

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTÉCNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

Desarrollo e implementación de un instrumento virtual didáctico de medición de energía eléctrica monofásica para la asignatura de sistemas de medición.

Autor:

Br. Rodrigo Emmanuel Montenegro González.

2016-0942U

Tutor:

Msc. Ing. Cedrick Dalla Torre

Managua, Junio de 2023

Dedicatoria

A Dios por el don de la vida de quien ha sido su voluntad el permitirme lograr culminar mis estudios.

A mi familia por su incondicional apoyo y esfuerzo que me permitió cursar la carrera universitaria para formarme como profesional y servir a la sociedad.

Agradecimiento

Agradezco al profesor Ing. Msc. Cedrick Dalla Torre por su disponibilidad para guiar la realización de este trabajo.

También al profesor Milton Barboza por sus consejos que sirvieron de referencia para entregar un trabajo de calidad.

Resumen

En este trabajo monográfico se desarrolló un instrumento virtual de medición de potencia de cargas monofásicas con la plataforma Arduino y LabVIEW, para ser utilizado como medio didáctico en la asignatura de sistemas de medición. De los resultados obtenidos se logró medir distintos tipos de cargas monofásicas, obteniendo resultados satisfactorios. Entre las limitaciones se encuentra la propia tarjeta de adquisición que está basada en Arduino UNO y los sensores empleados.

Para la implementación del instrumento desarrollado, se diseñó una guía de laboratorio que permitirá al estudiante realizar mediciones con el instrumento y conocer su funcionamiento con el fin de que adquiera nuevo conocimiento referente a este tipo de sistema de medición basado en instrumentación virtual.

Índice de Contenido

Introducción.....	1
Objetivos.....	1
1.1 Objetivo General:	3
1.2 Objetivos Específicos:	3
Justificación.....	4
Capítulo I: Marco Teórico	5
1.Generalidades de Medición y Error	6
1.1 Medición	6
1.2 Patrón de medición	6
1.3 Sistemas de medidas.	7
1.4 Error	8
1.4.1 Incertidumbre en la medida	8
1.4.2 Diferencia entre error, incertidumbre y tolerancia	9
1.5 Análisis Estadístico del error	10
1.5.1 Media Aritmética	10
1.5.2 Desviación de la media	11
1.5.3 Desviación promedio	11
1.5.4 Desviación estándar	11
1.5.5 Distribución normal de errores	11
1.5.6 Error límite	12
2. Generalidades de la Instrumentación Electrónica y Sistemas de Medición Electrónicos.....	14
2.1 Concepto de instrumentación electrónica	14
2.2 Elementos que conforman un sistema de medición	15
2.3 Clasificación de los Sistemas de medida electrónicos	16
2.3.1 Instrumentos de propósito general	16
2.3.2 Sistemas de adquisición de datos	16
2.3.3 Instrumentos Virtuales	19
2.4 Características estáticas y dinámicas de los Sistemas de Medición	22
2.4.1 Características estáticas	22
2.4.2 Características dinámicas	28

2.5	Características de entrada de los sistemas de medición	29
3.	Adquisición de datos.....	30
3.1	Elementos de un sistema de adquisición de datos	30
3.2	Buses de conexión y protocolos de comunicación	31
3.2.1	Buses de conexión	32
3.2.2	Protocolos de comunicación	33
3.3	Tarjeta de adquisición de datos	35
3.4	Conversión analógica a digital	37
3.5	Acondicionador de señal	40
3.5.1	Amplificador operacional	40
3.5.2	Resistores	44
3.5.3	Capacitores e Inductores	44
4.	LabVIEW.....	45
4.1	¿Qué es LabVIEW?	45
4.2	Aplicaciones y usos de la instrumentación virtual en el campo de la ingeniería	45
4.3	Partes de un VI	48
4.3.1	Ventana del panel frontal	48
4.3.2	Diagrama de bloques	50
4.4	VISA	51
4.5	Patrones de diseño	53
5.	Potencia de CA en sistemas monofásicos.....	55
5.1	Potencia instantánea y promedio	55
5.2	Valor eficaz	55
5.3	Potencia aparente, potencia reactiva y factor de potencia	56
Capítulo II:		57
Diseño y desarrollo del instrumento virtual propio para medición de energía eléctrica de una carga monofásica.		57
2.1	Diseño y desarrollo del circuito acondicionador de señales	58
2.1.1	Análisis y selección de los sensores	58
2.1.2	Diseño del circuito acondicionador de señales	61
2.2	Rutina de adquisición y envío de datos de Arduino a la PC	68

2.3	Desarrollo del Instrumento Virtual para medición de potencia y energía eléctrica	73
2.3.1	Implementación del patrón de diseño del controlador de eventos de la interfaz de usuario.	73
2.3.2	Medidor de energía	76
2.3.3	Osciloscopio	88
2.3.4	Datalogger	91
2.4	Montaje y elaboración de la tarjeta de adquisición y circuitos acondicionadores.	94
2.5	Diseño de la guía de laboratorio	96
Capitulo III:		98
Análisis de Resultados		98
3	Análisis de Resultados del sistema desarrollado.	99
3.1	Simulación mediante el Software Proteus Professional de distintas cargas.	99
3.2	Mediciones directas de cargas con potencias nominales conocidas.	106
Capitulo IV:		115
Análisis Económico.....		115
4	Análisis Económico	116
4.1	Descripción de costos de materiales	116
4.2	Cálculo del costo de desarrollo y costo total	117
4.3	Comparativa con equipo comercial de capacidades similares	118
Conclusiones		122
Recomendaciones.....		124
Bibliografía.....		125
Anexos.....		128

Índice de Figuras

Fig. 1. Patrón de Kilogramo o Gran K	6
Fig. 2. Concepto de tolerancia aplicado a la fabricación de componentes con unas dimensiones especificadas.	10
Fig. 3. Distribución normal o gaussiana	12
Fig. 4. Rangos de sigmas en torno al valor medio.	12
Fig. 5. Multímetro digital de laboratorio, instrumento de medida electrónico.....	14
Fig. 6. Estructura general de un sistema electrónico de medida.....	15
Fig. 7. Tarjeta de adquisición de datos USB-2020 de Ultra alta velocidad con velocidades de hasta 20MS/s por canal.	17
Fig. 8. DEWE-3020 series PC instrument. Equipo de adquisición de datos portables autónomo	18
Fig. 9. Modulo PXIe-5164 de National Instruments con módulos expandibles...	18
Fig. 10. Panel frontal de un Instrumento Virtual elaborado en LabVIEW	19
Fig. 11. Curva de calibración típica	23
Fig. 12. Concepto de precisión y exactitud.....	24
Fig. 13. Curva de calibración y cálculo del coeficiente de sensibilidad	25
Fig. 14. Curva de histéresis de un manómetro.....	27
Fig. 15. Linealidad	28
Fig. 16. Error por carga al medir con un osciloscopio	29
Fig. 17. Elementos de un sistema de adquisición de datos.....	30
Fig. 18. Puertos ISA	32
Fig. 19. Puertos PCI express en motherboards modernas.....	32
Fig. 20. Conector DB-9 actual puerto RS232	33
Fig. 21. Conector RS485.....	34
Fig. 22. Tarjeta de adquisición de datos de bajo costo NI DAQ USB-6009.....	36
Fig. 23. Señal analógica típica de forma senoidal.....	37
Fig. 24. Señal digital.....	38
Fig. 25. Una señal analógica y su aproximación en escalera.....	38
Fig. 26. Proceso de conversión de una señal analógica a digital.....	40
Fig. 27. Modelo del amplificador operacional ideal	41
Fig. 28. Amplificador operacional inversor	42

Fig. 29. Amplificador operacional no inversor	42
Fig. 30. Seguidor de tensión	43
Fig. 31. Simulador de Controlador PID de frecuencia y voltaje	47
Fig. 32. Interfaz humano máquina para el sistema de enfriamiento de un reactor nuclear.....	47
Fig. 33. Panel Frontal en LabVIEW	48
Fig. 34. Controladores e indicadores numéricos.....	48
Fig. 35. Control e indicador booleanos.....	49
Fig. 36. Indicador gráfico tipo Waveform Chart	49
Fig. 37. Diagrama de bloques	50
Fig. 38. Ejemplo de comunicación serial VISA con Arduino.....	53
Fig. 39. Patrón de diseño productor/consumidor.....	54
Fig. 40. Potencia instantánea.....	55
Fig. 41. Transformador magnético con entrada 110/220 salida 24 V-1A	59
Fig. 42. Bobina Rogoswki QI-ROG-300 de 84 mm de diámetro.....	60
Fig. 43. Transformador de corriente de núcleo dividido YHDC modelo SCT-013	61
Fig. 44. Arduino UNO R3	62
Fig. 45. Desplazamiento de CC o DC offset de una señal analógica.....	63
Fig. 46. Circuito acondicionador de la señal de tensión.....	64
Fig. 47. Circuito acondicionador de corriente simplificado.	65
Fig. 48. Divisor de tensión con buffer a la salida	65
Fig. 49. Diagrama Funcional del CD4052B	66
Fig. 50 Circuito acondicionador de corriente.....	68
Fig. 51. Concepto de tasa de muestreo	69
Fig. 52. Representación de una frecuencia de muestreo de 10 kHz vs 2 kHz ...	69
Fig. 53. Diagrama de flujo para la rutina de adquisición de muestras	71
Fig. 54. Estructura de la función sprintf ().....	72
Fig. 55. Patrón de controlador de eventos de la GUI	74
Fig. 59. subVI para array de tensión y corriente.....	79
Fig. 60. Forma de onda generada con el bloque Build Waveform	79
Fig. 61. Memoria Flip-Flop RS	81

Fig. 63. Diagrama de bloques Ciclo consumidor: Cálculo de parámetros de las formas de onda de tensión y corriente.....	83
Fig. 65. Panel frontal del Instrumento Virtual del Medidor de Energía.	86
Fig. 66. Diagrama de bloques del Medidor de Energía	87
Fig. 67. Diagrama de bloques del Ciclo consumidor: Cálculo de parámetros de las formas de onda de tensión y corriente para la función osciloscopio	89
Fig. 68. Panel Frontal del Instrumento Virtual del Osciloscopio.	90
Fig. 70. Panel Frontal del Instrumento Virtual del Datalogger.	93
Fig. 71. Montaje del circuito acondicionador de señal para pruebas en protoboard.	94
Fig. 72. Circuito Acondicionador soldado en baquelita perforada	95
Fig. 73. Perforación de agujero para insertar conectar macho tipo banana para las puntas de prueba.	95
Fig. 74. Tarjeta acondicionadora y circuito de acondicionamiento montando en caja plexo PVC.	96
Fig. 75. Circuito montado en Proteus Professional para simulación de cargas monofásicas.	99
Fig. 76. Configuración de la señal de tensión y corriente a simular	100
Fig. 77. Simulación en Proteus de una carga resistiva ideal	100
Fig. 78. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga resistiva pura.	101
Fig. 79. Configuración de la señal de tensión y corriente para simular una carga inductiva.	102
Fig. 80. Simulación de una carga con factor de potencia 0.86 en atraso.	102
Fig. 81. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga inductiva.....	103
Fig. 82. Configuración de la señal de tensión y corriente para simular una carga capacitiva.....	104
Fig. 83. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga capacitiva.....	104
Fig. 84. Carga capacitiva.....	105
Fig. 85. Carga inductiva	105
Fig. 86. Carga resistiva.	105
Fig. 87. Medición de plancha eléctrica de 1200 Watts.	106
Fig. 88. Medición de plancha para cabello de 215 Watts.	107

Fig. 89. Medición de potencia abanico Sankey de 16".....	108
Fig. 90. Medición de potencia abanico Westinghouse de 16".....	109
Fig. 91. Medición de potencia cafetera de 5 tazas.....	110
Fig. 92. Medición de potencia bombillo incandescente de 100 Watts.....	111
Fig. 93. Medición de potencia bombillo ahorrativo compacto 15 Watts.....	112
Fig. 94 . Medición de potencia cargador de laptop conectado de 45 Watts.....	113
Fig. 95. Esquema del sistema INVIRME	114
Fig. 96. Analizador monofásico portátil Nanovip 2	118
Fig. 97. Analizador de calidad de energía monofásica Fluke 43B.....	119
Fig. 98. Medidor de potencia PCE-GPA 50-ICA.....	120

Índice de Tablas

Tabla 1 Definición de las unidades de medida actuales del SI	7
Tabla 2 Comparativa entre Instrumentos tradicionales e instrumentos virtuales....	21
Tabla 3 Resumen de puertos seriales.....	34
Tabla 4 Especificaciones de la placa de desarrollo Arduino UNO	62
Tabla 5 Valores de ganancia para el circuito acondicionador de corriente	67
Tabla 6 Tabla de verdad del CD4052B	67
Tabla 7 Resultados de mediciones mediante simulación para una carga resistiva ideal.....	101
Tabla 8 Resultados de mediciones mediante simulación de una carga inductiva	103
Tabla 9 Resultados de medición mediante simulación de una carga capacitiva.	104
Tabla 10 Comparación de mediciones plancha eléctrica multímetro digital e instrumento virtual desarrollado.....	106
Tabla 11 Comparación de medición plancha para cabello con multímetro digital e instrumento virtual.	107
Tabla 12 Comparación de medición de abanico Sankey con multímetro digital e instrumento virtual.	108
Tabla 13 Comparación de medición de abanico Westinghouse con multímetro digital e instrumento virtual.....	109
Tabla 14 Comparación de medición de cafetera con multímetro digital e instrumento virtual.	110
Tabla 15 Comparación de medición de bombillo con multímetro digital e instrumento virtual	111
Tabla 16 Comparación de medición de bombillo ahorrativo con multímetro digital e instrumento virtual.	112
Tabla 17 Medición de cargador de Laptop	113
Tabla 18 Lista de materiales para elaboración de sistema de adquisición de datos.....	116
Tabla 19 Comparativa de características equipos comerciales e instrumento virtual INVIRME.	121

Introducción

Los instrumentos de medición son fundamentales para la ciencia y la ingeniería porque de las mediciones obtenidas dependerá la calidad y exactitud de los procesos que requieren medir; desde el análisis, diseño, diagnóstico o desarrollo. Estos instrumentos son llamados tradicionales, porque cuentan con funcionalidades definidas por el fabricante, así como poseer periféricos de entrada y salida físicos. Por décadas estos sistemas han sido utilizados y lo siguen siendo para obtener mediciones fiables de variables físicas, pero tenían la limitante de no aprovechar el poder computacional de los nuevos sistemas computarizados en surgimiento para analizar y procesar las mediciones.

Con la aparición de las computadoras personales y su reducción de costo, surgió a principio de los años 80s la idea de utilizar la computadora personal como un instrumento de medida, es así como surge una evolución de los sistemas de instrumentación convencionales a sistemas computarizados debido a la gran versatilidad y adaptación a cualquier aplicación que las convierte en una opción más viable, flexible, de gran rendimiento y sobre todo de bajo costo para su implementación como instrumento de medida. Este nuevo tipo de sistema se conoce como instrumentación virtual y forma parte de los sistemas de medición actuales enfocados a control de procesos, automatización, simulación de sistemas y para el desarrollo de aplicaciones personalizadas. La principal ventaja y diferencia respecto a los instrumentos tradicionales es que sus funciones son definidas por el usuario según las necesidades de la aplicación.

En este trabajo de fin de grado, se pretende desarrollar e implementar un instrumento virtual con aplicación al área de mediciones en particular para la medición de potencia de una carga eléctrica monofásica, con el fin de ser empleado como medio didáctico en la asignatura de sistemas de medición, ya que el plan de estudio vigente, se enfoca en los sistemas de medición tradicionales. Sin embargo, los sistemas de medición basados en instrumentación virtual no se incluyen como temática de estudio, pese a ser uno de los sistemas de medición

utilizados actualmente en muchas aplicaciones de automatización y control, simulación de sistemas de control, interfaces HDMI, control de procesos entre otras aplicaciones de tipo educativas, como la creación de entornos personalizados de simulación y prueba que sirven como herramientas alternativas de bajo costo para fortalecer el proceso de aprendizaje de complejos conceptos para las distintas áreas de estudio las cuales son de gran relevancia e interés en ingeniería eléctrica.

Este trabajo monográfico se estructura de la siguiente forma: En el primer capítulo se describen generalidades sobre teoría de mediciones, sistemas de medida, sus características y su clasificación. También se aborda el concepto de instrumentación virtual y dónde se sitúa dentro de la clasificación de los sistemas de medición. Así también se aborda conceptos y teoría referente a los elementos que la conforman, sus características y como forman parte integral de todo el sistema.

El segundo capítulo tratará sobre el desarrollo del instrumento, el cual, mediante una metodología práctica basada en la solución de problemas, se elabora tanto el hardware como el software, así también se presenta la propuesta de guía metodológica de laboratorio para cumplir con el objetivo de implementar el instrumento desarrollado para la enseñanza en sistemas de mediciones.

El capítulo siguiente validará los resultados de las mediciones al comparar las con un instrumento de medición de referencia, para ello se hace un análisis de mediciones de cargas reales de electrodomésticos y cargas simuladas para conocer las capacidades y limitaciones del instrumento virtual desarrollado. El último capítulo tratará sobre un análisis de los costos involucrados en el desarrollo del instrumento y compararlo con el costo de equipos comerciales de características similares. Finalmente se presentan los resultados obtenidos y las aportaciones logradas después de lograr el desarrollo del equipo, así también recomendaciones para el mejoramiento del mismo.

Objetivos

1.1 Objetivo General:

Elaborar una propuesta de instrumento virtual didáctico de medición de parámetros eléctricos de una carga monofásica para su implementación en la asignatura de sistemas de medición.

1.2 Objetivos Específicos:

1. Identificar las señales de entrada y salida para la selección de los sensores a emplear.
2. Diseñar y construir el circuito acondicionador de señales para su adecuación a la tarjeta Arduino.
3. Desarrollar la programación de la tarjeta Arduino y el instrumento virtual en LabVIEW para la adquisición y procesado de los datos.
4. Comprobar las mediciones realizadas con el sistema desarrollado para su validación.
5. Determinar la viabilidad económica del prototipo desarrollado.
6. Elaborar un manual de usuario y guía de laboratorio con el fin de orientar la utilización del instrumento.

Justificación

Con esta propuesta de desarrollo de instrumento virtual se propone fortalecer y actualizar los conocimientos en sistemas de medición en particular con la introducción de sistemas de medición basados en instrumentación virtual para que el estudiante de ingeniería eléctrica conozca, aprenda e inclusive desarrolle sus propios sistemas de instrumentación virtual. Debido a que existe esta falta de conocimiento en el área de mediciones, es necesario considerar las posibilidades de la instrumentación virtual con el prototipo a desarrollar, no solo para la asignatura en cuestión, sino también considerar el alcance y aplicaciones didácticas que se podrían desarrollar en otras asignaturas de gran relevancia para la formación del futuro ingeniero eléctrico.

El beneficio de esta propuesta involucra además de fortalecer la enseñanza y el conocimiento en la asignatura de sistemas de medición, enriquecer otras como la programación mediante lenguaje gráfico con LabVIEW, adquisición de datos haciendo uso de una computadora personal, procesamiento digital de la información y como se interconectan todas estas etapas para lograr la medición y visualización de las variables analizadas en cuestión. Además, con el desarrollo del prototipo y demostración de su funcionamiento en laboratorio, se pretende que este fomente en el estudiante un sentido de curiosidad e innovación por el desarrollo de aplicaciones para beneficio de la enseñanza en la ingeniería eléctrica que permitirá al estudiante obtener nuevas competencias y habilidades necesarias en un mundo en constante evolución tecnológica.

Capítulo I: Marco Teórico

1. Generalidades de Medición y Error

1.1 Medición

Según el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) “Una medición supone una descripción de la magnitud compatible con el uso previsto de un resultado de medida, un procedimiento de medida y un sistema de medida calibrado conforme a un procedimiento de medida especificado, incluyendo las condiciones de medida” [1].

Es el proceso básico y fundamental en la ciencia que consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir y así observar cuantas veces el patrón está contenido en esa magnitud [2]. Para realizar la medición se utiliza un instrumento de medición que permite obtener la lectura de la magnitud física indagada.

1.2 Patrón de medición

Un patrón de medición se define como una medida material, instrumento de medir, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, a fin de transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.



Fig. 1. Patrón de Kilogramo o Gran K

Nota: Se observa bajo tres campanas de cristal un prototipo de kilogramo que contiene platino e iridio y el cual fue el estándar por casi 130 años hasta su sustitución en mayo de 2019 por la constante de Planck.

Tomado de: www.elindependiente.com

1.3 Sistemas de medidas.

Los sistemas de medidas son un conjunto de medidas estandarizadas para definir las magnitudes patrón de las cuales se derivan todas las demás. Actualmente existen dos sistemas de medición ampliamente extendidos:

El Sistema Internacional de Unidades o SI constituido por siete unidades básicas: metro, kilogramo, segundo, kelvin, amperio, mol y candela que definen las correspondientes magnitudes físicas fundamentales.

El 20 de mayo 2019 entro en rigor la actualización de las medidas fundamentales para abandonar los patrones físicos y definir las medidas en términos de constantes universales.

Tabla 1
Definición de las unidades de medida actuales del SI

Unidad básica (símbolo)	Magnitud física básica [Símbolo de la magnitud]	Definición técnica
segundo (s)	tiempo [t]	Se define al fijar el valor numérico de la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, $\Delta\nu_{Cs}$, en 9 192 631 770, cuando se expresa en la unidad Hz, igual a s^{-1} . ^{nota 1} [$\Delta\nu_{Cs}=9\ 192\ 631\ 770/s$]
metro (m)	longitud [l]	Se define al fijar el valor numérico de la velocidad de la luz en el vacío, c, en 299 792 458, cuando se expresa en la unidad $m\ s^{-1}$, según la definición del segundo dada anteriormente. [$c=299\ 792\ 458\ m/s$]
kilogramo ^{nota 2} (kg)	masa [m]	Se define al fijar el valor numérico de la constante de Planck, h, en $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$, cuando se expresa en la unidad J·s, igual a $kg\ m^2\ s^{-1}$, según las definiciones del metro y el segundo dadas anteriormente. [$h=6.626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}\ kg\ m^2/s$]
amperio (A)	corriente eléctrica [I]	Se define al fijar el valor numérico de la carga elemental, e, en $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$, cuando se expresa en la unidad C, igual a A·s, donde el segundo se define en función de $\Delta\nu_{Cs}$. [$e=1.602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19}\ A\ s$]
kelvin (K)	temperatura termodinámica [T]	Se define al fijar el valor numérico de la constante de Boltzmann, k, en $1.380\ 649 \times 10^{-23}$, cuando se expresa en la unidad $J\ K^{-1}$, igual a $kg\ m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$, según las definiciones del kilogramo, el metro y el segundo dadas anteriormente. [$k=1.380\ 649 \cdot 10^{-23}\ kg\ m^2/s^2/K$]
mol (mol)	cantidad de sustancia [N]	Cantidad de sustancia de exactamente $6\ 022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entidades elementales. ^{nota 3} Esta cifra es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, N_A , cuando se expresa en la unidad mol^{-1} . [$N_A=6.022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}/mol$]
candela (cd)	intensidad luminosa [Iv]	Se define al fijar el valor numérico de la eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, K_{cd} , en 683, cuando se expresa en la unidad $lm\ W^{-1}$, igual a $cd\ sr\ W^{-1}$, o a $cd\ sr\ kg^{-1}\ m^{-2}\ s^2$, según las definiciones del kilogramo, el metro y el segundo dadas anteriormente. [$K_{cd}=683\ cd\ sr/kg/m^2\ s^2$]

Nota: Se aprecia que las medidas sean definidas para estas que sean inmutables al paso del tiempo mediante constantes universales físicas. Tomado de: www.wikipedia.com

Sistema inglés: Son unidades no métricas adoptados principalmente en Estados Unidos y Partes del Reino Unido, se basa en la pulgada, el pie, la yarda y la milla. Actualmente estos países se encuentran en transición al Sistema Métrico Internacional.

1.4 Error

El error en la medida es una desviación que presentan las mediciones de una variable de una magnitud física con relación a las medidas ideales o del valor verdadero [3]. El valor verdadero es aquel aceptado por expertos como el valor más probable de la magnitud física medida basados en el patrón de medida en que se basa la magnitud física.

Puesto que ninguna medición se puede realizar con exactitud perfecta, es importante descubrir cual es la exactitud real y como se generan los diferentes errores en las mediciones [4].

Por ello las fuentes de error se clasifican en:

Errores gruesos: De origen humano debido a desconocimiento como mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto y aplicación inapropiada, así como errores de cálculo.

Errores sistemáticos: se deben a la falla del propio instrumento de medición, como partes defectuosas, gastadas, mal calibradas y condiciones ambientales sobre el equipo.

Errores aleatorios: Son variaciones que no se pueden corregir por ningún método de calibración u otro método de control parecido y no se pueden explicar sin una investigación profunda sobre la causa particular. La única forma de compensar estos errores es incrementar el número de lecturas y usar medios estadísticos para obtener la mejor aproximación del valor real.

