1}$	V.s
Densidad de flujo magnético	tesla	T	$kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1}$	Wb/m^2
Inductancia	henry	H	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-2}$	Wb/A
Flujo luminoso	lumen	lm	cd.sr	
Luminosidad	lux	lx	$m^{-2}cdsr$	lm/m^2
Actividad nuclear	becquerel	Bq	s^{-1}	
Dosis absorbida	gray	Gy	$m^2\cdot s^{-2}$	J/kg
Temperatura Celsius	grado celsius	°C	T-273.16K	K
Dosis equivalente	sievert	Sv	$m^2\cdot s^{-2}$	J/kg

CGPM: Conferencia General de Pesas y Medidas (París, Francia).

ISO: Organización Internacional de Normalización (Ginebra, Suiza).

UNIDADES QUE SE CONSERVAN PARA USARSE CON EL SI

Magnitud	Unidad	Valor	Símbolo
ángulo plano	grado minuto segundo	(π/180) rad (π/10 800) rad (π/648 000) rad	° ' "
tiempo	año día hora minuto	31 556 926 s 86 400 s 3 600 s 60 s	a d h min
volumen	litro	10^{-3} m^3	l, L
masa	tonelada	10^3 kg	t

UNIDADES QUE PUEDEN USARSE TEMPORALMENTE CON EL SI

Magnitud	Unidad	Valor	Símbolo
longitud	angstrom milla náutica	10^{-10} m 1 852 m	Å
superficie	área hectárea barn	10^2 m^2 10^4 m^2 10^{-28} m^2	a ha b
velocidad	nudo	(1 852/3600)m/s	
presión	bar atm. normal	10^5 Pa 101 325 Pa	bar atm
aceleración	gal	10^{-2}m/s^2	Gal
radiactividad	curie	$3{,}7\times10^{10}$ Bq	Ci
dosis de radiación	rontgen	$2{,}58\times10^{-4}$ C/kg	R
dosis absorbida rad	(rd)	10^{-2} Gy	rad

PRFIJOS PARA FORMAR MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS

Nombre	Símbolo	Valor		
exa	E	10^{18}	=	1 000 000 000 000 000 000
Peta	P	10^{15}	=	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	=	1 000 000 000 000
giga	G	10^{9}	=	1 000 000 000
mega	M	10^{6}	=	1 000 000
kilo	k	10^{3}	=	1 000
hecto	h	10^{2}	=	100
deca	da	10^{1}	=	10
deci	d	10^{-1}	=	0,1
centi	c	10^{-2}	=	0,01
mili	m	10^{-3}	=	0,001
micro	μ	10^{-6}	=	0,000 001
nano	n	10^{-9}	=	0,000 000 001
pico	p	10^{-12}	=	0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	=	0, 000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	=	0,000 000 000 000 000 001

INFORMACIÓN ADICIONAL

DGN
Dirección General de Normas

Puente de Tecamachalco No. 6,
Col. Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes,
53950 Naucalpan de Juárez,
Estado de México.
Tel.: 5729-9490, 5729-9300 ext. 43207, 43208, 43209 y 43212, Fax: 5520-9715
Correo: cidgr@economia.gob.mx
Internet: www.economia.gob.mx/?P=85

DGN
Dirección General de Normas

Sistema Internacional de Unidades (SI)



Referencias

[1] http://www.invdes.com.mx/anteriores/Octubre2002/htm/cfe.html
[2] http://us.fluke.com/usen/products/ProductManuals.htm?cs_id=8059(FlukeProducts)&category=PMELECAL(FlukeProducts)
[3] http://www.clarke-hess.com/6000.html
[4] http://www.simet.gob.mx/Guas%20Tcnicas/Forms/AllItems.aspx
[5] http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-06-02-Historia-del-SI.pdf
[6] www.cddhcu.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polint/dpi31/asp-relv.htm - 43k
[7] http://www.cenam.mx/
[8] LA Guía Metas, Junio 2006, Año 06 #06
[9] http://www.quiminet.com.mx/ar7/ar_%2586l%25B7z%2523%25FAK%25D2.htm
[10] http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/METROLOGIA/cap1_mesp.htm
[11] http://www.mineco.gob.gt/mineco/calidad/Definicion.htm
[12] http://www.economia-nmx.gob.mx/
[13] http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-06-06-Clasificacion-areas-Metrologia.pdf
[14] Calibration: Philosophy un Practice Second Edition. FLUKE, 1994
[15] http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-05-07-metodos-de-medicion.pdf
[16] Curso de Metrología de Variables Eléctricas, FI, UNAM
[17] http://www.metrologia.cl/medios/VIM2006v0.doc
[18] http://www.cem.es/cem/es_ES/metrologia/metrologia.jsp?op=glosario
[19] http://dliengineering.com/vibman-spanish/fase1.htm
[20] DORF, Richard. "Circuitos Eléctricos", Quinta Edición. Editorial Alfaomega, Colombia 2003, pág. 16
[21] http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448141725.pdf
[22] http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_419_el_factor_de_potenci
[23] http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_422_cargos_y_bonificacio
[24] WEBSTER, G John. "The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook". CRC Press.
[25] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/1281
[26] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/1900
[27] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1234
[28] http://www.iai.csic.es/lopsi/static/gpib.pdf
[29] Curso de Introducción a LABVIEW, parte IV. FI, UNAM.
[30] http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW
[31] http://www.ni.com/devzone/idnet/
[32] http://www.visionlearning.com/library/modulo_espanol.php?mid=47&l=s&c3=
[33] http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades
[34] http://www.cenam.mx/siu.asp
[35] http://www.economia.gob.mx/work/normas/Promocion/Sist_intnal_de_unids.pdf