1.4.1 Incertidumbre en la medida

La incertidumbre ¹es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. A diferencia del error

¹ También se puede decir que es un margen de duda, por consiguiente, cuanto mayor es el margen de duda en la medición se tendrá una mayor incertidumbre. Tomado de: www.fcmmex.com

que posee un valor constante, la incertidumbre depende de la probabilidad de ocurrencia [5].

Esto quiere decir que si se realiza varias mediciones de cierta magnitud física encontraremos una variación en los valores (incertidumbre). Estas variaciones son de suma importancia ya que la validez de un resultado experimental depende de su incertidumbre. Es decir, si se tiene una medida x y su incertidumbre es Δx el resultado se expresa como: $x \pm \Delta x$

1.4.2 Diferencia entre error, incertidumbre y tolerancia

Es necesario describir la diferencia conceptual y de interpretación entre tres términos ampliamente utilizados en el campo de la metrología o la ciencia de las mediciones que conlleva a confundir los términos cuando están bien diferenciados entre sí.

Incertidumbre será el resultado asociado de una medida caracterizado por el intervalo de valores que pueden ser los más cercanos posibles al valor verdadero, el error está definido como una constante igual a la diferencia entre el resultado obtenido y valor verdadero. Es decir, se puede tener un error muy pequeño pues el resultado está próximo al valor considerado verdadero pero una incertidumbre grande debido a diferentes fuentes de error que pueden incidir en la medida.

La tolerancia no es un error máximo permitido sino un intervalo de valores definidos en las especificaciones que contiene a la incertidumbre. Para entender mejor este concepto se puede visualizar en la Figura 2, que la zona 1 es la incertidumbre donde se asegura absolutamente la conformidad de la pieza medida por ejemplo y la zona 2 es la zona de tolerancia donde no se asegura al 100% la conformidad de todas las piezas, pero si se considera un producto aceptable. “Una de las razones de establecer tolerancias para las aplicaciones prácticas, es encontrar un equilibrio entre el costo de procesamiento y las funciones previstas del objeto”. [6]

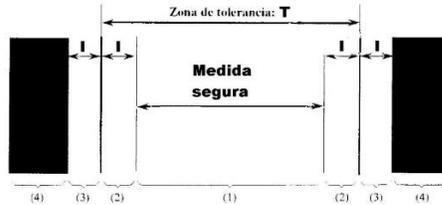


Fig. 2. Concepto de tolerancia aplicado a la fabricación de componentes con unas dimensiones especificadas.

Nota: la zona 1 garantiza la medida de la pieza y la zona 2 son las medidas máximas y mínimas a la diseñada que se consideran aun como piezas en buen estado.

1.5 Análisis Estadístico del error

El análisis estadístico permite obtener una determinación analítica de la incertidumbre del resultado final, con base al muestreo de datos sin tener información detallada de todos los factores de perturbación. Para realizar métodos estadísticos e interpretaciones claras se debe de realizar numerosas mediciones para mitigar los errores aleatorios los cuales deben ser mayores a los errores sistemáticos ya que el tratamiento estadístico no puede eliminar estas perturbaciones.

1.5.1 Media Aritmética

Es el valor más probable de una variable medida y cuanto mayor sea el número de lecturas de la misma cantidad mejor será la aproximación. La media aritmética está dada por la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} : Media aritmética

x_i : lecturas tomadas

n : número de lecturas

1.5.2 Desviación de la media

Es el alejamiento de una lectura dada la media aritmética, esta desviación puede tener un valor positivo o negativo y la suma de todas las desviaciones debe ser cero.

$$d_n = x_n - \bar{x} \quad (2)$$

Donde:

\bar{x} : Media aritmética

d_n : desviación n

1.5.3 Desviación promedio

Es un indicador de la precisión de los instrumentos usados en las mediciones. Los instrumentos altamente calibrados producen una desviación promedio baja entre las lecturas. Por definición es la suma de los valores absolutos de las desviaciones entre el número de lecturas.

$$D = \frac{\sum |d_n|}{n} \quad (3)$$

1.5.4 Desviación estándar

La desviación estándar de un número finito es la raíz cuadrada de la suma de **todas** las desviaciones cuadradas individuales, divididas entre el número de lectura.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_n^2}{n - 1}} \quad (4)$$

1.5.5 Distribución normal de errores

La ley normal de error o gaussiana constituye la base del estudio analítico de los efectos aleatorios, en muchos procesos físicos la distribución de los resultados de la medida en torno al valor medio será gaussiano o en forma de campana.

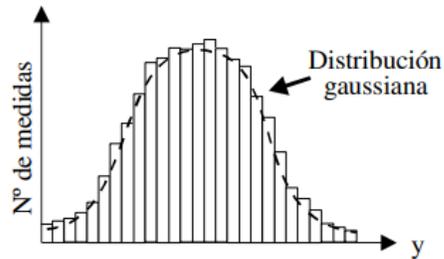


Fig. 3. Distribución normal o gaussiana

Nota. Tomado de: Instrumentación Electrónica: transductores y acondicionadores de señal, pág. 26

De la Figura 3 se observa que las pequeñas desviaciones desde el valor medio son más probables que las grandes y los errores aleatorios tienen la misma probabilidad de ser positivos o negativos. Según Granda Miguel [7] se necesitan entre 25 a 30 lecturas para que pueda asumirse una distribución normal.

Si se toma un número suficientemente alto de lecturas, el 68 % de ellas se encuentran comprendidas en el intervalo de una sigma y el 95 % dentro de dos sigmas.

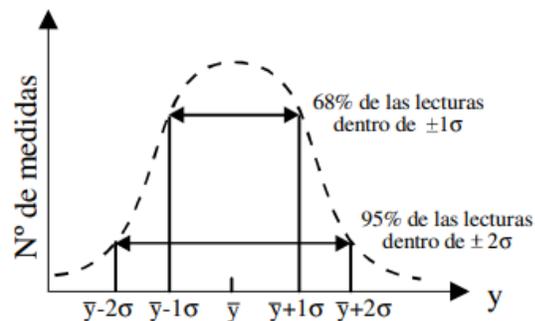


Fig. 4. Rangos de sigmas en torno al valor medio.

Nota. Tomado de: Instrumentación Electrónica: transductores y acondicionadores de señal, pág. 26

1.5.6 Error límite

En los indicadores de los instrumentos de medida, la exactitud está garantizada por un cierto porcentaje de la lectura a fondo de escala, esto debido a que los propios componentes de un circuito como capacitores, resistencias, inductores,

etc. tienen unas tolerancias definidas en cuanto a su valor nominal. Los límites de las desviaciones de valores específicos se conocen como errores límites o errores máximos permitidos y se utiliza cuando existen dos valores extremos.

El fabricante del instrumento normalmente recomienda que las mediciones a realizar se hagan siempre lo más cercanas a fondo de escala para evitar incrementar el error límite cuando se miden valores muy pequeños en comparación con la escala utilizada.

2. Generalidades de la Instrumentación Electrónica y Sistemas de Medición Electrónicos

2.1 Concepto de instrumentación electrónica

Es la rama de la electrónica encargada de medir magnitudes físicas utilizando equipos electrónicos llamados instrumentos, que tienen como finalidad “determinar la magnitud de una variable, visualizarla, generarla, o convertirla en otra diferente” [8]. Las mediciones no solo sirven para analizar un circuito eléctrico u electrónico, sino que tiene aplicaciones en el área de control para la retroalimentación en sistemas en configuración de lazo cerrado, es por ello, según [7], se divide en dos ramas: Instrumentación Electrónica de Medida e Instrumentación Electrónica de Control.



Fig. 5. Multímetro digital de laboratorio, instrumento de medida electrónico

Tomado de la página: www.directindustry.es que ofrece productos de medición electrónica.

Los instrumentos de medida también denominados sistemas de medida electrónicos son fabricados como dispositivos independientes con unas capacidades específicas de medida definidas por el fabricante. “Consiste de una caja que dispone de un panel frontal, con botones, diales y visualizadores que se pueden manipular y dentro dispone de toda la circuitería electrónica capaz de procesar la señal de entrada que se desea analizar”. [7]

Entre los más comunes se tiene: Voltímetros, amperímetros, fuentes de alimentación, generadores de funciones, osciloscopios, analizadores de redes y multímetro.

2.2 Elementos que conforman un sistema de medición

En general la realización de una determinada magnitud física (Presión, Humedad, Temperatura, Posición, Fuerza, Voltaje o Corriente) implica:

- La adquisición de la información por medio de un sensor o transductor
- El acondicionamiento de la señal
- El procesado de esa información
- Presentación de resultados

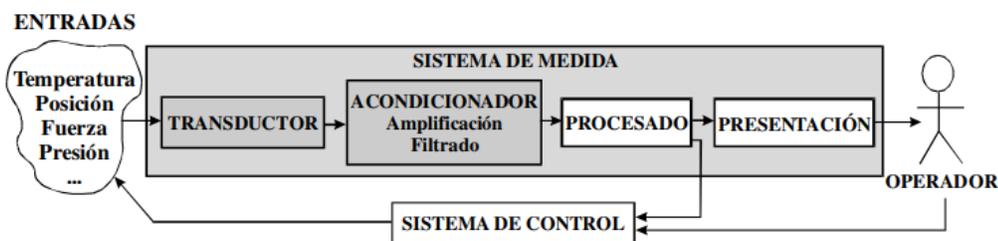


Fig. 6. Estructura general de un sistema electrónico de medida

Nota: Tomado de [7] pág. 4

Por tanto, los elementos que conforman un sistema electrónico de medida se pueden describir como:

1. **Transductor:** Son dispositivos que realizan la conversión de una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud normalmente eléctrica ya sea un nivel de voltaje o corriente. Los sensores son el elemento sensible primario que responde a las variaciones de la magnitud que se mide, es decir el sensor entra en contacto con la magnitud física a medir y el transductor transforma una energía en otro tipo. Ejemplos de sensores son el acelerómetro, el barómetro, el termómetro de mercurio, el sensor de corriente de efecto hall. Transductores son termistor, termopar, transductor de presión, potenciómetro.

2. **Acondicionador de señal:** Son circuitos que convierten los parámetros eléctricos de salida de los transductores en una señal eléctrica que se puede medir fácilmente. Estos ajustan la señal de entrada a niveles adecuados para su posterior procesamiento y presentación.
3. **Procesado y presentación:** La información en forma de señales de salida de voltaje o corriente debe ser presentada de forma que el usuario pueda interpretarla de forma sencilla o integrada de forma adecuada para ser implementado por un proceso automático. En dispositivos analógicos se utilizan agujas con una carátula que muestra la información medida o registros gráficos de papel etc. En dispositivos digitales se utilizan pantalla LCD o GUI en el caso de computadoras.

2.3 Clasificación de los Sistemas de medida electrónicos

Según [8] los sistemas de medida electrónicos o también llamados instrumentos electrónicos de medida se pueden clasificar en tres grandes grupos y subgrupos:

- 2.3.1 Instrumentos de propósito general o llamados instrumentos de medida tradicional utilizados para realizar medidas específicas. Son robustos, altamente calibrados y sus capacidades y especificaciones técnica son definidas por el fabricante. A su vez se pueden subclasificar en:
 - 2.3.1.1 *Instrumentos de medida y visualización:* Son sistemas electrónicos que evalúan uno o varios parámetros de una señal eléctrica y son representados de forma gráfica o alfanumérica a través de pantallas lcd's u otro medio gráfico. Ejemplo: Osciloscopio
 - 2.3.1.2 *Instrumentos generadores de señales:* Tiene como finalidad generar señales eléctricas generalmente de tipo periódica donde se pueden graduar sus características con el propósito de probar circuitos electrónicos con la inyección de la señal o simplemente visualizar el comportamiento del tipo de señal. Ejemplo: Generador de señales
- 2.3.2 Sistemas de adquisición de datos: Este tipo de sistema se emplea para recolectar un gran volumen de información de un determinado proceso y se basan en el uso de una computadora para procesar los datos,

aprovechando las capacidades de cálculos, almacenamiento y visualización de las computadoras actuales. Estos a su vez se clasifican en:

2.3.2.1 *Sistemas basados en tarjetas de adquisición de datos:* Consiste en una tarjeta electrónica que sirve de interfaz entre la computadora y el fenómeno físico a medir. La computadora sirve como plataforma para realizar el procesamiento, el almacenamiento y la visualización de los datos y la tarjeta se conecta directamente a un bus de datos tipo GPIB o a través de puertos de comunicación serie RS-232 USB para la captura de las señales analógicas. La desventaja de este tipo de sistemas es que no están suficientemente adaptados para trabajar en condiciones industriales.



Fig. 7. Tarjeta de adquisición de datos USB-2020 de Ultra alta velocidad con velocidades de hasta 20MS/s²por canal.

Nota. Tarjeta de adquisición de datos de altas prestaciones. Tomado de: Measurement Computing

2.3.2.2 *Sistemas basados en instrumentos de medida electrónica independientes con capacidad para conectar a una computadora:* Los sistemas de adquisición de datos basados en instrumentos independientes son soluciones de mayor inversión, pero están mejor acondicionados y ofrecen mayores prestaciones que los sistemas basados en tarjetas de adquisición. Este tipo de sistemas se basa en instrumentos autónomos e independientes del bus de una computadora, pero con capacidad de conectarse a este por puertos de comunicación serie o USB. Poseen una funcionalidad específica que puede ser

² Es decir 20 millones de muestras por segundo

administrada por el usuario a través del panel frontal del instrumento con la típica botonera o por software.



Fig. 8. DEWE-3020 series PC instrument. Equipo de adquisición de datos portables autónomo

Nota. Tomado de www.dewetron.co.kr

2.3.2.3 Sistemas basados en instrumentación modular: Este tipo de sistemas basados en instrumentos modulares son muy robustos, flexibles y escalables. En general, el costo de los módulos de adquisición es menor que el de los instrumentos independientes y su potencia es superior a la de las tarjetas de adquisición. Físicamente consisten de un bastidor con un back-plane en el que se insertan unos módulos en forma de tarjetas conectables. Su aplicación radica en aquellas que requieren un gran número de canales a medir mayor a 100.



Fig. 9. Modulo PXIe-5164 de National Instruments con módulos expandibles.

Nota. Tomado de www.industr.com

2.3.3 Instrumentos Virtuales

La instrumentación virtual es un nuevo paradigma de sistema de medida electrónico que surge con la aparición en masa de las computadoras personales y potentes paquetes de lenguajes gráficos. La instrumentación virtual se define “como un sistema de medición, análisis y control de señales físicas con una computadora por medio de instrumentos virtuales” [9], donde el instrumento virtual es un programa que modela el aspecto y la función de un instrumento físico que permite el control y la simulación, así como la adquisición y el procesado de señales.

También se puede entender como un sistema de adquisición de datos con la particularidad de que el software está diseñado de tal forma que funcione como un instrumento real al simular su apariencia y realizar mediciones. Dentro de los elementos que conforman el instrumento virtual se tiene la tarjeta de adquisición de datos que realiza la comunicación de parámetros físicos del mundo real.

Este programa es desarrollado a medida por el usuario según las necesidades particulares del diseño y su funcionalidad es dinámica a diferencia de los demás sistemas de medidas presentados cuya funcionalidad es estática y definida por el fabricante; también el costo de configurar un instrumento virtual representa el 25 % del costo de un equipo tradicional [10].

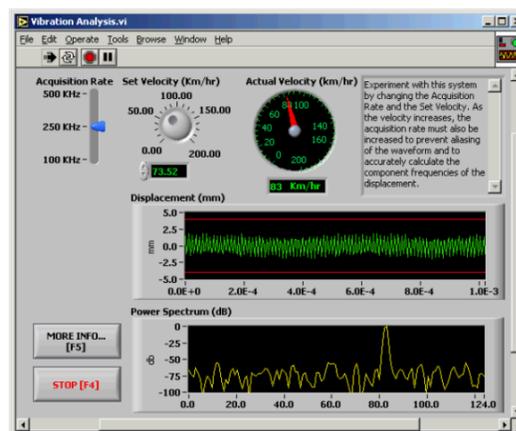


Fig. 10. Panel frontal de un Instrumento Virtual elaborado en LabVIEW

Nota. Instrumento virtual para el análisis de vibraciones. Tomado de: www.ingenieriaelectronica.org

El instrumento virtual simula el panel frontal y las funciones de un instrumento real como se aprecia en la Figura 10, basándose en todos los periféricos que pueden conectarse a la computadora (tarjetas de adquisición, instrumentos vía puerto serial o USB, sensores, etc.) realiza una serie de medidas como si del instrumento real se tratase. Por ejemplo, se puede obtener el valor eficaz de una señal periódica y mostrar la lectura mediante una interfaz gráfica que imita la apariencia de un multímetro digital. Así cuando se ejecuta el programa el usuario observa en pantalla un panel frontal cuya función es idéntica a la del instrumento físico, facilitando la visualización y el control del dispositivo.

“En el instrumento Virtual, el software es la clave del sistema, a diferencia del instrumento tradicional, donde la clave es el hardware” [11]. Es decir, los instrumentos tradicionales como multímetros, generadores de señales, osciloscopios, etc., son diseñados y construidos por los fabricantes con características ya preestablecidas para una tarea en concreta o varias, donde el usuario final no puede extender más allá estas funcionalidades. En cambio, como el instrumento virtual está basado en software el usuario puede adaptar un mismo sistema para que realice diversas funciones, es decir se podría diseñar funciones que normalmente realizan distintos aparatos tradicionales en una sola aplicación, esta característica de flexibilidad permite desarrollar rápidamente y con costos menores aplicaciones de grandes prestaciones inherentes a la instrumentación virtual. Otra gran ventaja es su modularidad, ya que para abordar una tarea compleja se pueden desarrollar instrumentos virtuales específicos individuales para finalmente agruparlos en un sistema completo que permita resolver la tarea.

Para comprender mejor las diferencias entre los instrumentos tradicionales y los instrumentos virtuales se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 2

Comparativa entre Instrumentos tradicionales e instrumentos virtuales

Instrumento Tradicional	Instrumento Virtual
Funcionalidad definida por el fabricante	Funcionalidad definida por el usuario
Funciones específicas y limitadas	Funcionalidad ilimitada y aplicaciones múltiples
Alto costo de adquisición	Bajo costo por ser reutilizable para variedad de funciones
Sin capacidad de agregar nuevas funciones por parte del usuario	Altamente flexible y modular
Pobre conectividad o limitada por el fabricante	Alta conectividad e incorporación rápida de nuevos protocolos de comunicación
Alto costo de mantenimiento	Bajos costos de mantenimiento
Equipos altamente precisos y calibrados	La precisión de la medición depende de la calidad de los componentes utilizados para adquirir los datos, en cuanto a especificaciones y sensibilidad de los sensores.
De fabricación Robusta	Solo limitado por la construcción del tipo de cubierta que se utilice para alberga el sistema de adquisición

Entre las limitantes de la instrumentación virtual es su grado de precisión de las mediciones y su calibración que dependen de las características de la tarjeta adquisidora y la sensibilidad y precisión de los sensores empleados. Los equipos tradicionales de grado laboratorio o profesional normalmente están calibrados con métodos de exigencia internacional y son altamente exactos y precisos. Por lo cual, para lograr este grado de precisión con el instrumento Virtual se deberá de invertir más en la calidad de los componentes utilizados, pero una vez superado este obstáculo de costo, las mediciones son de igual precisión o inclusive de mayor grado que un instrumento tradicional.

Entre los paquetes de software que permite la creación de instrumentos virtuales se encuentra LabVIEW de National Instruments, VEE Pro de Agilent Technologies, MyOpenLab basado en Java, etc. LabVIEW fue el software pionero en introducir el concepto de instrumento virtual que lanzó su primera versión en 1986 por parte de National Instruments, actualmente es el software por excelencia escogido por científicos e ingenieros para crear instrumentos virtuales e interfaces gráficas de altas prestaciones y de acabados profesionales.

2.4 Características estáticas y dinámicas de los Sistemas de Medición

Los transductores y sensores son importantes en los sistemas de medición ya que de estos depende determinar la variable física medida con la mayor fiabilidad posible, para ello se debe de caracterizar el comportamiento del instrumento ya que dependen de la respuesta del sensor a un estímulo externo. Estas características son de tipo estáticas donde los criterios de rendimiento para la medición de cantidades se mantienen constantes o varían muy lentamente, es decir estado estable y las cuales se cuantifican en términos de error. De tipo dinámicas donde se muestra la relación entre la entrada y la salida del sistema cuando la cantidad medida varía rápidamente, es decir régimen transitorio, estos se cuantifican en términos del error dinámico y velocidad de respuesta.

2.4.1 Características estáticas

Exactitud (accuracy): Según la British Estándar se define como “la cualidad que caracteriza la capacidad de un instrumento de medida para dar indicaciones equivalentes al verdadero valor de la cantidad medida. La expresión cuantitativa de este concepto debe darse en términos de incertidumbre.” [12]

El valor verdadero es el que se obtendría si la magnitud en cuestión se mide con un método que se considera lo suficientemente exacto. La exactitud de un instrumento se determina mediante la curva de calibración estática, esta se construye según Granda [7] manteniendo todas las entradas excepto una a un valor constante, mientras la entrada en estudio se varia lentamente, tomando sucesivos valores constantes dentro del margen de medida y el valor de la magnitud de entrada debe ser bien conocido mediante un patrón de referencia por ejemplo un instrumento altamente calibrado y de una exactitud de grado laboratorio.

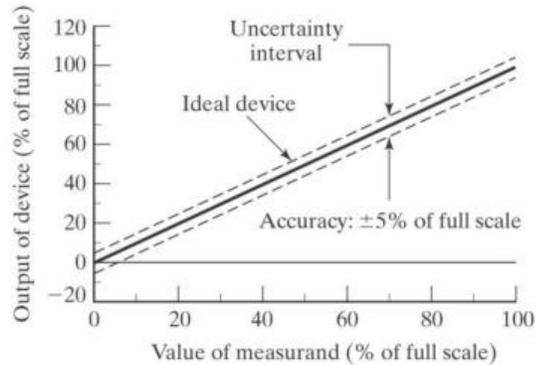


Fig. 11. Curva de calibración típica

Nota. Los fabricantes suelen dar la exactitud en términos de porcentaje de la salida a escala completa, por ejemplo, con una exactitud de $\pm 5\%$ a escala completa y un rango de medida de 0 a 5 V, la incertidumbre es de ± 0.25 V en cualquier valor que se obtenga dentro de ese rango. Tomado de: General Characteristics of Measurement Systems.

La exactitud se cuantifica mediante el error absoluto y relativo:

1. Error absoluto: Es la diferencia entre el valor verdadero y el valor medido de la magnitud física que se mide.

$$Ea = |\text{Error absoluto}| = \text{valor de lectura} - \text{valor verdadero} \quad (5)$$

2. Error relativo: Porcentaje del cociente entre el error absoluto y valor de la lectura o porcentaje del cociente entre el error absoluto y el valor de fondo de escala de salida del instrumento.

$$Er = \frac{Ea}{\text{valor de la lectura}} \times 100 \quad (6)$$

$$Er = \frac{Ea}{\text{valor de fondo de escala}} \times 100 \quad (7)$$

Por ejemplo, si un instrumento electrónico tiene un valor de fondo de escala de 10V con una exactitud de $\pm 1\%$ del valor de fondo de escala significa que en cualquier lectura la medida diferirá en 0.1 V (error absoluto), es decir el error relativo será de 1 %. En cambio, si en ese mismo fondo de escala se mide 2 V el error relativo aumenta a 5 %. De este ejemplo se concluye

que, cuando se utiliza un instrumento se debe de elegir el rango de medida adecuado.

a) Precisión o Fidelidad: Grado de regularidad y correspondencia entre cierto número de medidas independientes y realizadas en las mismas condiciones [12]. Es decir, es la característica de un instrumento o sistema de dar un mismo resultado de lectura al medir en repetidas ocasiones bajo las mismas condiciones. El valor obtenido no tiene por qué estar cerca del valor real, puede haber discrepancias con este y solos es necesario obtener valores regulares en numerosas medidas.

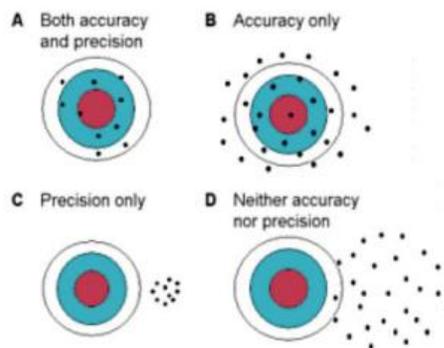


Fig. 12. Concepto de precisión y exactitud

Nota: En el caso A se tiene exactitud y precisión, puesto que se obtienen valores cercanos al real (exactitud) y numerosos valores parecidos entre si (precisión), caso B solo se tiene exactitud puesto que hay muchos valores dispersos que se acercan al valor real, caso C solo se tiene precisión puesto que se tiene valores repetidos, pero ninguno parecido al real. Caso D no existe precisión ni exactitud. Tomado de: General Characteristics of Measurement Systems, pág. 6

Cuando dichos valores son tomados en intervalos de tiempo muy corto el concepto de precisión se conoce como Repetibilidad y cuando existe un método concreto para tomar valores en diferentes sitios como laboratorio se denomina Reproducibilidad. En la práctica los instrumentos de medida deben ser altamente exactos es decir obtener lecturas de medida lo más cercano al valor real y altamente precisos, (siempre obtener el mismo resultado).

b) Sensibilidad: Es la razón entre el incremento de la señal de salida y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado estable [3]. En términos más prácticos es la menor variación que el instrumento puede medir y se cuantifica mediante el coeficiente de sensibilidad C_i [14]. Dicho coeficiente se utiliza para convertir las unidades de las incertidumbres estándar de las fuentes de incertidumbre a las unidades de la magnitud de salida para calcular su incertidumbre.

Para calcularlo se utiliza la expresión de la ecuación 8.

$$C_i = \frac{\Delta f(x)}{\Delta x} \quad (8)$$

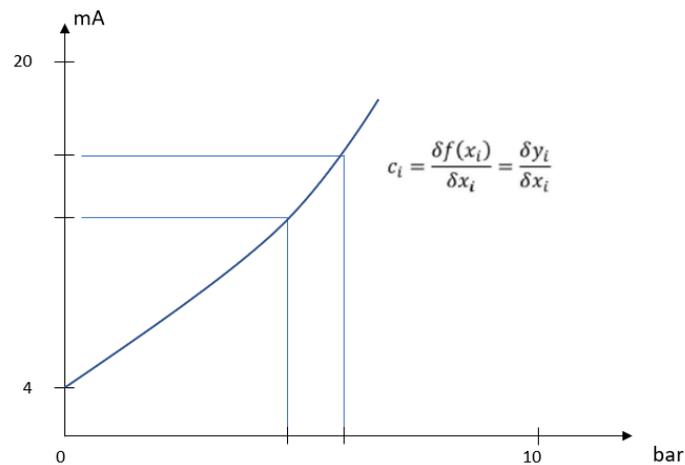


Fig. 13. Curva de calibración y cálculo del coeficiente de sensibilidad

Nota: En el gráfico se observa la curva de calibración para un transductor de presión que tiene un rango de medida de 0 a 10 bar y una salida de 4 a 20 mA respectivamente. Tomado de: Elaboración propia.

Por ejemplo, para la curva de la figura 13 el coeficiente de sensibilidad es de:

$$C_i = \frac{(20 - 4)}{10} = 1.6 \text{ mA/bar}$$

Esto quiere decir que por cada bar que detecte el transductor la salida será de 1.6 mA. La sensibilidad calculada corresponde a un valor medio en un intervalo dado y solo es constante si la respuesta es lineal.

- c) Resolución o discriminación:** Es el incremento más pequeño que permite diferenciar una lectura de otra. Expresa la posibilidad de discriminar entre valores, debido a las graduaciones del instrumento. En indicadores analógicos está directamente relacionado con la graduación de la escala de lectura (divisiones) y en instrumento digitales está relacionado con el número de cifras menos significativos.
- d) Rango de medida:** Es el intervalo de un parámetro de medida en el que permanece dentro de los límites de exactitud definidos. Por ejemplo, para una sonda de temperatura cuyo rango de medida es de -50°C a 150°C la diferencia de medición que asegura el fabricante estará dentro del límite definido de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ para el rango de 25°C a 80°C y el resto del rango estará en un límite de $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$. Otra forma de entender este concepto, es que fuera del rango no se aseguran las características de exactitud y precisión del instrumento de medida además de que se corre el riesgo de dañar el propio instrumento.
- e) Histéresis:** Es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento para una misma entrada dependiendo de si la entrada está aumentando o disminuyendo. Es un fenómeno de tipo memoria que afecta principalmente a los sensores analógicos con mecanismo de desplazamiento. Se calcula mediante la siguiente expresión según (Granda,2015).

$$\text{Histeresis} = \frac{\text{diferencia max de salida}}{\text{valor de fondo de escala}} \times 100 \quad (9)$$

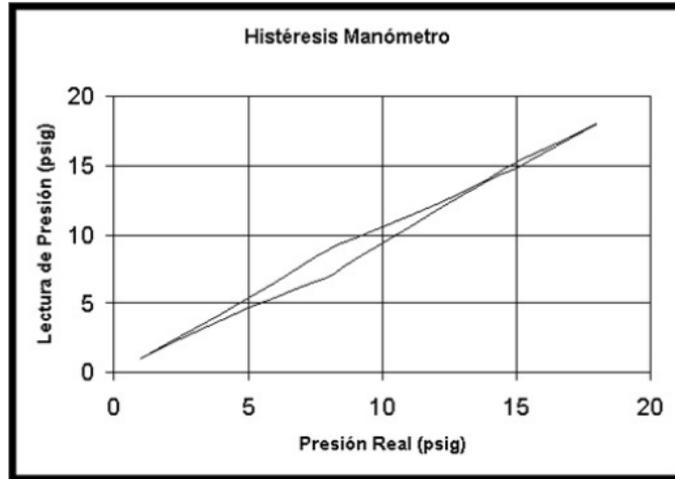


Fig. 14. Curva de histéresis de un manómetro

Nota: Una presión de 3 psig podría leer 3.1 psig si la presión acaba de bajar, pero 2.9 psig si esta ha subido, este comportamiento describe la gráfica ascendente y descendente que forma la curva de histéresis.

Tomado de: P. Barrera diap. #27

- f) Linealidad:** Es el grado de igualdad entre la curva de calibración y una línea recta determinada como referencia. Es decir, señala el grado de exactitud de las mediciones en todo el rango en comparación con los valores de referencia.

Expresa hasta qué punto es constante la sensibilidad de un instrumento electrónico (Granda,2015), aunque no es condición indispensable para que sea lineal. La linealidad se busca para que la conversión de la lectura y valor medido sea más fácil de determinar ya que al ser constante la sensibilidad en respuesta lineal, basta con multiplicar la indicación de salida del sensor por un factor constante para conocer el valor de la entrada.

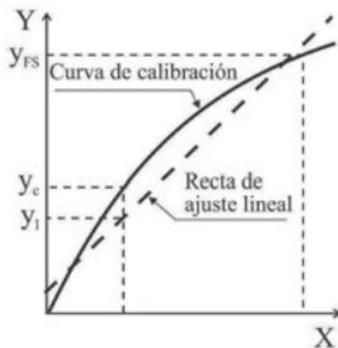


Fig. 15. Linealidad

Nota. Tomado de: Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal, pág. 19

2.4.2 Características dinámicas

Debido a la existencia de capacitancias, inductores, transformadores y otros medios de almacenamiento de energía en los instrumentos electrónicos, la respuesta a señales de entrada que varían en el tiempo es distinta a las señales que son constante. Para caracterizar dicho comportamiento se utiliza el concepto de:

- a) Error dinámico: Es la diferencia entre la señal de entrada y salida durante el tiempo que demora la señal en establecerse.
- b) Velocidad de respuesta: Es la tasa de cambio con la que el sistema de medida responde a los cambios en la variable de entrada. Esta demora ocurra cuando la medición es más “lenta” que la propia variable medida.

Para la determinación de estas características se estudia la respuesta a una entrada variable en el tiempo ya sea tipo impulso, escalón, rampa, sinusoidal o ruido blanco para determinar su respuesta en el dominio frecuencial o diagrama de Bode y determinar el ancho de banda del instrumento que establece el rango de frecuencia en que debe utilizarse el equipo.

2.5 Características de entrada de los sistemas de medición

Una vez consideradas las características dinámicas y estáticas del instrumento de medida, se debe de considerar que el propio instrumento puede afectar la medida al extraer cierta cantidad de energía del sistema donde se realiza la lectura. A este fenómeno se le denomina error por carga.

El error por carga en los instrumentos de medida electrónica se cuantifica por el concepto de impedancia de entrada que consiste en la alteración de la medida por el acoplamiento de impedancia del instrumento al circuito electrónico, también se puede dar por otros fenómenos no eléctricos como la transferencia de calor entre un termómetro de gran masa que mide la temperatura de un transistor y se da un intercambio de calor que resulta en el enfriamiento del transistor a transferir calor al termómetro. En esta condición la medida se vería afectada.

Para el caso del instrumento electrónico, la condición para evitar un acoplo de impedancia descrito por el equivalente de Thévenin, es que la impedancia de entrada del instrumento debe ser mucho mayor que la impedancia del circuito a medir para que el error por carga llegue a ser despreciable en la medida.

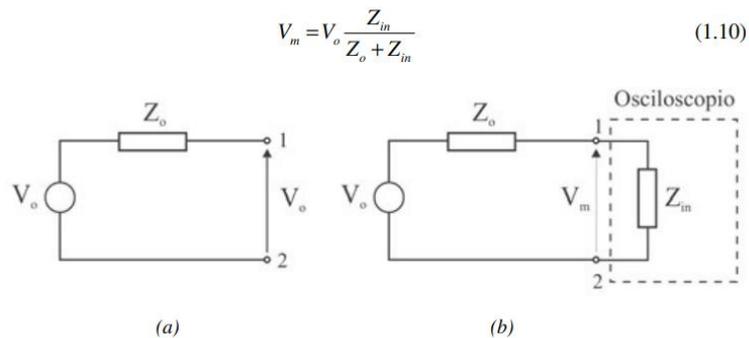


Fig. 16. Error por carga al medir con un osciloscopio

Nota: El equivalente de Thévenin aplicado al circuito a medir revela que la tensión real V_o que debería medir el osciloscopio se ve afectada por la propia impedancia de entrada Z_{in} del instrumento, por lo cual se mediría una tensión V_m que de ser Z_{in} muy pequeña diferiría considerablemente del valor real V_o . Tomado de: Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal, pág. 23

3. Adquisición de datos

La adquisición de datos o en inglés “data acquisition o DAQ” es un proceso mediante el cual se convierten señales analógicas del mundo físico como variables de voltaje, corriente, temperatura, flujo, nivel, posición, etc., a información digital para su ingreso en una computadora y así realizar su análisis y procesamiento con el fin de obtener una salida normalmente de tipo gráfica o transmitida de forma inalámbrica [15].

La adquisición de datos se puede realizar tanto para ingresar señales a la computadora como para extraer señales, aunque normalmente se refiere al ingreso de señales a la computadora. La tarjeta de adquisición de datos es el elemento principal de los sistemas de adquisición de datos y son la base de la instrumentación virtual ya que mediante su uso se realiza la comunicación entre el mundo físico y digital [16].

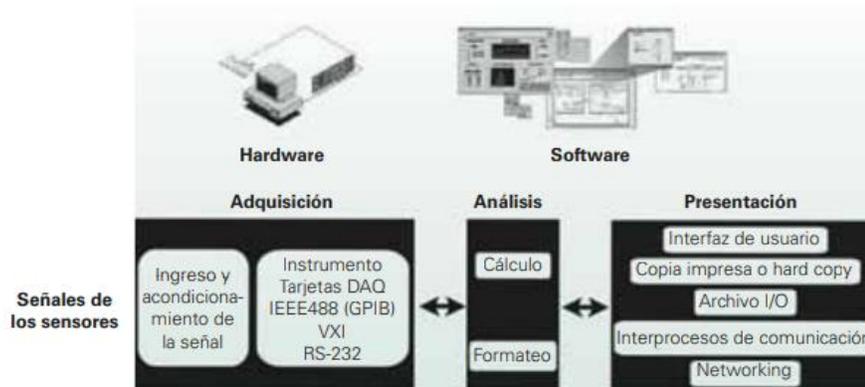


Fig. 17. Elementos de un sistema de adquisición de datos

Nota. Tomado de: [17] pág.7

3.1 Elementos de un sistema de adquisición de datos

- a) **Computadora:** Es donde se lleva a cabo todo el procesamiento de la información, la cual una vez adquirida puede ser generada en tiempo real,

almacenada en un archivo, transmitida a través de una red local o a través de internet.

- b) **Software de adquisición:** Este elemento es el encargado de llevar a cabo la funcionalidad deseada por el sistema de adquisición de datos. Existen dos niveles de software, el primero es un software de bajo nivel que comunica la tarjeta de adquisición de datos con el sistema operativo y un lenguaje de desarrollo generalmente gráfico de alto nivel, donde se programa o configura la aplicación final que hará de interfaz entre el usuario y las funciones a realizar por el sistema.
- c) **Bus de conexión o puerto de conexión:** Tiene como función conectar la computadora con la tarjeta de adquisición de datos, pueden ser buses como PCI, ISA o PCMCIA y puerto serial, puerto GPIB, USB, Firewire y Ethernet.
- d) **Tarjeta de adquisición de datos o adquirente de datos:** Este elemento es el corazón del sistema de adquisición de datos, ya que toma los datos del acondicionador de señales y hace la conversión analógica digital de la información, pudiendo ser esta interna o externa a la computadora.
- e) **Acondicionador de señal:** Adapta la señal que se recibe del sensor, amplificándola, linealizándola o filtrándola, etc. Para posterior introducirla a las entradas de la tarjeta de adquisición de datos.
- f) **Sensores:** Interactúan con la variable física y la convierten en una salida eléctrica en forma de tensión o corriente.

3.2 Buses de conexión y protocolos de comunicación

Los buses hacen referencia a los conectores internos de una computadora donde se insertan las tarjetas de adquisición de datos. Los protocolos de comunicación definen el tipo de enlace de comunicación con el que se va a conectar un sistema externo de adquisición de datos con una computadora.

3.2.1 Buses de conexión

ISA: Creado por IBM para la primera computadora personal comercializada y obedece a las siglas Industry Standard Architecture, es la forma más antigua de ranura de expansión en una placa madre. La versión original ISA tenía 8 bits. Tenían el inconveniente de ser ranuras estrechas y lenta, ya que utilizaba una gran cantidad de tiempo para la transferencia de datos y en su mejor versión solo se desplazaba 1 bits por operación. Teniendo un ancho de banda limitado.



Fig. 18. Puertos ISA

Nota. Tomado de: <https://www.cavsi.com/preguntasrespuestas/que-es-isa/>

PCI (Peripheral Component Interconnect): Introducido en el mercado por Intel en 1992, manejaba un bus de 32 bits a una velocidad de 33 Mhz e incorporaba mejoras en las capacidades plug and play, este bus selecciona automáticamente las direcciones permitiendo que diferentes dispositivos PCI puedan compartir las interrupciones.



Fig. 19. Puertos PCI express en motherboards modernas

Nota. Tomado de: <https://www.islabit.com>

PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association): Es cuanto a desempeño y velocidad es mejor que el ISA, pero inferior al PCI, las tarjetas de adquisición de datos con este tipo de bus poseen capacidades de lectura entre

100 KS/s³ a 200 KS/s, resoluciones de 12 a 16 bits, entre 8 a 1 entradas analógicas, algunas salidas analógicas y salidas digitales.

PCI Express: Es el más reciente incorporado a las computadoras modernas, este funciona mediante una arquitectura de transferencia de datos seriales de alta velocidad de 2 Gbps, tiene velocidad de transferencia de hasta 32 Gbps. Las tarjetas de adquisición moderna incorporan este tipo de bus.

3.2.2 Protocolos de comunicación

Estándares de puertos seriales (RS232, RS485, RS422):

El RS232 apareció en 1962, sus características iniciales es que podía transmitir datos hasta 15 metros de distancia a una velocidad de hasta 19,200 bits/segundos o baudios y poseía un conector tipo DB-25, actualmente cuenta con velocidades de hasta 115 a 230 Kbaudios y un alcance de hasta 25 metros.



Fig. 20. Conector DB-9 actual puerto RS232

Nota. Tomado de: www.eltima.com

RS422 permite la conexión de hasta 10 dispositivos, se pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 115 Kbaudios y distancias de hasta 1220 metros, esta distancia no se puede obtener para la máxima velocidad de transferencia ya que son parámetros inversamente relacionados.

El puerto RS485 logra velocidades de hasta 115 Kbaudios, cubriendo una longitud de 1220 metros, a diferencia del RS422 añade cuatro hilos permitiendo controlar hasta 32 dispositivos.

³ Kilo Samples per second o Miles de muestras por segundo en castellano



Fig. 21. Conector RS485

Nota. Tomado de: www.eTechnophiles.com

Tabla 3

Resumen de puertos seriales

Estándar serial	Distancia máxima	Velocidad máxima	Cantidad de dispositivos que se pueden conectar	Notas
RS232	15 m (50 pies)	115 Kbaudios	1	Puerto serial estándar de las computadoras.
RS422	1220 m (4000 pies)	115 Kbaudios	10	Se requiere un adaptador de RS422/RS232 o una tarjeta RS422 para comunicarse con una computadora.
RS485	1220 m (4000 pies)	115 Kbaudios	32	Se requiere un adaptador de RS485/RS232 o una tarjeta RS485 para comunicarse con una computadora.

Nota: Comparativa de puertos seriales. Tomado de : www.puntofotante.net

Estándar USB (Universal Serial Bus): Surgido en 1995, fue diseñado para soportar múltiples dispositivos sobre un solo puerto. Puede comunicarse a velocidades más altas que un RS232 e incluso suministrar alimentación a los dispositivos conectados al puerto. Una cualidad es que un dispositivo USB se puede conectar o desconectar sin necesidad de desenergizar la computadora, tampoco es necesario inicializar el equipo, ya que es de tipo Plug and Play⁴.

El USB en su versión 1.1 comenzó con velocidades de transmisión de 12 MB/s en su versión 3.0 alcanza velocidades de hasta 600 MB/s.

⁴ Se refiere a la capacidad de un dispositivo para funcionar automáticamente al ser conectado, sin la necesidad de configuraciones o ajustes manuales.

3.3 Tarjeta de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición de datos poseen las siguientes especificaciones:

Resolución de la entrada analógica: Se especifica como la resolución en bits de las entradas analógicas del ADC, pudiendo ser de 8,10,12,14,16 y 24 bits de resolución.

Número de entradas y salidas: Se refiere a la cantidad de entradas y salidas analógicas y digitales que maneja la tarjeta.

Velocidad de muestreo: Es la velocidad a la que un sistema de adquisición recoge datos. La velocidad se expresa en muestras por segundo, por ejemplo 250 kS/significa que la tarjeta puede capturar hasta 250,000 muestras o samples en inglés, por segundo.

La velocidad de muestreo depende del número de entradas analógicos o canales que deberán estar activos y a medida que aumenta el número de canales el número de muestras por segundo reduce la velocidad de muestreo. Con la siguiente expresión se calcula la velocidad por canal:

$$Velocidad_{canal} = \frac{Velocidad_{ADC}}{n^{\circ} \text{ de canales}} \quad (10)$$

Rango de entrada: Indica los márgenes entre los que debe estar la señal de entrada para que pueda ser convertida. Las tarjetas de adquisición de datos suelen dar varias posibilidades que se pueden seleccionar por hardware o por software.

Tipo de comunicación: Esta depende del tipo de tarjeta si es interna (buses) o externa que usara protocolo de comunicación como USB, RS485 o protocolos propios como CompactRIO de National Instruments.



Fig. 22. Tarjeta de adquisición de datos de bajo costo NI DAQ USB-6009

Nota: Tarjeta de adquisición de bajo costo de National Instruments, con 8 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 13 entradas y salidas digitales, velocidad de muestreo de 48 kS/s, 14 bits de resolución y comunicación vía USB. Tomado de www.ni.com.

La elección del tipo de tarjeta a utilizar estará en función de los requerimientos de la aplicación, ya sea que se necesite registrar eventos muy rápidos se necesitará una alta tasa de muestreo o se necesite medir pequeñas señales como ECG se necesitará alta resolución en las entradas.

3.4 Conversión analógica a digital

Para entender mejor los conceptos sobre las especificaciones de una tarjeta de adquisición es necesario detallar el funcionamiento del ADC, que representa el cerebro de la tarjeta de adquisición el cual realiza la conversión de la información analógica a digital.

Los conversores A/D (Analógico a Digital) son dispositivos cuya función es convertir una señal análoga a digital. Para ello se conceptualiza cada tipo de señal.

Señal Análoga: Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo, varían entre un límite superior y uno inferior denominado amplitud, por eso son llamadas de tipo continua ya que tienen un valor definido en cada intervalo de tiempo y tienen un patrón fijo cuya ocurrencia en el tiempo es denominada frecuencia. Ejemplo de esta señal: la luz, el sonido, la corriente eléctrica alterna, etc.

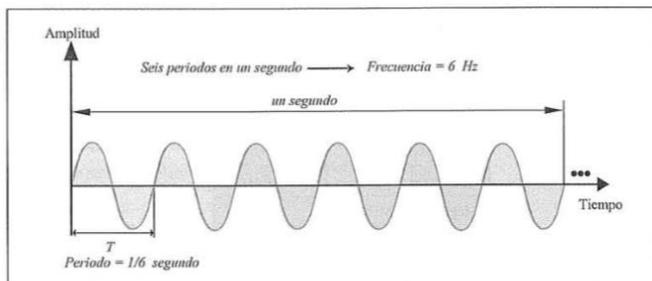


Figura 4.6. Período y frecuencia.

Fig. 23. Señal analógica típica de forma senoidal.

Nota. Tomado de Google sites: señales en telecomunicaciones

Señal digital: Son variables con dos niveles bien diferenciados, un estado alto representado por 1 y un nivel bajo representado por 0, en lógica TTL estos niveles son 5 y 0 V respectivamente. Las señales digitales son inmunes al ruido electrónico y se utilizan para la transmisión de información binaria.

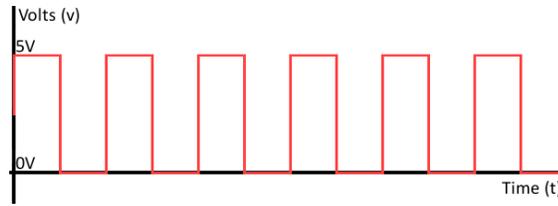


Fig. 24. Señal digital

Nota. Tomado de: Analog vs Digital- SparkFun Learn

La conversión analógica a digital convierte una señal en tiempo continuo en una señal en tiempo discreto o digital, para ello esta serie de niveles discretos sigue las variaciones de la señal analógica tal que se asemeja a una escalera y entre mayor sea el número de escalones discretos mejor será la aproximación a la señal real [18].

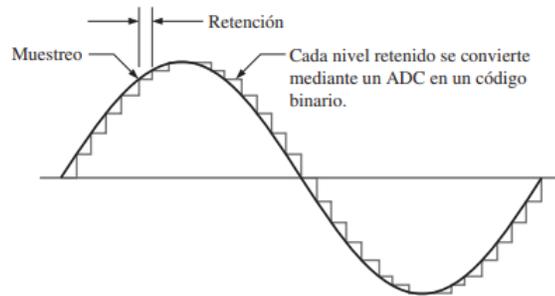


Fig. 25. Una señal analógica y su aproximación en escalera.

Nota. Tomado de Fundamentos de sistemas Digitales, Thomas Floyd. Pág.836

El ADC consiste de un circuito de muestreo y retención, seguido de un cuantificador y un codificador, cada uno realiza las siguientes funciones:

1. **Muestreo y Retención:** Es el proceso de tomar un número suficientemente grande de valores discretos en determinados puntos de una forma de onda como para poder definirla adecuadamente [18] seguidamente se tiene que mantener el valor hasta que se toma la muestra siguiente para lograr la forma de onda escalonada, esto se consigue con un circuito Sample and Hold (S/H).

Toda señal analógica contiene un espectro de frecuencias componentes o armónicos, estas señales de frecuencias distintas a la original deben de pasar

por un filtro paso-bajo para eliminar las frecuencias no deseadas por encima de un cierto valor. El muestreo estará definido por el teorema del muestreo o frecuencia de Nyquist.

El teorema del muestreo establece que, para poder representar una señal analógica, la frecuencia de muestreo debe ser al menos dos veces superior a la componente de mayor frecuencia de la señal analógica, es decir:

$$f_{muestreo} \geq 2f_{max} \quad (11)$$

2. **Cuantificación:** El cuantificador es un sistema no lineal que transforma la muestra de entrada procedente del circuito S/H en un valor de un conjunto finito de valores [19], para ello se utiliza un número de niveles que representan escalones, cada muestra devuelve un valor que representa el nivel más cercano al valor de la muestra.

Este número de niveles de cuantización viene dado por el número de bits del ADC que se utilizan para representar cada muestra. El número de distintos niveles en que se divide la señal a convertir viene dado por 2^n . Por ejemplo, un adc de 8 bits que tiene un rango de entrada de 5 V tendrá una resolución de:

$$\frac{5}{2^8} = 19.5 \text{ mV}$$

Es decir que el menor cambio que puede “observar” el adc será de 19.5 mV y será el menor escalón en que caerá el valor continuo de la señal.

3. **Codificación:** La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación a código binario para ser interpretado y ser procesado por la computadora.

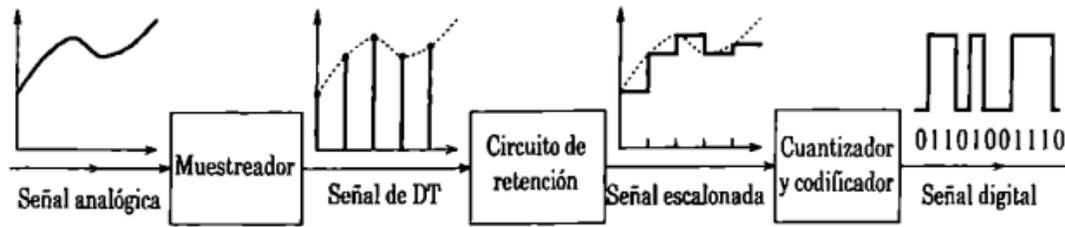


Fig. 26. Proceso de conversión de una señal analógica a digital.

Nota. Tomado de: Procesamiento de señales analógicas y digitales (Ashok Ambardar), pág. 465

3.5 Acondicionador de señal

Los acondicionadores de señales son circuitos electrónicos que convierten los parámetros de salida de los transductores en una señal eléctrica adecuado para las entradas de un convertidor A/D, a un microprocesador o DSP [20].

Cuando las señales provenientes de los transductores están fuera del rango de las entradas de la tarjeta de adquisición como voltajes o corriente, la magnitud que se mide no es una tensión o una intensidad, se necesita incrementar la relación señal-ruido o si el transductor presenta una respuesta no lineal a los cambios de magnitud física medida, es necesario utilizar circuitos de acondicionamiento.

3.5.1 Amplificador operacional

Cuando la magnitud de salida del transductor es pequeña se emplean los amplificadores operacionales para que la señal de salida supere los niveles de ruido electrónico aleatorio, por ello son recomendables como amplificador de entrada ya que además cuentan con una alta impedancia de entrada, alta ganancia, bajo consumo de corriente de entrada, entre otras características.

El OP AMP por sus siglas en inglés es un amplificador de alta ganancia, acoplado directamente, al cual se le puede modificar el tipo de señal de respuesta por medio de la realimentación. El amplificador operacional en su modelo ideal posee: Impedancia de entrada infinita, Resistencia de salida cero, Ganancia de voltaje infinita, Ancho de banda infinito y equilibrio perfecto. En la práctica estas

características ideales no existen y en los reales se presentan proximidades a estas.

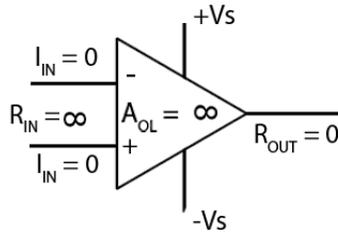


Fig. 27. Modelo del amplificador operacional ideal

Nota. Tomado de: learnabout-electronics.org

3.5.1.1 Realimentación de los amplificadores operacionales

La realimentación siempre se considera negativa ya que la realimentación positiva trae consigo inestabilidad en el sistema [17]. Para los acondicionadores de señales se abordarán tres tipos de conexión en realimentación negativa:

1. **Amplificador operacional Inversor.** En esta configuración la entrada no inversora se conecta a tierra, la señal de entrada se conecta a la entrada inversora a través de R_1 y el resistor de retroalimentación R_f se conecta entre la entrada inversora y la salida. La relación entre la tensión de entrada y la salida determina la ganancia en lazo cerrado.

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i \quad (11)$$

Por tanto, en esta configuración se invierte la polaridad de la señal de entrada mientras es amplificada.

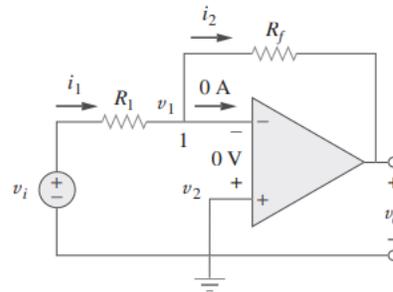


Fig. 28. Amplificador operacional inversor

Nota. Tomado de: Fundamentos de circuitos eléctricos Sadiku (2003) pág. 154

2. **Amplificador operacional no inversor:** La señal de entrada se aplica directamente a la terminal no inversora, y el resistor R_1 se conecta entre la tierra y la terminal inversora. Interesan la tensión de salida y la ganancia en tensión. Resolviendo la configuración la ganancia se expresa como:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i \quad (12)$$

En esta configuración la señal de entrada es amplificada conservando su fase.

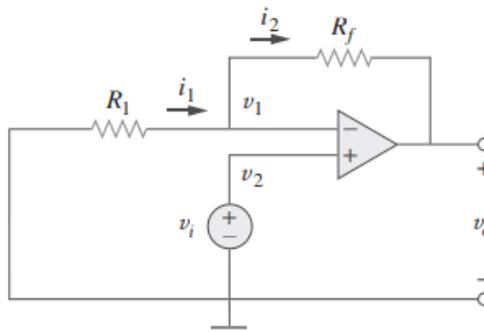


Fig. 29. Amplificador operacional no inversor

Nota. Tomado de: Fundamentos de circuitos eléctricos Sadiku (2003) pág. 156

3. **Seguidor de tensión:** También esta configuración se llama ganancia unitaria y sirve para acoplamiento de impedancias entre una etapa y otra. Esto al tener resistor de retroalimentación $R_f=0$ y $R_1=\infty$, la ganancia se convierte en 1. Por tener una impedancia de entrada muy alta es útil

como amplificador de etapa intermedia (o buffer) para aislar un circuito de otro.

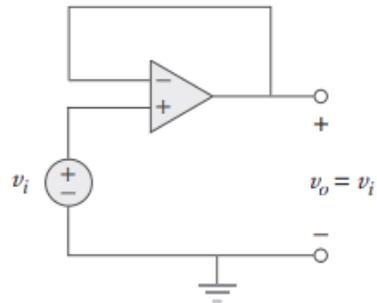


Fig. 30. Seguidor de tensión

Nota. Tomado de: Fundamentos de circuitos eléctricos Sadiku (2003) pág. 156

3.5.2 Resistores

Entre los elementos pasivos empleados en los circuitos de acondicionamiento entre el sensor y la entrada de una tarjeta se encuentran los resistores, estos se caracterizan por tres parámetros: valor de la resistencia expresada en ohm, tolerancia del valor nominal expresado en una desviación porcentual y potencia que puede disipar expresada en vatios.

Las aplicaciones para acondicionamiento de señal son:

1. Limitador de corriente: Si se utiliza indicadores leds en las salidas digitales de la tarjeta de adquisición se debe de asegurar que no se exceda la corriente que soportan, para ello se emplean resistencias en serie con el diodo led para evitar dañarlo.
2. Divisor de tensión: Se suele utilizar para medir un voltaje mayor al que soportan las entradas de la tarjeta de adquisición. Por medio del arreglo adecuado de resistencia se logra adecuar el voltaje, por ejemplo, de 480 V a 10 V para la entrada analógica de la tarjeta.
3. Shunt de corriente: Algunos sensores como los transductores de corriente basados en transformadores de núcleo dividido producen una salida en forma de corriente en vez de una tensión por lo cual calculando adecuadamente la caída de tensión que se desea para la entrada análoga se escogerá el valor del resistor para convertir la corriente en una tensión proporcional a la corriente de entrada.

3.5.3 Capacitores e Inductores

El capacitor en corriente alterna presenta una determinada reactancia capacitiva que depende de la frecuencia, esta característica es empleada en los filtros ya que permite discriminar una frecuencia de otra.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (13)$$

Entre los filtros más comunes se tiene:

2. Filtro RC pasa bajas
3. Filtro RC pasa altas

Los inductores en cambio ofrecen una resistencia a variación de voltaje aplicado debido a la propia autoinducción que presenta, si estas variaciones son muy rápidas la oposición a la misma será mayor (reactancia inductiva), con estas características se puede crear filtro RL pasa bajas o pasa altas.

4. LabVIEW

4.1 ¿Qué es LabVIEW?

LabVIEW es un entorno de programación gráfica para desarrollar aplicaciones de pruebas y control usando iconos y cables intuitivos. Ya que imita la apariencia y funcionalidad de instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros, los programas desarrollados son llamados instrumentos virtuales o Vis [21].

A diferencia de otros lenguajes de programación basados en texto como C, C++ o Python. Labview utiliza iconos en vez de líneas de texto para crear código, así el orden de ejecución viene dado por el flujo de datos gráficos, es decir, los datos fluyen a través de nodos en el diagrama de bloques y así se determina el orden de ejecución. La programación gráfica y la ejecución mediante flujos de datos son dos principales formas en que este lenguaje se diferencia de lenguajes basados en texto.

4.2 Aplicaciones y usos de la instrumentación virtual en el campo de la ingeniería

La instrumentación virtual involucra muchas áreas mediante las cuales se desarrollan un sin número de aplicaciones. Todo desarrollo implica tres etapas básicas:

1. Adquisición de señales
2. Procesamiento de datos

3. Despliegue de resultados

Para la primera etapa se utiliza las tarjetas de adquisición y los circuitos de acondicionado de señal. Posteriormente, ya que se tienen los datos en la computadora, la información se procesa mediante el uso de algoritmos o técnicas de análisis y procesamiento de la señal de acuerdo al área de aplicación requerida. Algunas técnicas son:

“Análisis Espectral, Filtrado digital, Filtrado punto a punto, Métodos de ventana, Ecuaciones diferenciales, Interpolación y extrapolación, Operaciones con señales, Análisis de distorsión y ruido, Generación de señales y ruido, Probabilidad y estadísticas, Transformadas, Integración y diferenciación, Funciones polinomiales y solución de raíces, Mediciones de amplitud y niveles (DC, RMS, pico, promedio, trigger, duty cycle), Optimización”, etc., [22].

Para la tercera etapa el despliegue o visualización de la información se pueden utilizar gráficas, archivos, animaciones o cualquier otro elemento visual que permita y facilite el entendimiento y comprensión de los datos procesados para el usuario.

Dentro de las áreas de aplicación las cuales utilizan la instrumentación virtual relacionadas a la ingeniería se tiene: Eléctrica, Mecatrónica, Electrónica, Mecánica, Biomédica, Biomecánica, Biotecnología, Ciencias computacionales, Telecomunicaciones, Robótica, Automotriz, Aviónica e ingeniería aeroespacial [22].

Los usos actuales o tendencias que incluye el desarrollo de aplicaciones por medio de Vis por mencionar algunas son [22]:

- Algoritmos genéticos
- Eficiencia energética y sistemas sustentables
- Programación dinámica
- Control y automatización de procesos
- Sistemas embebidos y lógica reconfigurable
- Reconocimiento de patrones

- Inteligencia artificial y redes neuronales
- Robótica y visión artificial
- Interfaces hápticas y redes neuronales
- Controladores programables
- Energías renovables
- Sistemas de energía nuclear
- Manufactura inteligente

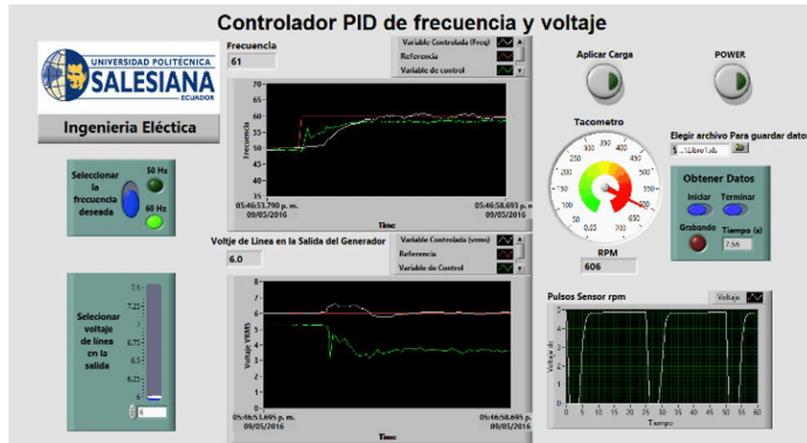


Fig. 31. Simulador de Controlador PID de frecuencia y voltaje

Nota: Aplicación creada en LabVIEW para la simulación de controlador PID de frecuencia y voltaje. Tomado de: www.researchgate.com

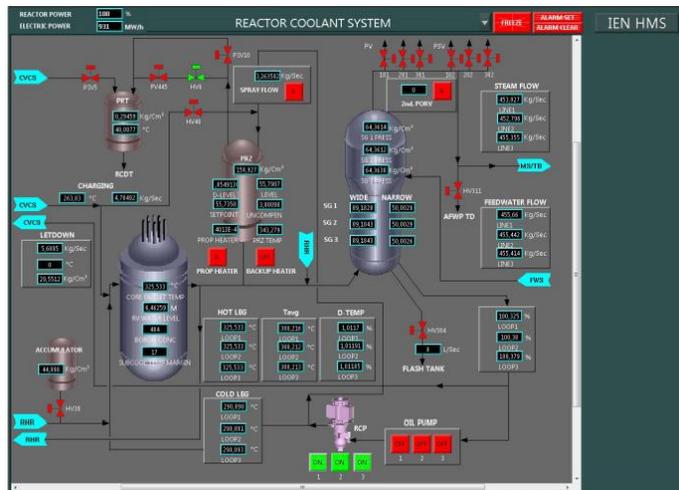


Fig. 32. Interfaz humano máquina para el sistema de enfriamiento de un reactor nuclear.

Nota: HMI desarrollado en LabVIEW para la migración total de la interfaz antigua de una central nuclear en Brasil. Tomado de: DEVELOPMENT OF A NEW GRAPHICAL INTERFACE FOR THE LABIHS SIMULATOR USING LABVIEW , pág. 13

4.3 Partes de un VI

Los programas en este software contienen tres componentes principales: la ventana del panel frontal, el diagrama de bloques y el panel de iconos/conectores.

4.3.1 Ventana del panel frontal

La ventana del panel frontal es la interfaz del usuario para el VI, la Figura 33 muestra un ejemplo de una ventana de panel frontal. En dicha ventana se crea con controles e indicadores, terminales interactivos de entrada y salida del VI. (National Instruments, 2012)

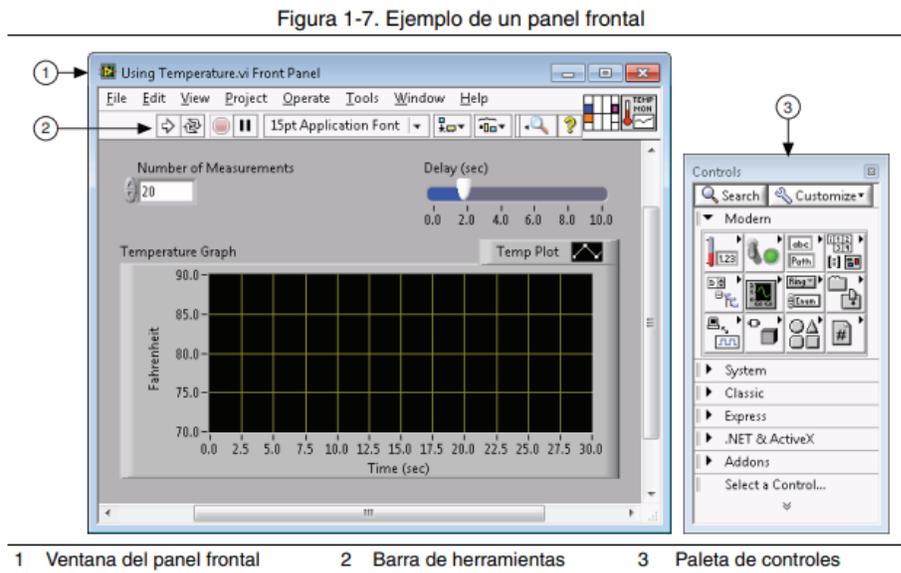


Fig. 33. Panel Frontal en LabVIEW

Nota. Tomado de: LabVIEW Core 1, pág.15

Controles e indicadores: Son los terminales interactivos de entrada y salida del VI. Ejemplo de controles son mandos, botones, diales, interruptores entre otros. Los indicadores son gráficos, LED. Los controles simulan periféricos de entrada de instrumento y los indicadores simulan dispositivos de salida de instrumentos y muestran datos.

Figura 1-8. Controles e indicadores numéricos

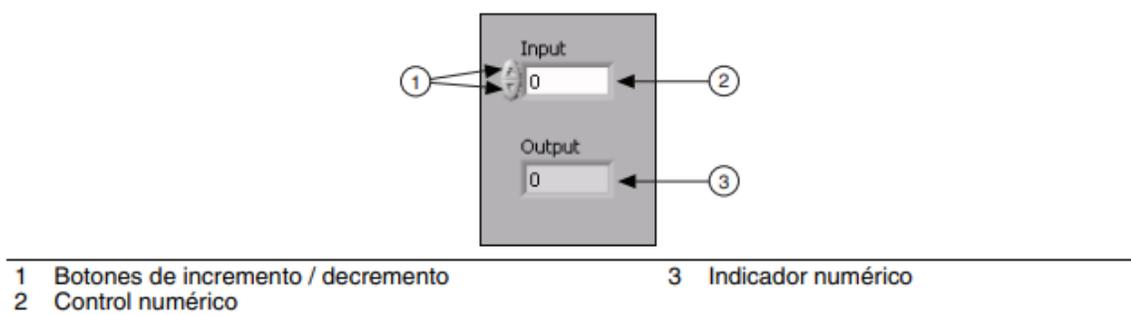


Fig.34. Controles e indicadores numéricos

Nota. Tomado de LabVIEW Core 1, pág.16

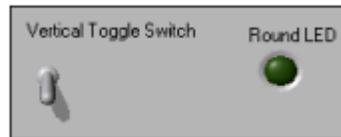


Fig. 35. Control e indicador booleanos

Nota. Tomado de LabVIEW Core 1, pág.16

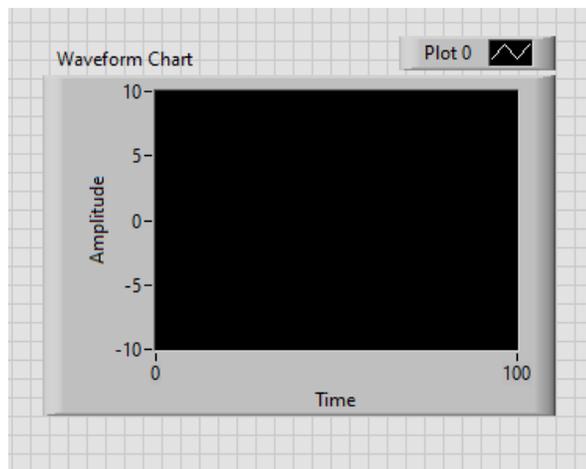


Fig. 36. Indicador gráfico tipo Waveform Chart

Nota. Tomado de: Elaboración propia

4.3.2 Diagrama de bloques

Entre los elementos que conforman el diagrama de bloques se tiene: terminales, subVIs, funciones, estructura y cables, los cuales transfieren datos entre objetos del diagrama de bloques.

Figura 1-12. Ejemplo de un diagrama de bloques y el panel frontal correspondiente

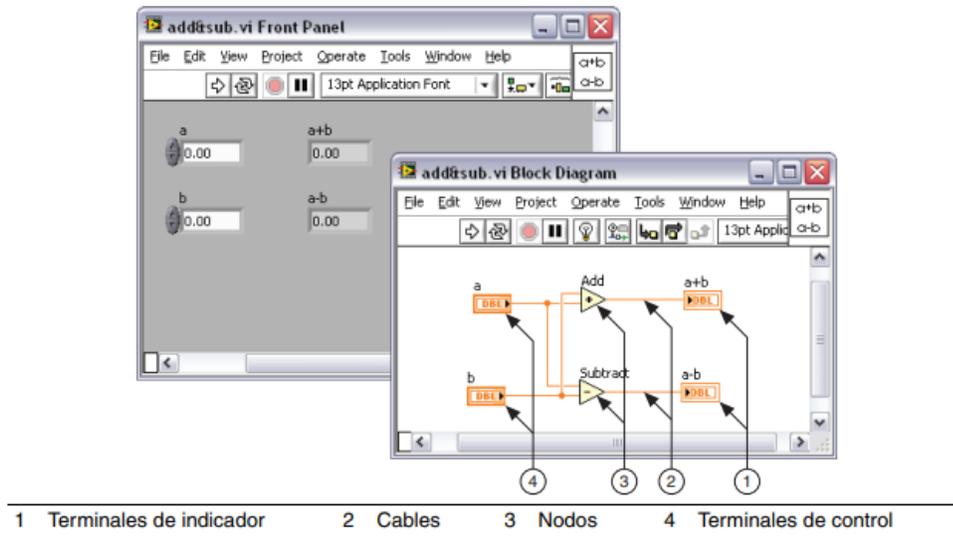


Fig. 37. Diagrama de bloques

Nota. Tomado de LabVIEW Core 1, pág.21

Terminales: Los objetos de la venta del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Los terminales son puertos de entrada y salida que intercambian información entre el panel frontal y el diagrama de bloques.

Funciones: Las funciones son los elementos operativos fundamentales. No tiene ventanas de panel frontal solo paneles de conectores.

SubVIs: Los subVIs son Vis que se crean dentro de otro VI y cualquier VI puede utilizarse como subVI.

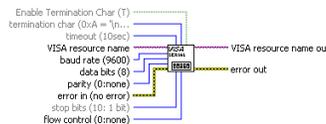
4.4 VISA

VISA (Virtual Instrument Software Architecture) es una librería desarrollada por varios fabricantes de equipos como una API de alto nivel que llama a controladores de nivel inferior, capaz de controlar instrumentos por los protocolos de comunicación como VXI, GPIB o comunicación serie [23].

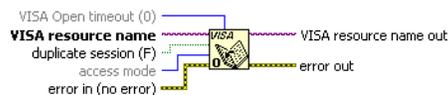
Las funciones VISA del puerto serial se pueden utilizar para desarrollar aplicaciones haciendo uso del puerto serial de cualquier computadora. Los puertos seriales se identifican por un número único de puerto llamado COM y para la programación de la mayoría de las aplicaciones, se utiliza el formato serial sin control de flujo mediante las conexiones de las terminales TX, RX y GND [22].

El paquete visa se debe de descargar y una vez instalado se dirige a la paleta de funciones, seguida de la pestaña Instrument I/O y finalmente se encontrará el icono de VISA que contiene las siguientes funciones:

VISA Configure Serial Port: Inicializa y configura el número de puerto COM especificado en la terminal VISA resource name con los parámetros definidos en el resto de terminales de entrada. Los valores desplegados entre paréntesis son los valores predefinidos.

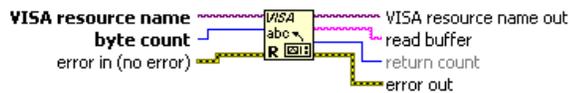


Visa Open: Abre un puerto COM especificado en la terminal VISA. Al colocar una constante o un control en dicha terminal, aparecen los puertos COM disponibles dependiendo de la cantidad de puertos disponibles en la computadora.



Visa Read: Lee el número de bytes especificados en la terminal byte count del buffer receptor del puerto serial de acuerdo a la sesión o número de puerto COM

definido en la terminal VISA resource name. Los datos leídos se obtienen en representación string en la terminal de salida read buffer. En caso de que la cantidad de bytes o caracteres ASCII recibidos en el buffer del puerto serial sea menor al número especificado en la terminal byte count, la función detiene su ejecución hasta recibir los caracteres que completen el valor de byte count.



Bytes at Serial Port: Regresa el número de bytes disponibles en el buffer del puerto serial que ha sido recibido en la terminal RX de dicho puerto de comunicaciones. Puede utilizarse para indicarle a la función VISA Read el número de bytes que debe leer.



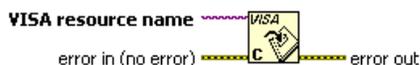
Visa Write: Escribe los datos almacenados en el buffer de transmisión del puerto serial al número de puerto COM especificado en la terminal VISA resource name. En la terminal return count se obtiene el número de bytes o caracteres ASCII enviados. Los datos a enviar deben ser de tipo string.



Visa Clear: Borra el contenido de los buffers de transmisión y recepción del puerto serial.



Visa Close: Cierra el número de puerto COM especificado en la terminal VISA resource name. En la comunicación serial se debe cerrar siempre el puerto COM, ya que, si se desea abrir nuevamente el mismo puerto sin haberlo cerrado, la función VISA open generara un error debido a que el puerto está ocupado.



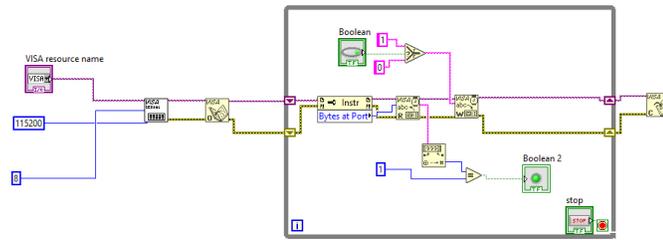


Fig. 38. Ejemplo de comunicación serial VISA con Arduino.

Nota. Se utiliza la librería VISA para leer por el puerto serie de Arduino UNO, el string “1” que de ser igual a la constante produce un True y se enciende el indicador led Boolean 2, seguidamente se escribe por el puerto serial un “1” o “0” para encender físicamente un led. Tomado de: Elaboración propia.

4.5 Patrones de diseño

Representan implementaciones y técnicas de código en LabVIEW que son soluciones para problemas en el diseño de software. Por tanto, “los patrones de diseño responden a necesidades concretas” [24]. Entre los más comunes se encuentran:

1. **Patrón de diseño de VI simple:** Este patrón es adecuado para realizar cálculos o mediciones rápidas en el laboratorio, no necesitan una arquitectura complicada. El programa en cuestión podría constar de un solo VI que realice una medición o un cálculo y muestre los resultados.
2. **Patrón de diseño del VI general:** Tiene tres fases principales: arranque, aplicación principal y cierre. El arranque inicializa el hardware, lee la información o solicita al usuario que los ubique. La aplicación principal consta de al menos un bucle que se repite hasta que el usuario decida salir del programa o este termine y el cierre, cierra los archivos, escribe información y/o regresa al estado predeterminado.
3. **Patrón de diseño máquina de estados:** Es una modificación del patrón de diseño general, tiene una fase de arranque y de cierre. Sin embargo, la fase de la aplicación principal consta de una estructura case dentro

de un while loop. Cada caso define un estado de la máquina. En LabVIEW una máquina de estados está compuesta por: bucle While, una estructura Case y un registro de desplazamiento. Este patrón se recomienda utilizar para Vis que se dividen fácilmente en varias tareas más simples, como Vis que actúan como una interfaz de usuario.

4. **Patrón de diseño del controlador de eventos de la interfaz de usuario:** Incluye una arquitectura potente y eficaz para controlar la interacción del usuario. Se utiliza este patrón cuando se necesite detectar cuando un usuario cambie el valor de un control, mueve el ratón, hace clic en el o pulsa una tecla. Consta básicamente de una estructura evento en un bucle while.
5. **Patrón de diseño Productor/Consumidor:** Separa tareas que producen y consumen datos a distintas velocidades. Los bucles paralelos están separados por los que producen los datos y los que consumen los datos producidos. Las colas de datos comunican datos entre los bucles. Las colas de datos, también almacenan temporalmente datos en un buffer entre los bucles productor y consumidor. Por tanto, este patrón es recomendable cuando se debe de adquirir varios conjuntos de datos que se procesan en orden, pero no necesariamente a la misma velocidad. Este bucle está pensado para la adquisición de datos y su procesamiento [25].

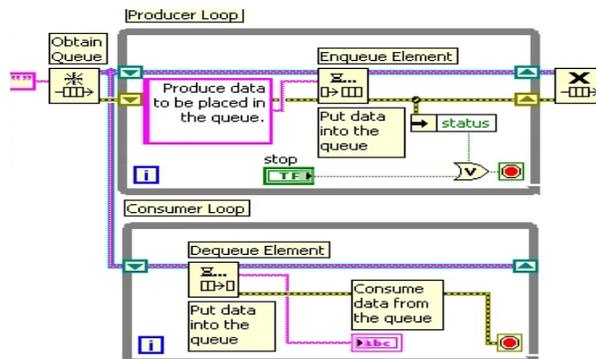


Fig. 39. Patrón de diseño productor/consumidor.

Nota: Formado por bucles while en paralelo conectados mediante colas que permiten el almacenamiento de la información en un buffer. Tomado de: www.ni.com

5. Potencia de CA en sistemas monofásicos

5.1 Potencia instantánea y promedio

La potencia absorbida por un elemento de circuito es el producto de la tensión instantánea en las terminales del elemento y la corriente instantánea a través de él expresada en watts. [26]

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (14)$$

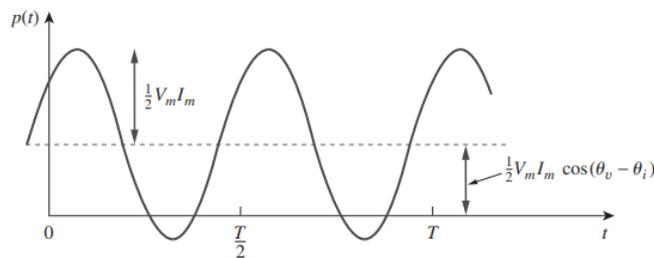


Fig. 40. Potencia instantánea

Nota. Tomado de: Fundamentos de circuitos eléctricos (Sadiku) pág. 395

La potencia instantánea tiene dos partes, una constante que no depende del tiempo y una instantánea con una frecuencia del doble que la tensión de corriente o tensión. La potencia promedio es el promedio de la potencia instantánea a lo largo de un periodo [26].

5.2 Valor eficaz

Es la corriente de cd que suministra la misma potencia promedio a una resistencia que la corriente periódica [26]. Es decir, es el equivalente de corriente continua que produce la misma disipación de energía en forma de calor en un resistor que si lo atravesara una corriente continua o de CC. En valores eficaces la potencia promedio, activa o real se puede expresar como:

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (watts) \quad (15)$$

5.3 Potencia aparente, potencia reactiva y factor de potencia

El producto de los valores RMS o eficaces de la tensión y la corriente de carga se conoce como potencia aparente. Se expresa en volt-ampere o VA para distinguirla de la potencia activa, real o promedio expresada en watts o vatios en castellano [26].

$$S = V_{rms} * I_{rms} \text{ (VA)} \quad (16)$$

El factor de potencia trigonométricamente es la diferencia de fase entre la tensión y corriente o también es igual al ángulo de la impedancia de carga.

$$fp = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (17)$$

Expresado en términos prácticos es el porcentaje de aprovechamiento de la energía suministrada a una carga que la transforma en trabajo útil, en estos términos el factor de potencia es el resultado del cociente entre la potencia activa y aparente.

La potencia reactiva (Q) surge como un indicador del intercambio de energía con la fuente para establecer los campos magnéticos y eléctricos de las cargas que contienen componentes almacenadores de energía como capacitores e inductores; dicho intercambio no se ve reflejado en trabajo útil, sino en la energía que requieren las propias máquinas como motores, balastos, hornos de inducción, etc., para su propio funcionamiento. Esta se expresa en volt-ampere reactivo o Var para distinguirla de la potencia aparente y activa.

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin(\theta_v - \theta_i) \text{ (VAr)} \quad (18)$$

Estas tres potencias forman la potencia compleja que expresa con su parte real la potencia activa o real y su parte imaginaria la potencia reactiva.

$$S = P + jQ \text{ (VA)} \quad (19)$$

Capítulo II:

Diseño y desarrollo del instrumento virtual propio para medición de energía eléctrica de una carga monofásica.

2.1 Diseño y desarrollo del circuito acondicionador de señales

2.1.1 Análisis y selección de los sensores

Para la selección de los sensores se establecen los siguientes requerimientos que deben de satisfacer con el fin de encontrar una solución técnica y económicamente viable.

- Deben tener una respuesta lineal en la mayoría de su rango.
- Aislar eléctricamente el circuito a medir de la etapa de adquisición.
- Con una exactitud suficiente para obtener medidas fiables.
- De bajo costo.
- Disponible en el territorio nacional.
- Portátil.

Para la medición de tensión, se considera una fase en el rango de 0 a 240 V eficaces con una frecuencia fundamental de 60 Hz para luego adecuarlo a voltajes menores a 5 V que soporta la tarjeta Arduino UNO. Entre las opciones contempladas se tiene:

1. **Divisor de tensión:** Este reduce el voltaje con la configuración adecuada de resistencias con una salida altamente lineal, de bajo costo, preciso, pero posee el inconveniente de no aislar el circuito a medir del resto del sistema de medida. Debido a la falta de aislamiento esta opción se descarta inmediatamente.
2. **Transductor de tensión LV25-400:** Transductor basado en el efecto hall para medir voltaje DC y AC con separación galvánica entre el circuito primario y secundario, altamente preciso, bajo error lineal $< 0.2 \%$, con un rango de entrada de 0 a 600 Vrms y portable. Esta opción sería la indicada, pero se descarta por su alto costo y porque debe ser importado.

3. **Transformador de medida:** El transformador de medida de tensión posee todas las características esperadas, salida lineal, altamente preciso, ofrece una aislación galvánica entre circuito primario y secundario, pero tiene un alto costo y por su tipo de construcción es pesado y robusto para ser portátil.
4. **Transformador magnético:** Es un transformador utilizado para amplificadores de audio o para fuentes de voltajes. Por su tipo de construcción basado en un núcleo de hierro presenta una salida altamente lineal antes de llegar a la saturación magnética, su costo es accesible, ofrece una aislación galvánica y su peso no es excesivo para su portabilidad. Por tanto, este es seleccionado para funcionar como sensor de tensión del sistema desarrollado.



Fig. 41. Transformador magnético con entrada 110/220 salida 24 V-1A

Nota. Tomado de: www.mikrotronica.cc

Entre las características de este transformador se puede mencionar:

1. Voltaje de entrada: 110/220 VAC
2. Voltaje de salida: 24V, + 12V, -12V
3. Señal de salida: Alterna senoidal pura sin distorsión
4. Corriente nominal de salida :1 A

En el caso del transductor de corriente este debe operar en un rango de 0 a 100 A máximo y además de poseer las características requeridas, debe ser de tipo no invasivo para no interrumpir el circuito a medir y así tener una mayor flexibilidad a la hora de realizar la medición.

Entre las opciones analizadas se tiene:

1. **Bobina Rogowski:** Este tipo de bobina se coloca alrededor de un cable que transporta una corriente, y al fluir la corriente alterna a través del conductor esta induce una tensión proporcional, no poseen núcleo ferromagnético por lo cual no sufre saturación del núcleo que causa la pérdida de la respuesta lineal, por tanto, permite medir sin pérdida de precisión incluso las corrientes más bajas y los armónicos de alta frecuencia.⁵ Esta bobina sería ideal para utilizarse como sensor, pero debido a su alto costo queda fuera del alcance del presupuesto y a esto se debe añadir el costo de importación.



Fig. 42. Bobina Rogowski QI-ROG-300 de 84 mm de diámetro.

Nota. Tomado de www.qeed.it

2. **Transformador de corriente de núcleo dividido YHDC SCT-013:** Este tipo de transformador posee un núcleo de ferrita partido que permite el acoplamiento del cable a medir, posee un error de linealidad de hasta 3%, una corriente de entrada en el rango de 0-100 A eficaces y una salida de corriente de 0 a 50 mA. El único inconveniente es que su salida es una corriente, por lo cual se deberá de conectar una resistencia en paralelo a su salida para convertirlo a voltaje⁶. Por ser la opción más viable se escoge para ser implementada como parte del diseño del sistema.

⁵ Según la define el fabricante weidmueller en su página web www.weidmuller.com

⁶ Esta resistencia recibe el nombre de Shunt



Figura 43. Transformador de corriente de núcleo dividido YHDC modelo SCT-013

Nota. Tomado de: naylampmechatronics.com

Entre sus características técnicas se tiene:

- Corriente de entrada: 0-100 A
- Corriente de salida: 0-50 mA
- No linealidad: hasta 3%
- Relación de Transformación: 2000:1
- Longitud de cable: 1 m
- Tamaño abierto: 13 x 13 mm

2.1.2 Diseño del circuito acondicionador de señales

Una vez conocido los sensores a emplear, se tiene información sobre sus niveles de tensión y corriente de salida. Estos niveles deben de adaptarse a la placa de desarrollo que se utilizará como tarjeta de adquisición, específicamente a los niveles de voltaje que soportan sus entradas analógicas.

La placa seleccionada para tal fin, es la placa de desarrollo Arduino UNO por su bajo costo, facilidad de programación y su rango de entrada de 0 a 5 V que facilita su adecuación de señales a estos niveles.

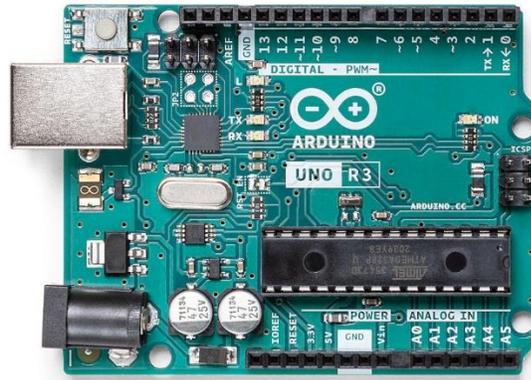


Fig. 44. Arduino UNO R3

Nota: En la imagen se muestra una placa de desarrollo original de la marca Arduino modelo UNO Revisión 3. La diferencia con los clones, es el color que no puede utilizar el mismo del oficial y el acabado de la placa, que en términos estéticos es inferior a la original. Tomado de: www.store-usa.arduino.cc

Tabla 4

Especificaciones de la placa de desarrollo Arduino UNO

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de alimentación recomendado	7-12 V
E/S Digitales	14
Pines con salida PWM	6
Entradas analógicas	6
Corriente máxima por pin	20 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHZ

El transformador de tensión genera a su salida una señal alterna proporcional a la entrada y posee en un período de la señal, un semiciclo positivo y uno negativo. La salida pasa a través de un divisor de tensión para reducir aún más el nivel de tensión para que el valor pico a pico de la tensión no sobrepase los 5 V que soportan las entradas. Debido a que el rango de voltaje de las entradas analógicas es de 0 a 5 V, toda señal fuera de este rango es recortada al momento de su digitalización; para evitar esto se añade un desplazamiento de cc igual a la mitad del rango que soportan las entradas, para que el ADC incorporado en el microcontrolador Atmega328P pueda leer⁷ tanto los semiciclos positivos como negativos y de esta manera reproducir lo más fielmente la señal medida.

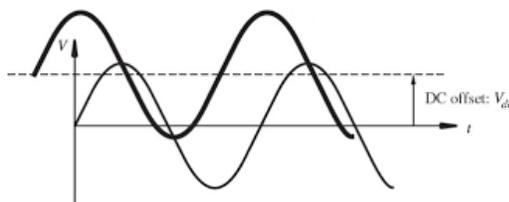


Fig. 45. Desplazamiento de CC o DC offset de una señal analógica

Nota: El offset es un nivel de cc que se suma a la señal periódica para desplazarla de arriba o hacia abajo respecto del origen 0. Si el offset es positivo la señal se desplaza hacia arriba, si es negativo se desplaza hacia abajo. Tomado de: www.cinemotion.biz

El acondicionado también involucra la protección de la tarjeta de adquisición contra sobrevoltajes, por lo cual se implementó una protección de tipo activa⁸, esta consiste en comparar el valor medido de voltaje con una referencia que permite establecer el valor de seguridad que desconectará el circuito de potencia, de la parte de adquisición. Para realizar la desconexión se emplea un relé electromecánico que es controlado vía software por una salida digital del Arduino UNO. Esta misma protección se implementa para el circuito acondicionador de corriente.

⁷ Leer es una forma de decir que el ADC pueda digitalizar la señal analógica utilizando todos los valores disponibles según su resolución en bits.

⁸ Se considera de tipo activa porque se puede controlar el dispositivo de protección y programarlo para su actuación.

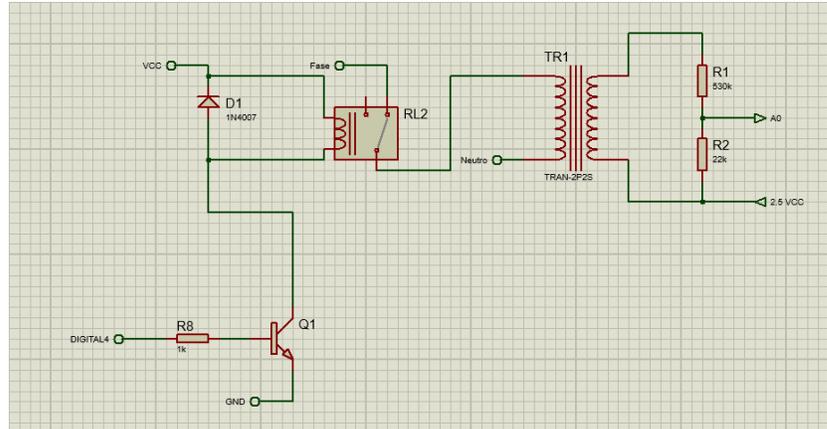


Fig. 46. Circuito acondicionador de la señal de tensión.

Nota: Tomado de: Elaboración propia

Para el acondicionamiento de la señal de corriente se añade un shunt a la salida del transformador para convertir la corriente de salida en tensión, el valor de la resistencia se calcula a como sigue:

$$I_{maxsalida} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{pico-pico} = 2 * \sqrt{2} * I_{maxsalida} = 141.421 \text{ mA}$$

Para maximizar la resolución de la medida ⁹el voltaje que atraviesa la resistencia debería de ser igual a 5 V.

$$Shunt \text{ ideal} = \frac{5 \text{ V}}{141.421 \text{ mA}} = 35.35 \text{ Ohm}$$

Como este no es un valor comercial se selecciona el valor más cercano comercialmente de 33 Ohm.

⁹ A como se menciona en <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino>

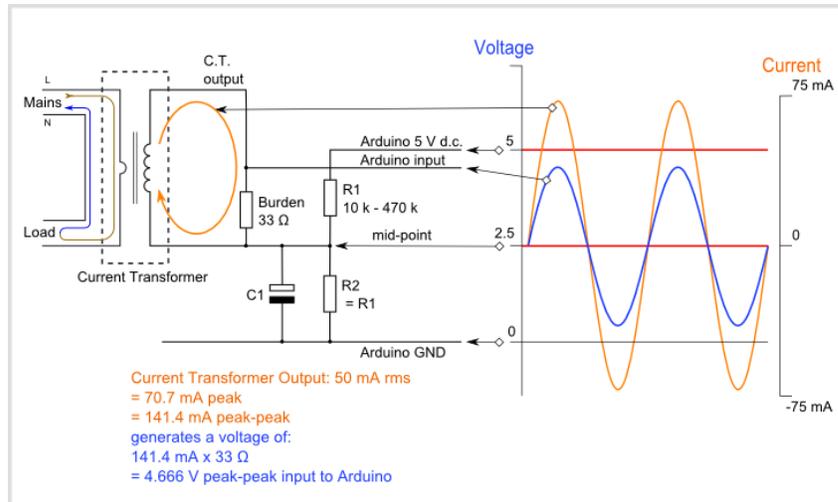


Fig. 47. Circuito acondicionador de corriente simplificado.

Nota: En el esquema se observa la resistencia de 33 Ohm a la salida del transformador de corriente.
Tomado de: learn.openenergymonitor.org

Para añadir el offset a la señal de corriente a como se observa en la Figura 47, se emplea un divisor de tensión para obtener 2.5 V e inyectarlos a la entrada no inversora del amplificador operacional LM358P en modo seguidor de tensión con el fin de evitar cargar la fuente ¹⁰de 5 V generada por el regulador de tensión del Arduino cuando se acople este offset a las dos señales a medir.

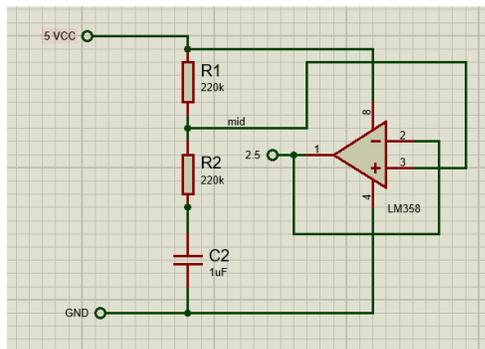


Fig. 48. Divisor de tensión con buffer a la salida

Nota: Tomado de: Elaboración propia

Debido a que corrientes del orden de 1 a 10 A generan una salida de unos cientos de milivoltios pico-pico, es necesario amplificarlas para mejorar la resolución en la

¹⁰ En el blog de www.learningaboutelectronics.com se menciona que el seguidor de tensión sirve para evitar extraer corriente de la fuente actuando como “amortiguadores de aislamiento” es decir de esta forma se garantiza la salida del voltaje gracias a la alta impedancia de entrada que poseen los OMPA.

medida. Para ello se requiere ajustar la ganancia y obtener la máxima resolución según el rango de medida establecido, por ejemplo, de 0 a 5 A. Entre las opciones se puede utilizar un amplificador operacional por cada ganancia o se emplea un PGA¹¹ para ajustar este valor.

Se descarta el uso de múltiples amplificadores por cada valor de ganancia, por ser poco práctico, en su lugar se diseña un PGA basado en un multiplexor CD4052B y un amplificador operacional LM358P. El principio para ajustar la ganancia se basa en acoplar o desacoplar la resistencia de retroalimentación como la resistencia de entrada y así ajustar cada valor de ganancia. Por medio de las dos entradas digitales A y B del multiplexor se puede seleccionar un canal diferencial u otro.

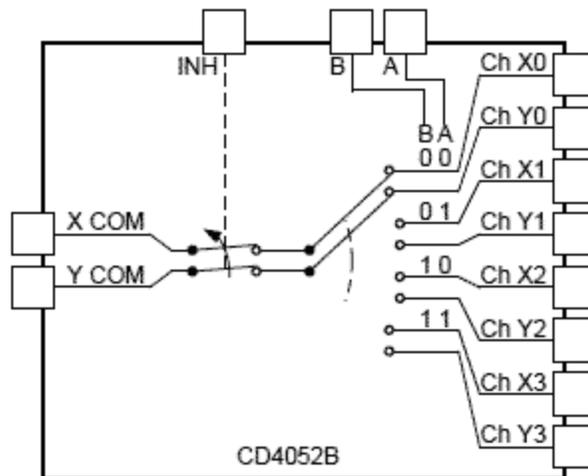


Fig. 49. Diagrama Funcional del CD4052B

Nota: En el diagrama se observa las dos entradas comunes X e Y y los cuatro pares de salidas que son controladas por dos bits en las entradas A y B, además de una entrada inhibidora en caso de bloquear la selección. Tomado de: <https://wiki.console5.com/wiki/File:CD4052-functional-diagram.png>

Las ganancias establecidas serán 1,2,4 y 11 las cuales se obtienen según los siguientes arreglos de resistencias de retroalimentación y entrada:

¹¹ Amplificador de ganancia programable o del inglés Programable-Gain Amplifier

Tabla 5

Valores de ganancia para el circuito acondicionador de corriente

Ganancia	Rango de medida (A)	Rf	Rg
x1	50-100	-	-
x2	50-25	220 kOhm	220 kOhm
x4	25-10	680 kOhm	220 kOhm
x11	0-10	100 kOhm	10 kOhm

Para elegir entre un canal y otro se emplea la tabla de verdad proporcionada en la hoja de datos del multiplexor para conocer que bit corresponde a la activación de cada salida.

Tabla 6

Tabla de verdad del CD4052B

CD4052B			
INHIBIT	B	A	
0	0	0	0x, 0y
0	0	1	1x, 1y
0	1	0	2x, 2y
0	1	1	3x, 3y
1	X	X	None

Estas entradas serán controladas mediante dos salidas digitales del Arduino UNO.

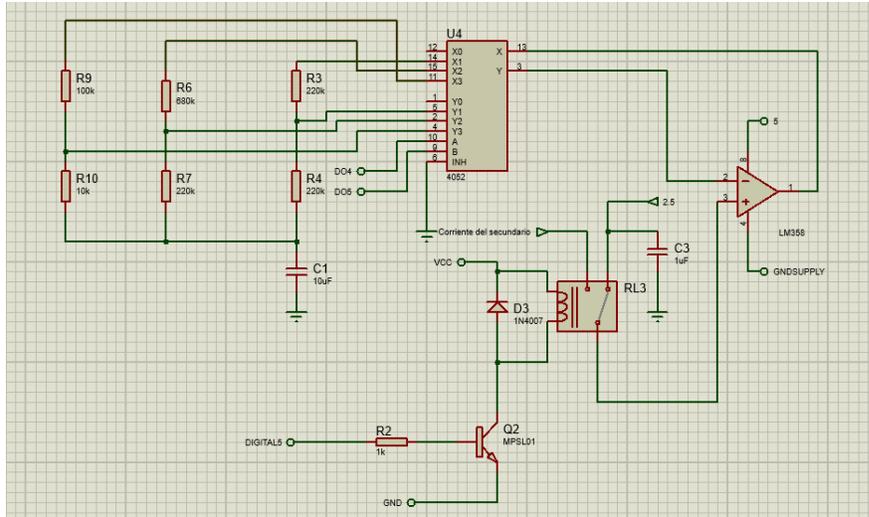


Fig. 50 Circuito acondicionador de corriente

Nota: Tomado de: Elaboración propia

2.2 Rutina de adquisición y envío de datos de Arduino a la PC

El conjunto de instrucciones para la adquisición y envío de datos tendrá que establecer el tiempo de muestreo entre cada señal y formatear los datos para ser enviados mediante puerto serie al PC donde se procesarán con el VI¹² desarrollado. También debe de recibir instrucciones de la aplicación para el control de la ganancia del PGA y el control de activación de los relés de protección.

El tiempo de muestreo es el intervalo entre cada medición sucesiva y es necesario calcularlo para reconstruir la señal adecuadamente. El recíproco del tiempo de muestreo es la frecuencia de muestreo o tasa de muestreo, que permite conocer cuantas muestras se están tomando por segundo. Según el teorema del muestreo o de Nyquist, para muestrear una señal de una determinada frecuencia se requiere de una frecuencia de muestreo de al menos el doble del componente de frecuencia máxima de la señal a medir, ya que, se produciría efecto alias¹³ y distorsión en la señal.

¹² Virtual Instrument (Instrumento Virtual)

¹³ También conocido como solapamiento es un fenómeno que ocurre cuando se miden frecuencias por encima de la de Nyquist e introduce distorsión de la señal original

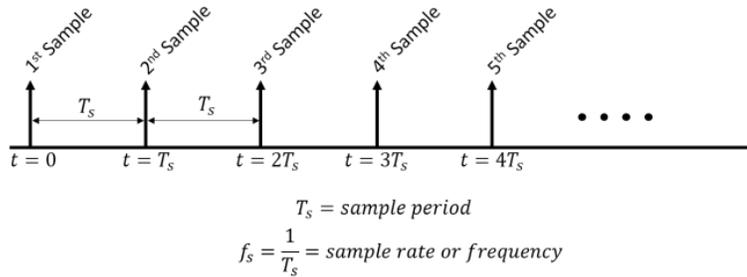


Fig. 51. Concepto de tasa de muestreo

Nota: En $t=0$ se toma la primera muestra, luego se espera un tiempo igual al de muestreo y se toma una segunda y así sucesivamente hasta tomar n muestras en un segundo. Tomado de: www.iamzxlee.wordpress.com

La señal a medir tanto de tensión como de corriente, tienen una componente fundamental de 60 ciclos por segundo por lo cual en teoría se debería de muestrear a una tasa de 120 ciclos por segundo, pero en la práctica según [27] se debe de muestrear como mínimo a 10 veces la máxima frecuencia para representar la forma de la señal de una forma precisa.

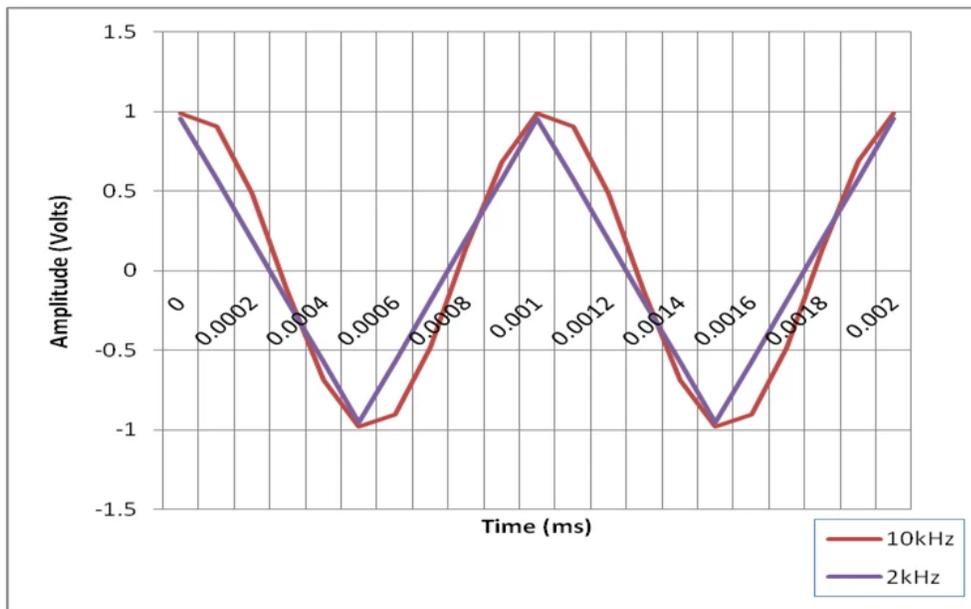


Fig. 52. Representación de una frecuencia de muestreo de 10 kHz vs 2 kHz

Nota: En esta gráfica se muestra la comparación entre medir una señal sinusoidal de 1kHz a una velocidad de muestreo de 2 kHz (según Nyquist) y 10 kHz. Se observa que al doble de la frecuencia máxima la señal no se reconstruye de manera precisa en cambio a 10 kHz se tiene una señal más fiel a la original. Tomado de: www.ni.com/es-cl/shop/data-acquisition/how-to-choose-the-right-daq-hardware-for-your-measurement-system.html

Por tanto, se estableció una tasa de muestreo de 1000 S/s o 1000 Hz que implica un tiempo de muestreo de 1 ms entre muestra y muestra. Debido a la limitación del hardware del microcontrolador atmega328P de manejar lecturas simultáneas¹⁴, velocidades superiores no se logran alcanzar, pero con 600 Hz ya se puede reconstruir sin ningún problema las señales de tensión y corriente, no así la de potencia activa, ya que esta tiene una frecuencia del doble de la señal fundamental, es decir 120 Hz, que requiere velocidades cercanas a los 2 kHz para una reconstrucción fiable.

¹⁴ El microcontrolador ATmega328P posee un único convertidor análogo a digital y utiliza un multiplexor para seleccionar entre 6 canales, esto conlleva un retardo entre tomar una muestra y la siguiente para dos canales diferentes.

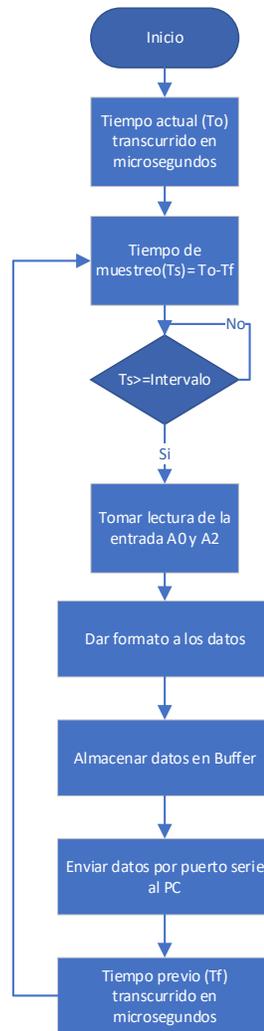


Fig. 53. Diagrama de flujo para la rutina de adquisición de muestras

Tomado de: Elaboración propia

En la figura 53 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo implementado para adquirir dos señales. Primeramente, se almacena en una variable de tipo entero el tiempo transcurrido desde la ejecución del programa con la función `micros`, luego este tiempo se resta del tiempo previo que está inicializado en cero para compararlo si es mayor o igual al intervalo preestablecido, si es verdad se toman las lecturas de forma simultáneas de ambos canales y se formatean para ser enviadas inmediatamente por puerto serie a la PC, después el ciclo se repite indefinidamente hasta que el usuario detenga la captura mediante el control del Arduino por medio de la GUI desarrollada.

Las lecturas tomadas deben ser enviadas en un orden y formato específico mediante el puerto serie para que la aplicación reconozca que señal corresponde a cada canal analógico, así como el tiempo de muestreo. Para ello se utiliza la función `Sprintf()` que permite dar formato a una cadena de caracteres combinando variables y texto. Para ello primero se debe de definir una matriz de caracteres que debe de contener el número de caracteres que se almacenarán, seguidamente se tiene la función `sprintf()` que recibe como argumentos el buffer que almacena los caracteres, el siguiente es la cadena en si con el especificador de formato y por último las variables a formatear.

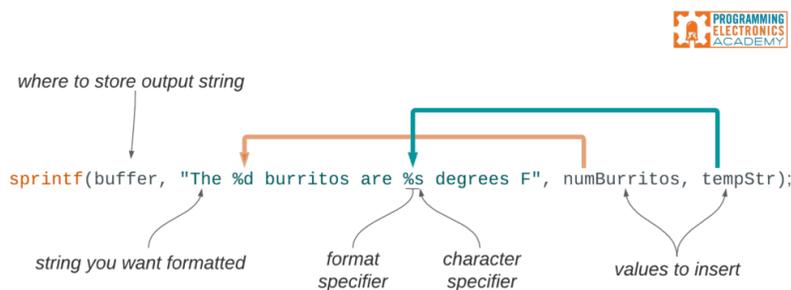


Fig. 54. Estructura de la función `sprintf ()`

Tomado de: www.programminelectronics.com

Para el control de la ganancia del PGA, se hizo uso de dos salidas digitales del Arduino para activar o desactivar las entradas A y B del multiplexor que controlan las salidas. Para ello se hace uso de la tabla 5 en la cual se muestra que bits corresponde a cada canal. Así por ejemplo para activar la salida X1, Y1 se escribe para la entrada A un valor ALTO o 1 lógico y para la entrada B un valor BAJO o 0 lógico por medio de las salidas digitales 4 y 5 respectivamente del Arduino UNO. Esta ganancia es controlada desde la aplicación y mediante la lectura del puerto serie se selecciona que salida se activa.

De igual forma los relés de protección son activados o desactivados en función de que si se alcanza valor de referencia, el cual en la aplicación se compara con el valor medido en tiempo real de la señal. Toda esta lógica se unifica mediante una estructura case que selecciona cada caso de activación según el control proveniente de la propia aplicación.

Se implementó el uso de la librería `avdweb_AnalogReadFast.h`, que permite obtener lecturas del adc más rápidas a diferencia de la función estándar `analogRead`, con el fin de asegurar tomar lecturas completas durante el tiempo de adquisición.

2.3 Desarrollo del Instrumento Virtual para medición de potencia y energía eléctrica

2.3.1 Implementación del patrón de diseño del controlador de eventos de la interfaz de usuario.

El patrón de diseño de controlador de eventos de GUI según National Instruments [24] sirve para controlar la interacción del usuario con la interfaz al detectar cuando se cambia el valor de un control, mueva el rato, haga clic en él o pulse una tecla. Por tanto, esta arquitectura se implementó para desarrollar la aplicación que tendrá a su vez tres VI's que hacen uso de los mismos datos, pero con diferentes funcionalidades:

1. **Medidor de Energía:** Esta es la aplicación principal la cual de la medición de los parámetros de la señal de tensión y corriente obtiene un conjunto de nuevos parámetros de potencias y energías de la carga.
2. **Osciloscopio:** Muestra más detalladamente la forma de onda de la señal de tensión y corriente con diales que permiten seleccionar el tiempo en el eje horizontal y la amplitud de la señal en el eje vertical.
3. **Datalogger:** Registra valores máximos y mínimos de tensión y corriente entre otros parámetros para escribir los datos en una hoja Excel y grabarlos a intervalos de tiempo de 1 seg., 1 minuto, 3 minutos, 15 minutos o 1 hora.

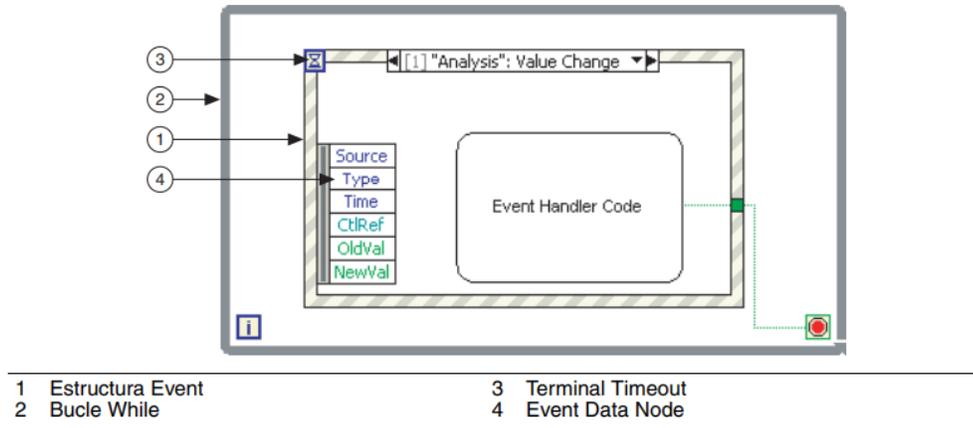


Fig. 55. Patrón de controlador de eventos de la GUI

Nota: La plantilla estándar del controlador de eventos de interfaz de usuario consta de una estructura event dentro de un bucle while. Tomado de: LabVIEW Core 2, pág. 2-7

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la aplicación de bienvenida llamada "MAIN VI", la cual permitirá al usuario elegir la función.

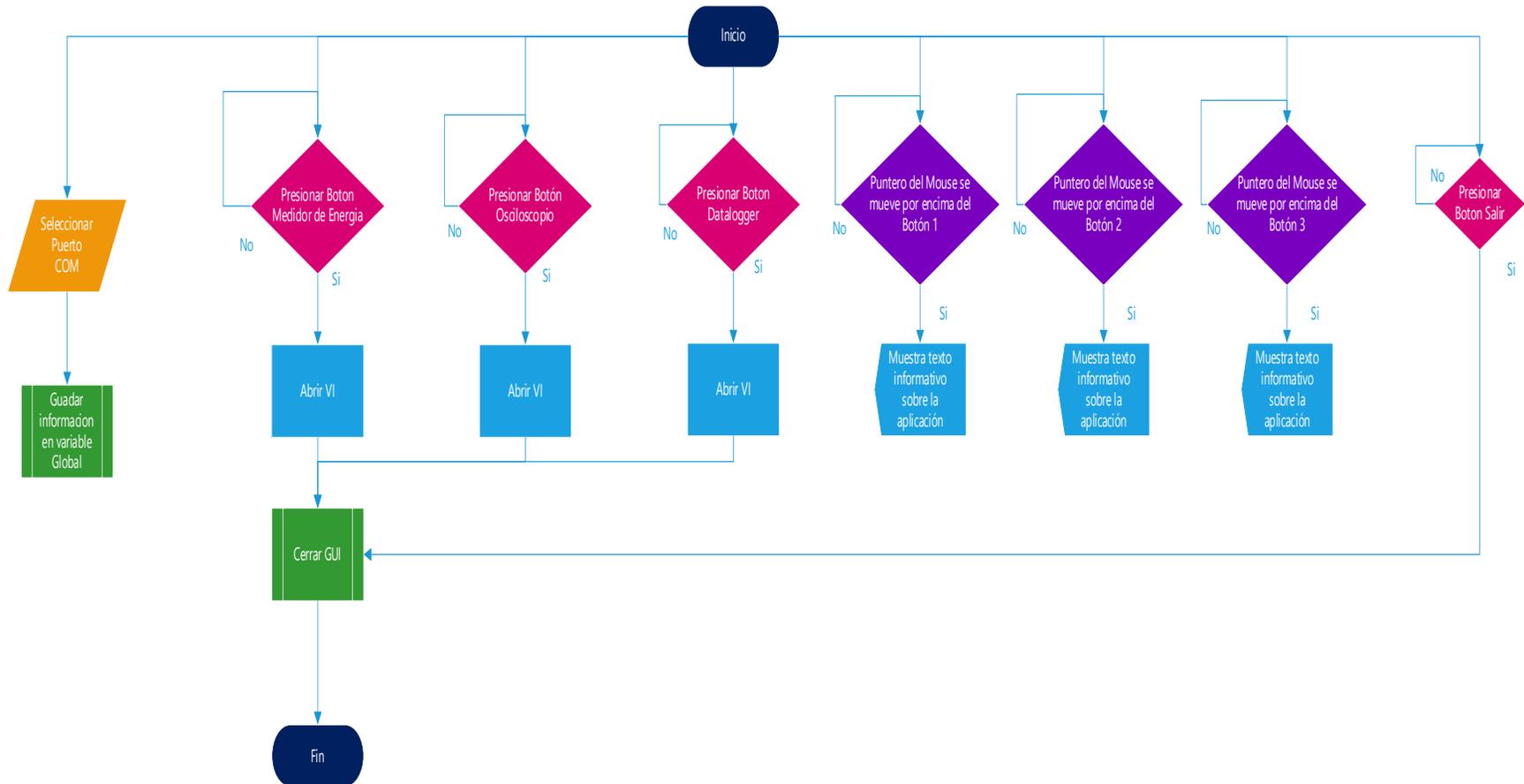


Fig. 56. Diagrama de flujo MAIN VI

Tomado de: Elaboración propia



Fig. 57. Menú principal del MAIN VI para selección de la función

Nota: Panel frontal de la aplicación. Tomado de: Elaboración propia

2.3.2 Medidor de energía

El medidor de energía debe ser capaz de calcular el valor eficaz de las señales de tensión y corriente y en base a estas mediciones calcular:

- Potencia activa o promedio
- Potencia aparente
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- Ángulo de desfase
- Energía activa
- Energía reactiva
- Triángulo de potencias

Para llevar a cabo todos estos cálculos, se implementó la arquitectura Productor-Consumidor. El bucle Productor estará formado por la rutina de lectura del puerto serie que genera los datos necesarios para extraer la información de las señales medidas. Los bucles consumidores harán uso de estos datos para distintas tareas, desde formar las formas de onda, realizar los cálculos de valores eficaces, los

cálculos de potencias, así como para la presentación de los resultados mediante indicadores gráficos y numéricos.

Ciclo Productor (Rutina para la lectura del puerto serie y adquisición de los datos provenientes de la placa Arduino).

Los datos enviados por puerto serie al pc deben ser procesados por la aplicación y formateados de forma adecuada. Se utilizó la librería VISA que permite conectar cualquier tarjeta de adquisición que utilice puerto serie para leer o escribir información.

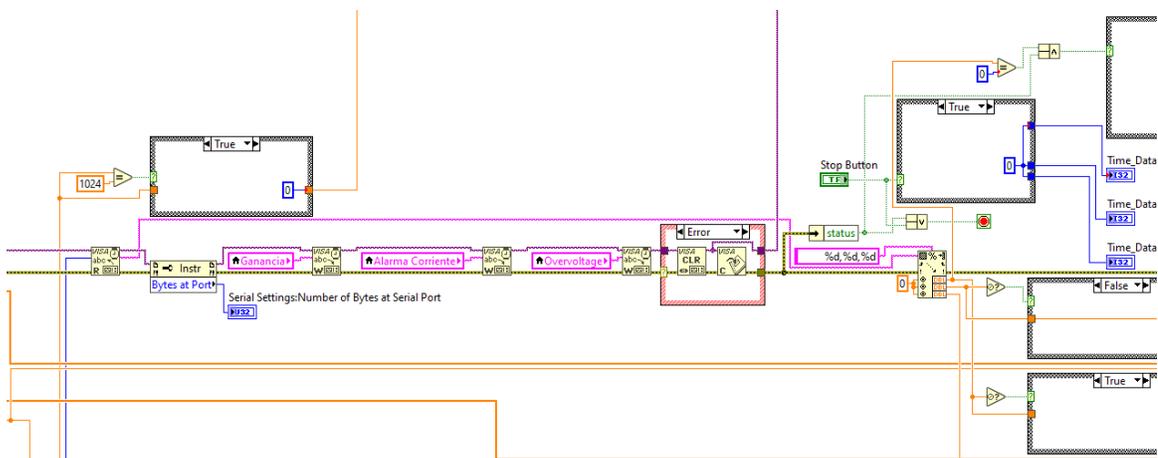


Fig. 58. Lectura del puerto serie mediante la librería VISA

Tomado de: Elaboración propia

Los datos leídos mediante el bloque “Serial Read” son de tipo string y contiene las dos lecturas de las entradas analógicas y el tiempo de muestreo. Esta cadena de caracteres debe ser transformada a valores numéricos; para ello se emplea el bloque “Scan From String” que extrae los datos en valores decimales. En este bloque se debe especificar el formato en que los datos son enviado %d,%d,%d,¹⁵de esta manera se tiene por separado la lectura de cada canal y el tiempo de muestreo.

Las mediciones enviadas al pc generan valores entre 0 y 1023 provenientes de la digitalización de la señal. Mediante estos valores no se puede calcular directamente el valor eficaz de la señal, puesto que no es una forma de onda

¹⁵ Especificador de formato

periódica sino valores individuales enviados en cada instante de adquisición, por tanto, se debe de construir los valores ¹⁶de la forma de onda y almacenar los datos en un array¹⁷. El tamaño del arreglo será igual a la cantidad de muestras adquiridas en un segundo, es decir 1000 valores según lo programada en la placa de desarrollo.

Dentro del mismo ciclo productor se creó la lógica para el tratamiento de errores que puedan surgir durante el envío de los datos de la placa de desarrollo al pc. Entre estas fuentes de error se tiene: datos distintos al formato esperado, no se encuentra el puerto COM, puerto ocupado, desconexión del cable USB repentinamente y errores aleatorios introducido a las mediciones debido a un ruido electrónico excesivo en la señal sensada. Todo esto puede causar una interrupción en la adquisición de las mediciones y un mal funcionamiento en general de todo el programa, es por ello necesario detectarlos y depurarlos adecuadamente.

Para ello se utiliza la información proveniente del tipo de dato error que en si es un clúster ¹⁸que contiene un valor booleano, un código del error generado y un string de la fuente de error. Se toma el valor booleano y si este cambia de estado bajo a alto se despliega un mensaje al usuario sobre la existencia del error y se procede a detener la ejecución de la adquisición para finalmente cerrar el programa y regresar al usuario al MAIN VI con el fin de asegurar que siempre se cierra el puerto COM. Así independientemente de la fuente del error el programa siempre se cierra para evitar mantener abierto el puerto serie y de esta forma cancelar la adquisición.

¹⁶ Mediante la arquitectura buffer circular o anillo de desplazamiento

¹⁷ Un array o arreglo es una colección de datos que ocupa un index 0 en su primera posición hasta un index n al final del arreglo

¹⁸ En LabVIEW un clúster es un tipo de dato que permite empaquetar diferentes tipos de datos como numérico, booleanos y string

Ciclo Consumidor (Rutina para el cálculo del valor eficaz y mediciones de potencia).

Los valores del array deben ser convertidos a voltaje en el rango de 0 a 5 V para obtener la proporción de voltaje de la señal medida, además se debe de eliminar el desplazamiento de cc que originalmente se introdujo a la señal acondicionada [28]. Finalmente se multiplica por un valor de ajuste o ganancia que permitirá obtener la señal escalada tal que sea lo más parecida en amplitud a la señal real medida.

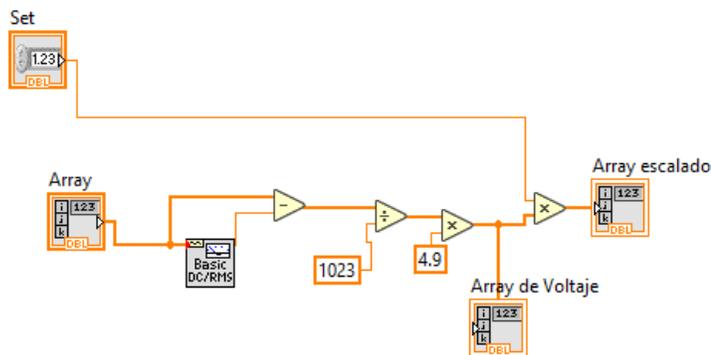


Fig. 59. subVI para array de tensión y corriente

Tomado de: Elaboración propia

Una vez generados los arrays de tensión y corriente, se construyen los “waveforms” de tensión y corriente con el bloque Build Waveform, que requiere como entradas el array de la señal y el dt o diferencial de tiempo de la señal, es decir el tiempo de muestreo, así se consigue obtener la forma de onda con la cual se puede medir su valor eficaz o rms.

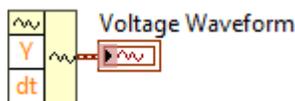


Fig. 60. Forma de onda generada con el bloque Build Waveform

El valor eficaz se calculó con el bloque “Basic DC/RMS” que está dentro de las librerías de procesamiento de señales, seguidamente se multiplican los valores rms de tensión y corriente para obtener la potencia aparente; la potencia activa se obtiene al calcular el valor promedio de la señal instantánea de potencia; el factor de potencia se calculó mediante la diferencia de fase entre la señal de tensión y

corriente, y con este dato se calculó el ángulo de desfase, potencia reactiva e impedancia equivalente. La energía activa se calcula en base al tiempo transcurrido desde el inicio de la captura en segundos y se multiplica por la potencia activa que se ha dividido por un factor de 1000, el resultado a su vez se divide entre 3600 segundos. La misma lógica se implementó para el cálculo de la energía reactiva.

El diagrama fasorial se construye utilizando un subVI [29] que genera a su salida un XY Graph ¹⁹ con el triángulo de potencia graficado, este bloque requiere de entradas: el módulo, el ángulo en grados y una referencia para el origen del fasor. Los módulos son la magnitud de la potencia activa, aparente y reactiva. El ángulo es el ángulo de desfase entre la señal de corriente y tensión que es igual al ángulo del factor de potencia.

Seguidamente el usuario por medio de un selector tipo dial puede escoger la escala vertical de la señal según la magnitud de esta, en el caso de la señal de corriente el usuario por medio del dial de escala vertical en realidad esta seleccionando la ganancia del PGA para visualizar más detalladamente la señal según el rango seleccionado.

Para protección de la entrada analógica del Arduino se establece un valor máximo. Por ejemplo, para la ganancia x11, se establece un valor máximo eficaz de 5 A, este valor de referencia siempre se compara con la medición en tiempo real del valor eficaz para que, en caso de sobrepasar este valor, se genere la instrucción para que el relé actúe y desconecte la entrada. La misma lógica se aplica para la protección de la entrada de la señal de voltaje.

¹⁹ XY Graph es un indicador de tipo gráfico que genera una curva según una función $f(x)$ en un plano cartesiano

En la activación y desactivación del relé se implementó un subVI de una memoria tipo Flip-Flop²⁰ RS, así cuando se presenta la condición de superar el valor de referencia se retiene el valor booleano alto para mantener abierto el relé hasta que el usuario presione el botón de Reset que cierra nuevamente el relé.

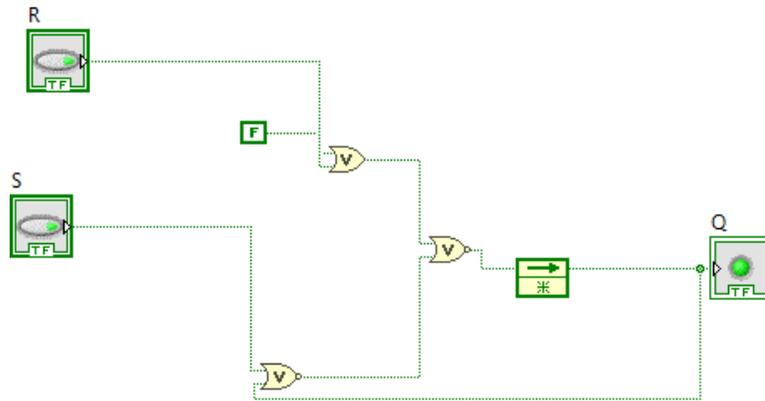


Fig. 61. Memoria Flip-Flop RS

Nota: Este subVI retiene el estado alto aplicado a la entrada S(Set) hasta que se aplica un estado bajo a la entrada R(Reset) y el resultado se muestra a la salida Q. Tomado de: Elaboración propia.

El diagrama de flujo mostrado a continuación muestra el algoritmo que se siguió para la aplicación de medición de energía.

²⁰ Flip-flop es el término que se utiliza para una memoria básica en electrónica digital que posee solamente dos estados (biestable), alto o bajo, 0 o 1 lógico.

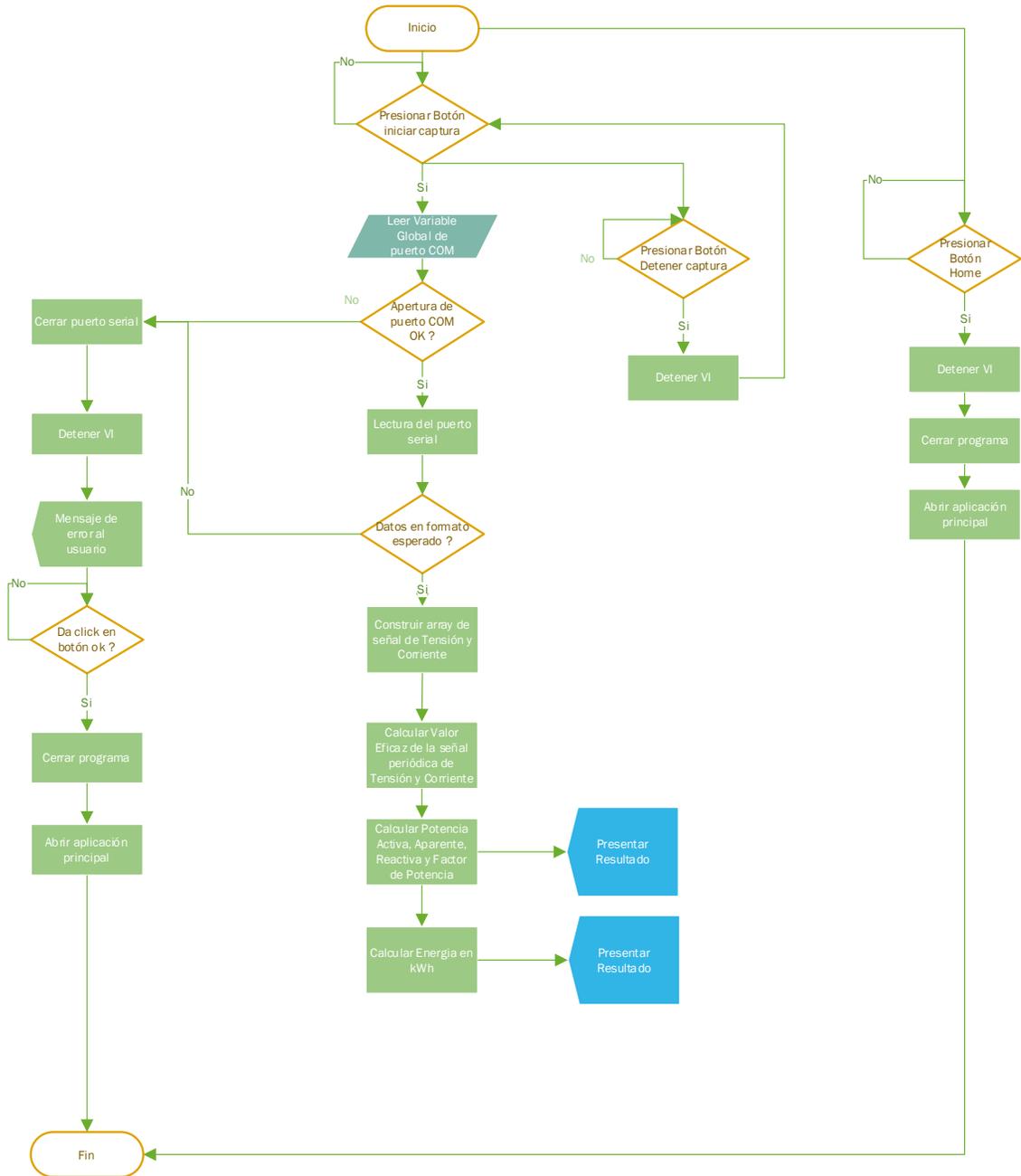


Fig. 62. Diagrama de flujo Medición de energía

Tomado de: Elaboración propia

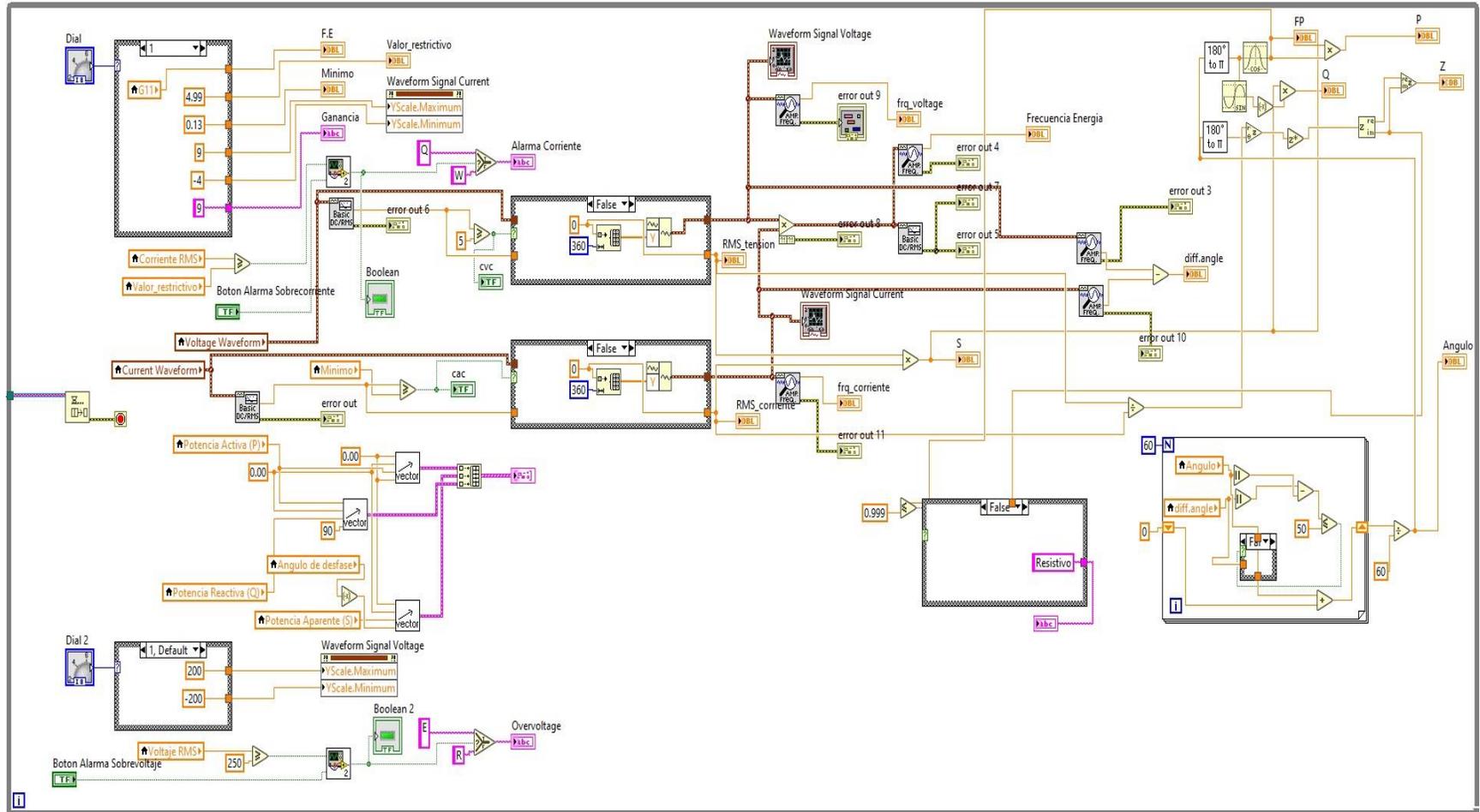


Fig. 63. Diagrama de bloques Ciclo consumidor: Cálculo de parámetros de las formas de onda de tensión y corriente.

Tomado: Elaboración propia

Ciclo Consumidor (Presentación de resultados de mediciones).

Para esta rutina se crea en un ciclo for una media de 60 valores de muestras instantáneas para mostrar el valor promedio en 300 ms de adquisición, con el fin de que el usuario pueda visualizar las mediciones más estables, ya que las mediciones instantáneas se generan en pocos milisegundos lo que dificultaría precisar el valor observado por el usuario.

En este ciclo consumidor, también se hace un tratamiento a las mediciones almacenadas en variables locales provenientes del ciclo anterior, concretamente de los valores tipo NaN²¹ que surgen como valores numéricos indefinidos debido a que durante la transmisión los datos se corrompen por errores de transmisión, normalmente cuando la señal medida varía rápidamente.

Para ello se utiliza la función Not a Number que genera a su salida un valor alto cuando se detecta un valor de tipo NaN. Si este valor es verdadero se entra en una estructura case y se toma el último valor numérico antes del valor tipo NaN para su promediado y cuando es falso simplemente se sigue tomando el valor de la variable global, con esto se consigue eliminar por completo estos valores lo que estabiliza las mediciones sin ningún tipo de alteración a la medida.

²¹ De las siglas en inglés (Not a Number)

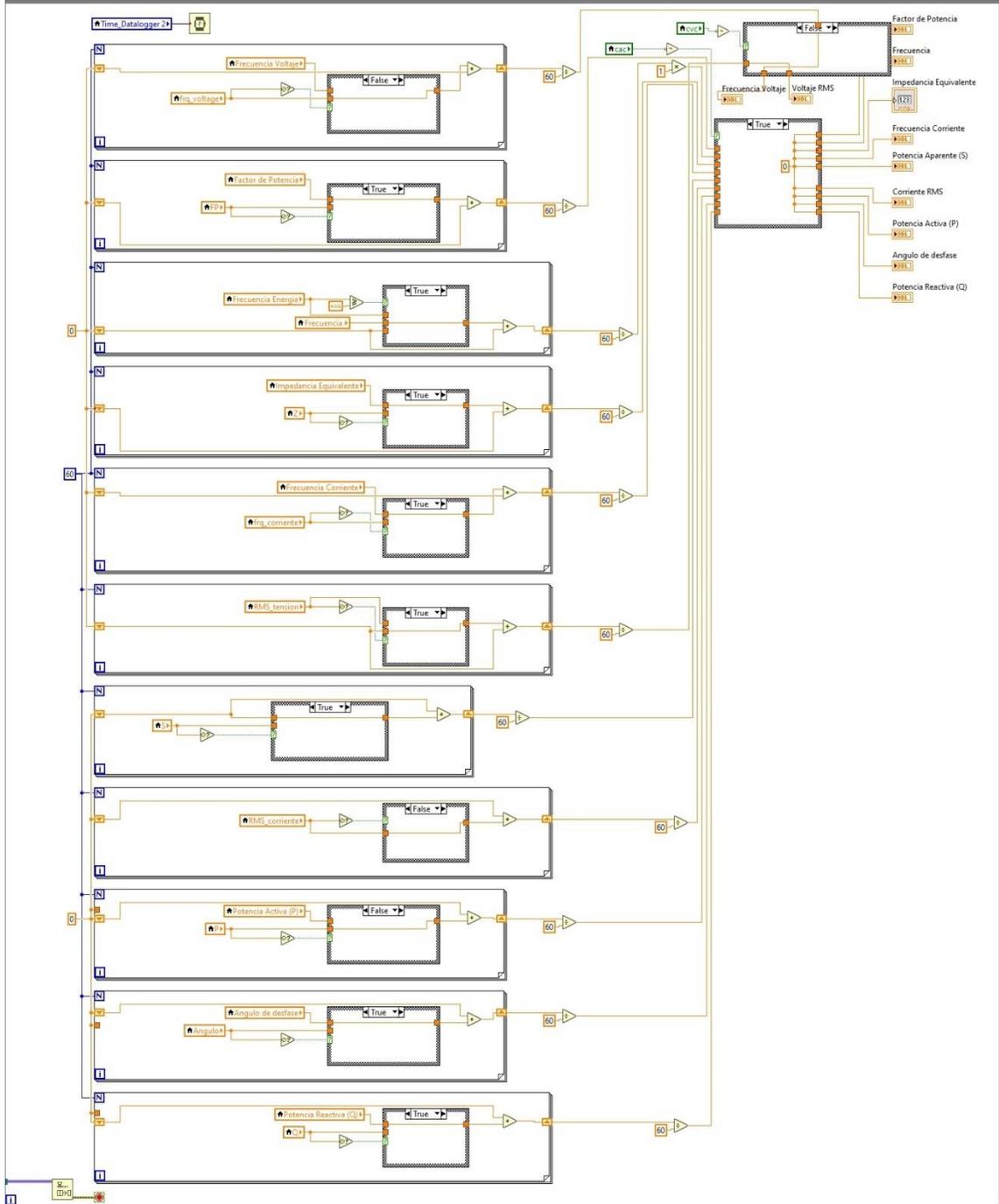


Fig. 64. Diagrama de bloques Ciclo Consumidor (Para presentación de los resultados de las mediciones).

Tomado de: Elaboración propia

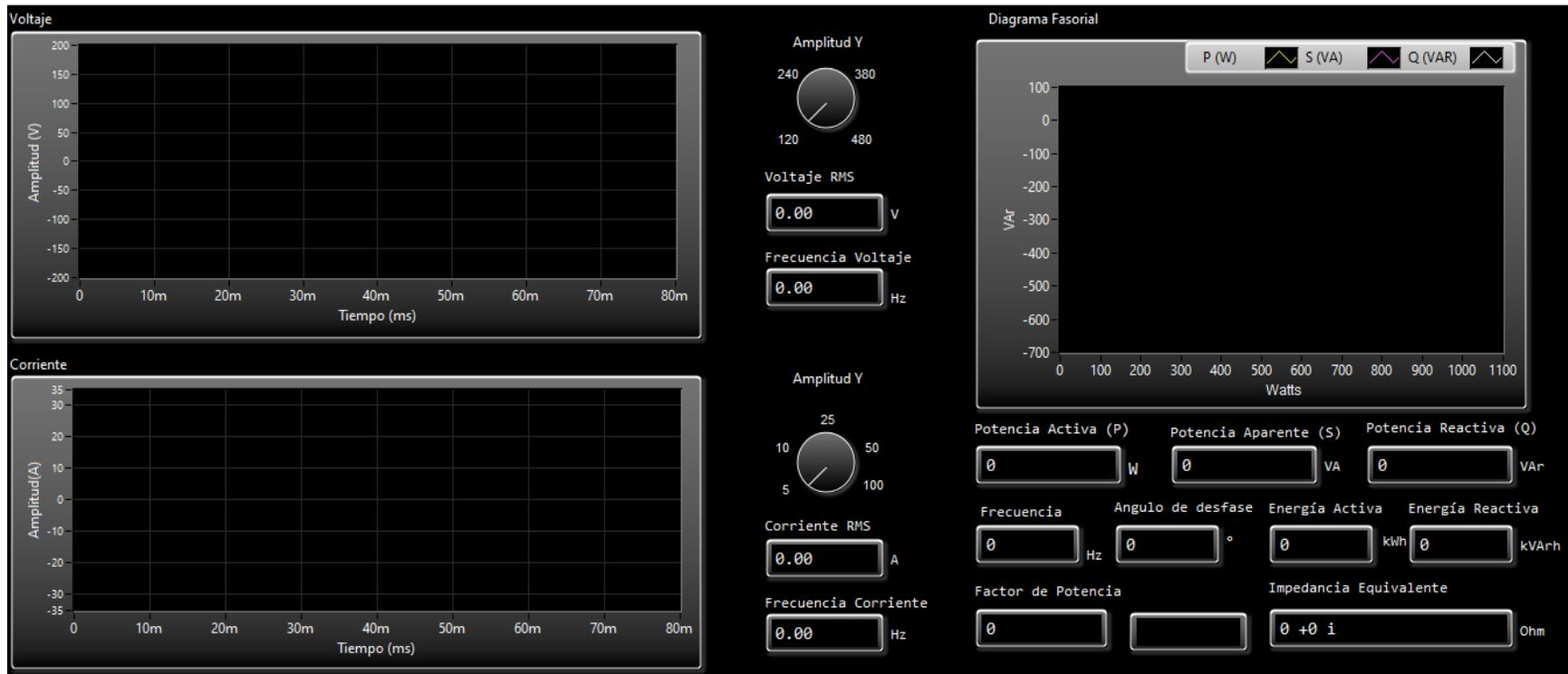


Fig. 65. Panel frontal del Instrumento Virtual del Medidor de Energía.

Tomado de: Elaboración propia

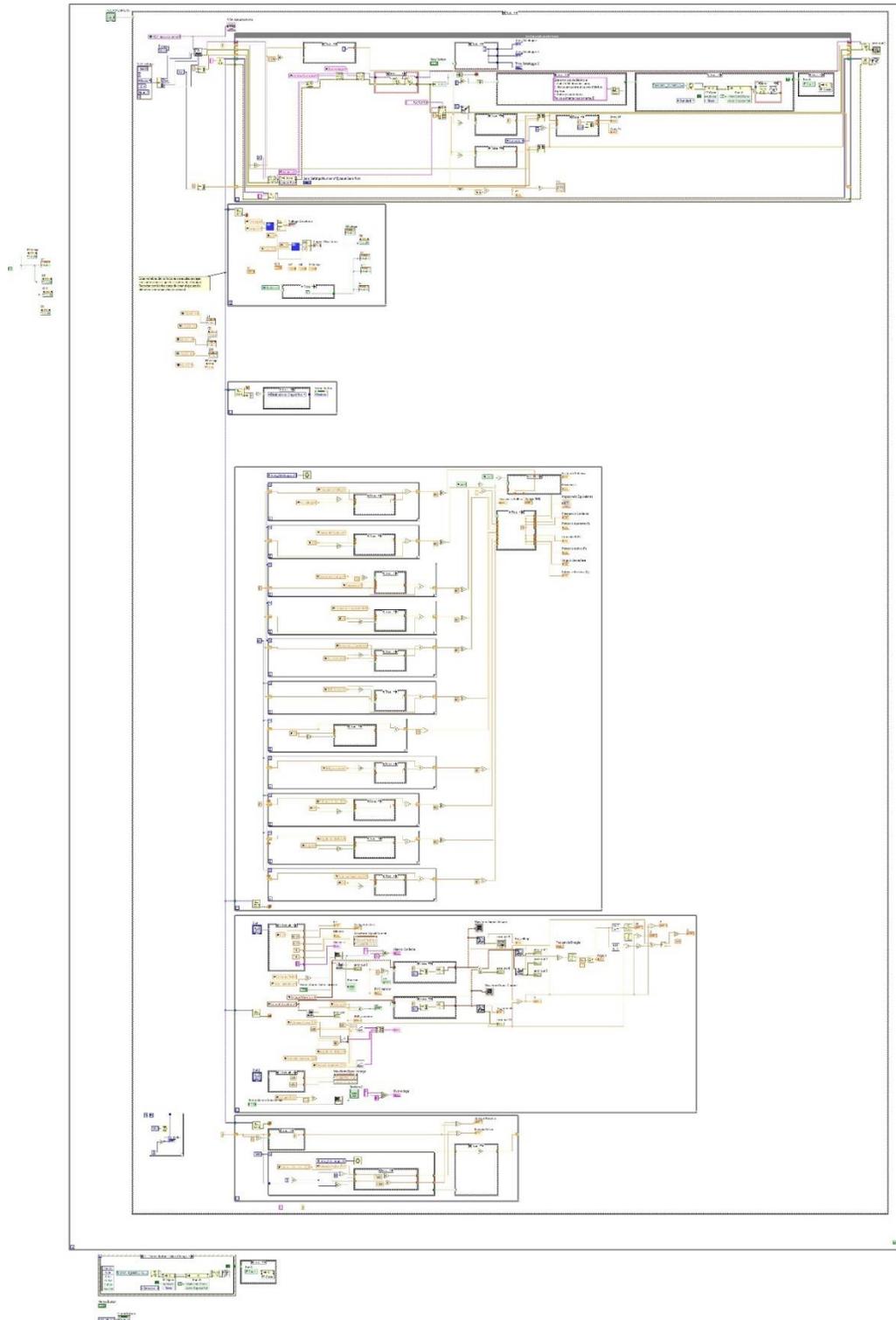


Fig. 66. Diagrama de bloques del Medidor de Energía

Nota: Se muestra el código desarrollado implementando la arquitectura Productor-Consumidor. Tomado de:
Elaboración propia

2.3.3 Osciloscopio

La función Osciloscopio utiliza las mismas rutinas del ciclo productor para adquirir los datos del puerto serie, el ciclo consumidor para el cálculo del valor eficaz con ligeras modificaciones y el ciclo consumidor para la presentación de los resultados de mediciones.

Para la presentación de las formas de onda se utilizó un único indicador gráfico para visualizar ambas señales y el usuario decida que señal observar ya sea en conjunto o individualmente. También se agregó un control para la escala de tiempo a semejanza como en un osciloscopio tradicional que posee una perilla para el control de los segundos por división. En el ciclo consumidor para el cálculo del valor eficaz se calcula también amplitud de la señal, valor pico y valor pico a pico.

Este sencillo osciloscopio está limitado por la tasa de muestreo la cual es de 1 kHz por canal, por lo cual la máxima frecuencia que se puede observar sin efecto alias es de 100 Hz, valores superiores no podrán ser representados de forma correcta por el programa.

La función trigger²² en un osciloscopio tradicional sirve para que la señal a partir de cierto nivel de voltaje se mantenga estática en la pantalla, esta función no se implementó en este instrumento virtual debido a que de pruebas realizadas, eliminaban el desfase de la señal de corriente y tensión al momento de visualizar ambas señales en conjunto, además no era necesario de implementar esta función ya que la señal se mantiene lo suficientemente estable para ser visualizada sin problemas debido a la baja tasa de muestreo.

²² También llamado disparo

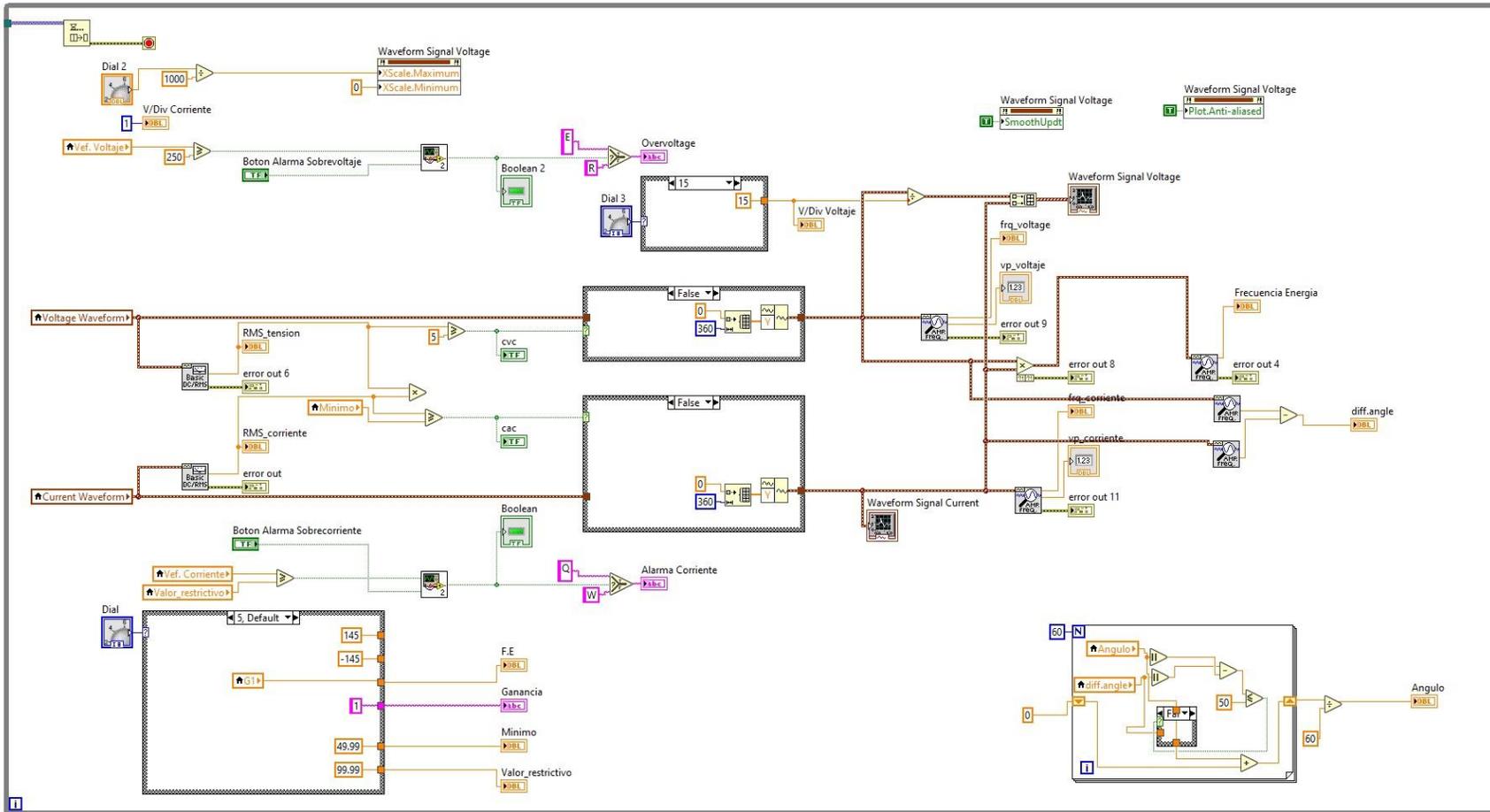


Fig. 67. Diagrama de bloques del Ciclo consumidor: Cálculo de parámetros de las formas de onda de tensión y corriente para la función osciloscopio.

Tomado de: Elaboración propia

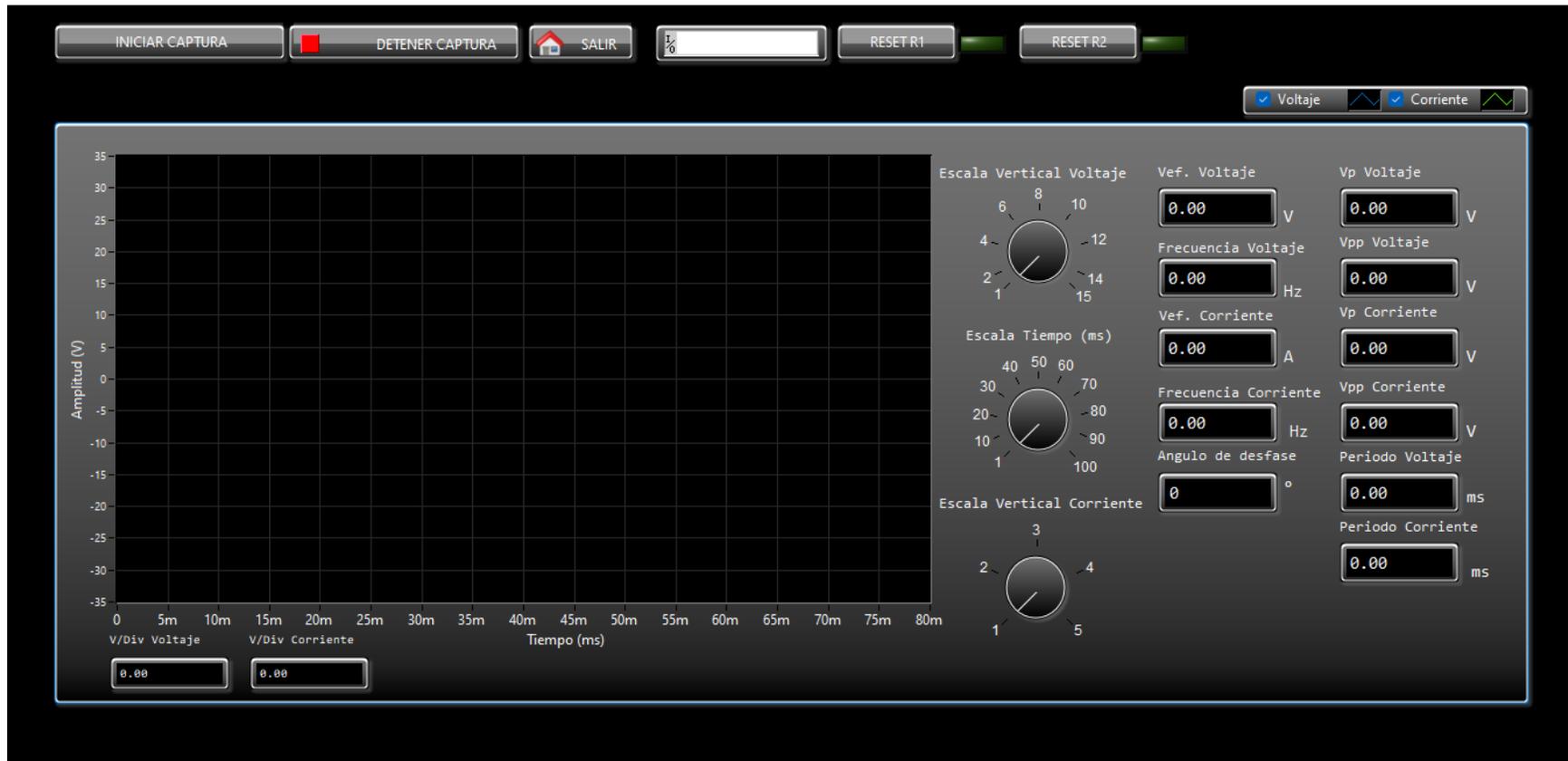


Fig. 68. Panel Frontal del Instrumento Virtual del Osciloscopio.

Tomado de: Elaboración propia

2.3.4 Datalogger

El registrador de datos, permite al usuario registrar valores máximos y mínimos de tensión, potencia activa, energía consumida, energía reactiva y factor de potencia con una marca de tiempo para cada registro. Los datos son escritos en una hoja Excel mediante la librería “Create Report”, para ello las mediciones deben ser convertidas de valores numéricos a string para ser concatenados y mediante el bloque “Excel easy table” se asigna a cada medida una columna con el nombre de la medición.

Los datos se escriben según el intervalo de tiempo escogido que puede ser 1 segundo, 1 minuto, 3 minutos, 15 minutos o 1 hora. El tiempo de registro es indefinido y solo depende de la propia memoria de la computadora utilizada y el tiempo que pueda durar encendida. Se añadió también un intervalo de grabación de 10 milisegundos para registrar eventos rápidos como sobretensión o sobrecorrientes.

Utiliza las mismas rutinas desarrolladas para el medidor de energía con la adición de un nuevo ciclo consumidor para la grabación de los datos, en este se utiliza el bloque “Max and Min” que permite comparar dos números y a su salida proporciona el máximo y el mínimo. Dentro de un ciclo for el cual se ejecuta un número n de veces dado por el intervalo de grabación seleccionado, se genera en cada intervalo un valor que es mostrado en un gráfico de tipo “Waveform chart” donde se observa gráficamente el historial de las mediciones.

Finalmente, cuando se detiene la captura, los datos pueden ser guardados según el modo de captura seleccionado. Si no se especifica un archivo donde guardar los datos al cerrar la aplicación, se pedirá al usuario asignar un nombre y una ubicación para guardarlo, en cambio si se especifica el archivo, en el modo no change, la aplicación escribe los datos en la hoja Excel y los guarda, en el modo minimizado, los datos son grabados y guardados con la hoja Excel minimizada. Si se indica un archivo que previamente no estaba vacío o tenía información de registros anteriores los datos serán sobrescritos por los nuevos. Por tanto, cada registro debe de asignársele un solo archivo Excel.

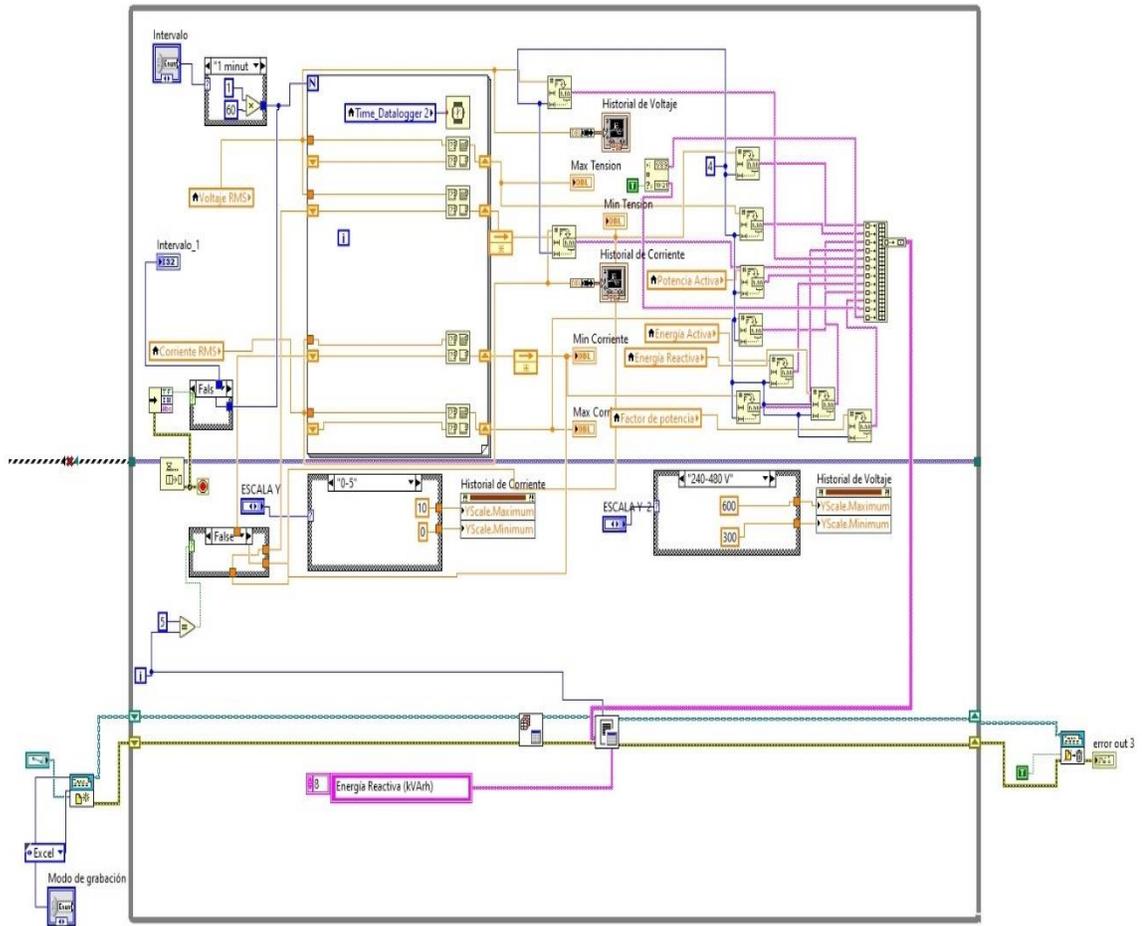


Fig. 69. Diagrama de bloques: Ciclo consumidor para la grabación de datos

Tomado de: Elaboración propia

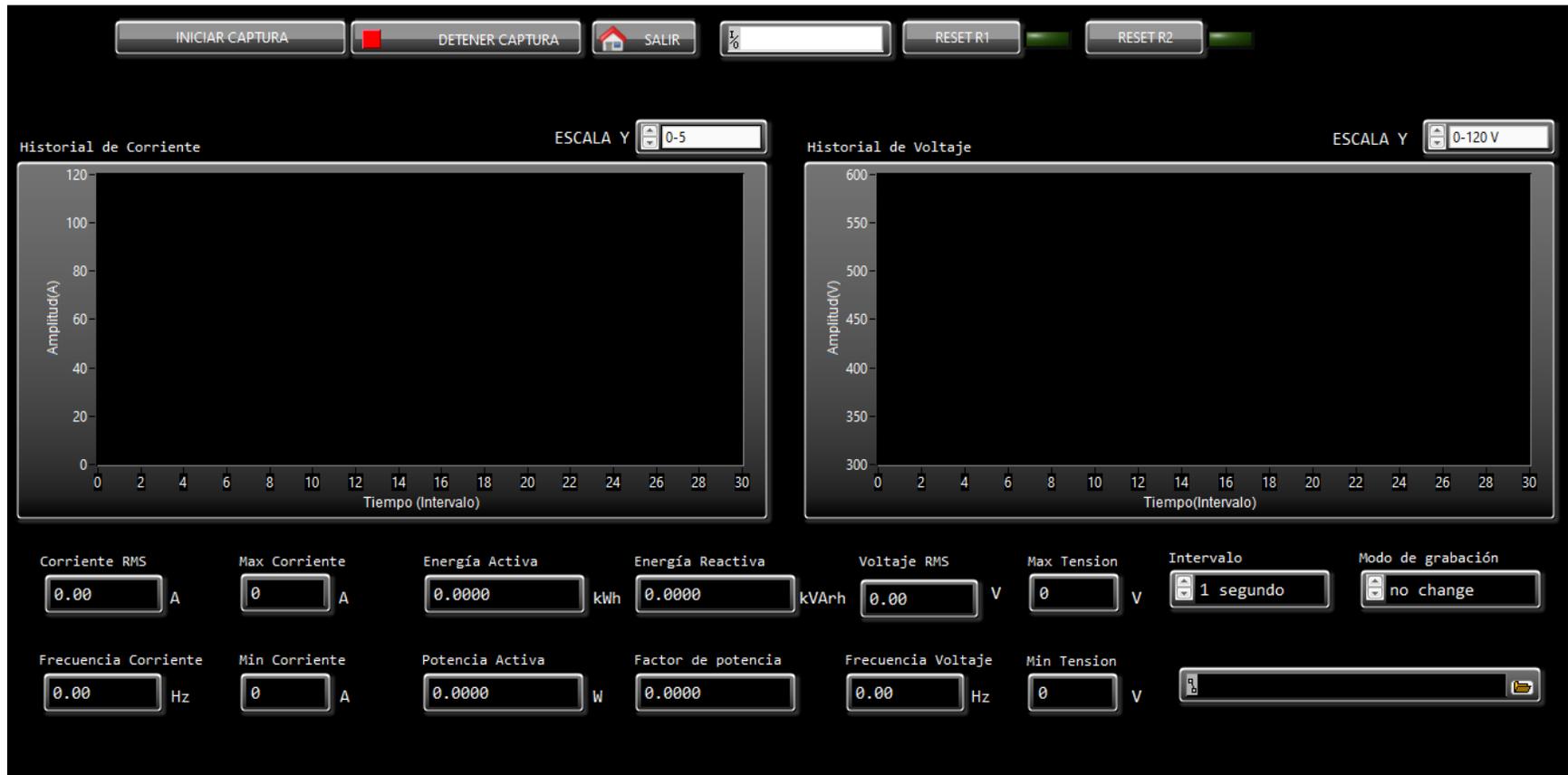


Fig. 70. Panel Frontal del Instrumento Virtual del Datalogger.

Tomado de: Elaboración propia

2.4 Montaje y elaboración de la tarjeta de adquisición y circuitos acondicionadores.

Una vez diseñado los circuitos acondicionadores se montaron en una protoboard o tabla de nodos para verificar su funcionamiento y comportamiento antes de fijar los componentes.

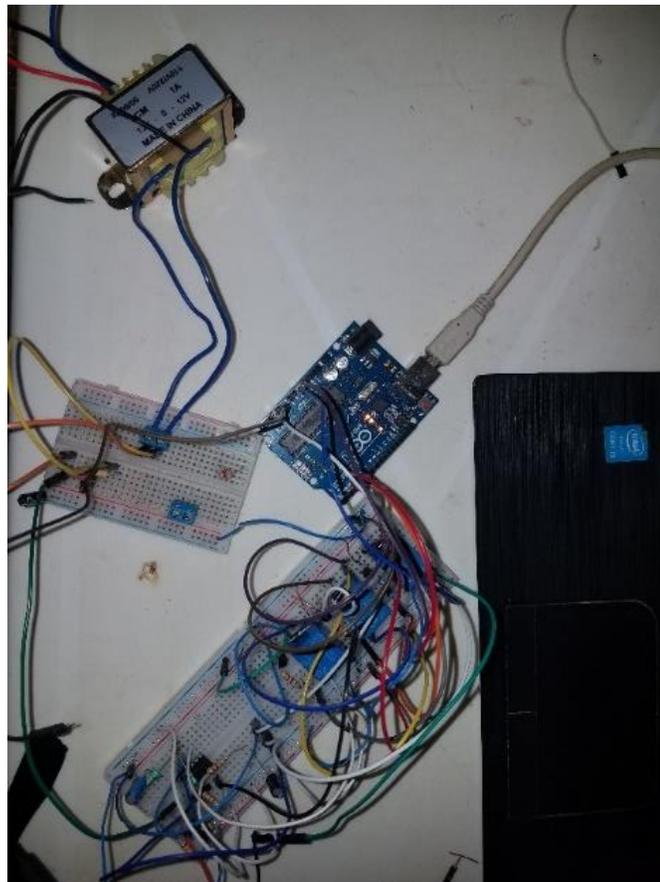


Fig. 71. Montaje del circuito acondicionador de señal para pruebas en protoboard.

Para montar el circuito acondicionador se utilizó una baquelita perforada de 9x15 CM donde se encuentra el Arduino, así como los relés de protección. Todos estos componentes son soldados a la baquelita y mediante terminales de bloque entrarán las señales de voltaje y corriente.



Fig. 72. Circuito Acondicionador soldado en baquelita perforada

Todo el conjunto se montó dentro de una caja de registro plexo PVC Legrand 220X170X86MM donde se insertó en la parte frontal dos conectores tipo banana hembra para la conexión de las puntas de medición de voltaje y una ficha hembra tipo plug de 3.5 mm de audio para la conexión del transformador de corriente. El transformador de voltaje se fijó en el fondo de la caja con tornillos y tuercas para una firme sujeción.



Fig. 73. Perforación de agujero para insertar conectar macho tipo banana para las puntas de prueba.

Las pinzas de pruebas están hechas de cable de cobre para parlantes calibre #16 AWG que contiene en un extremo pinza tipo cocodrilo y en el otro conector banana macho. Para el sensor de corriente se acondicionó su salida al cambiarle el tipo de conector jack 3.5 mm a tipo plug de audio macho. Dentro de la carcasa del plug esta internamente soldada la resistencia shunt de 33 Ohm para la conversión de la corriente de salida en voltaje.



Fig. 74. Tarjeta acondicionadora y circuito de acondicionamiento montando en caja plexo PVC.

2.5 Diseño de la guía de laboratorio

Para el diseño de esta guía se revisó el contenido del programa de la asignatura de Sistemas de Medición del año 2015 para la carrera de Ingeniería Eléctrica, con el fin de verificar que la temática de estudio relacionada a los instrumentos virtuales no se contempla. Con el desarrollo de la misma se espera que incentive a los estudiantes a conocer acerca de esta nueva tecnología de instrumentación y conocer nuevos conceptos que aumenten sus conocimientos.

Contemplando las distintas máquinas eléctricas que se encuentran disponible en el laboratorio de máquinas de la facultad de electrotecnia y computación, se podría medir los parámetros de tensión y corriente, así como de potencias de todas aquellas máquinas de corriente alterna. En general se puede medir cualquier carga monofásica que no supere los 250 Voltios entre línea y línea y no supere un consumo de 100 A nominales, o en el caso de los motores, se debe de asegurar que su corriente de arranque no exceda este valor. También puede ser utilizado en general para medir una instalación eléctrica monofásica ya sea 120 o 240 V.

En definitiva, el objetivo de la guía consiste en que el estudiante conozca sobre ¿qué es un instrumento virtual?, ¿cuáles son las partes que la conforman?, ¿cómo funciona?, ¿cuáles son las principales diferencias respecto a la instrumentación

tradicional ?, ventajas y desventajas y finalmente mediante el laboratorio realizar mediciones con el instrumento virtual.

La estructura de la guía de laboratorio propuesta es la siguiente:

- a) Objetivos: Se plantea el logro de aprendizaje que se persigue con la práctica.
- b) Materiales a utilizar: Elementos y equipos para el desarrollo de la guía
- c) Introducción: Se describe la importancia de las mediciones eléctricas de una carga, así como la descripción de la práctica. Instrumentación Virtual: Se presenta el sistema desarrollado, sus partes y una breve descripción de su funcionamiento.
- d) Actividades: En este caso la actividad en si será que el estudiante conecte el equipo y configure la aplicación para realizar mediciones a la vez que compara las medidas con instrumentos tradicionales como multímetro para su verificación.
- e) Informe: se indica la forma en que debe de entregarse el resultado de la práctica, en este caso queda a elección del docente que formato pedir, pudiendo ser ensayo de la práctica o un informe más detallado de alguna medición en concreto y su análisis.
- f) Bibliografía: referencias de soporte que sustentan la validez del contenido estudiado.

Es necesario mencionar que también el docente puede diseñar su propia guía de laboratorio en base a las capacidades y prestaciones del instrumento virtual para diseñar experimentos más elaborados y con objetivos específicos. Para ello tiene a disposición el manual de usuario del instrumento desarrollado para que conozca a detalle las capacidades y limitaciones.

(Ver anexo)

Capítulo III:
Análisis de Resultados

3 Análisis de Resultados del sistema desarrollado.

Para el análisis de los resultados se hizo uso de dos metodologías:

3.1 Simulación mediante el Software Proteus Professional de distintas cargas.

El primer método se utilizó para comprobar el funcionamiento del programa en condiciones ideales, es decir, puesto que en la simulación los datos se transmiten sin pérdidas y no se presenta fenómenos como saturación del núcleo magnético del transformador tanto de corriente o voltaje, se logra, por tanto, un alto grado de fiabilidad de las mediciones simuladas y las mediciones que calcula el programa.

Se montó el siguiente circuito en proteus para simular una carga monofásica, la cual se modela mediante dos señales simuladas de tensión y corriente, la información se envía mediante un puerto serie virtual que emula el puerto serie físico al cual se conecta Arduino y el programa utilizado es el mismo que se ha subido a la placa de desarrollo.

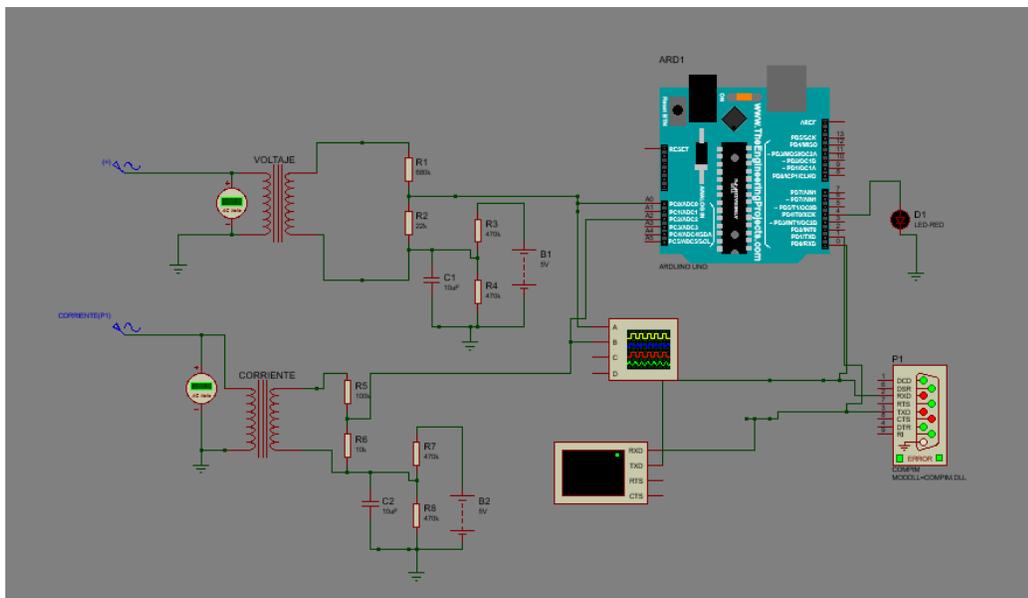


Fig. 75. Circuito montado en Proteus Professional para simulación de cargas monofásicas.

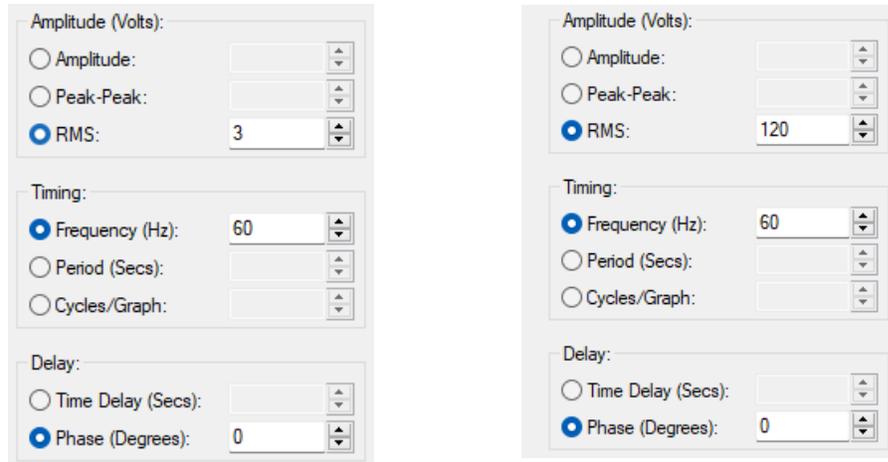
Tomado de: Elaboración Propia.

Carga Resistiva

Para simular una carga resistiva se generó una señal de tensión de 120 V RMS y una corriente de 3 A RMS con cero grados de desplazamiento.

La potencia activa será de 360 Watts con un factor de potencia igual a la unidad, sin consumo de potencia reactiva idealmente.

Fig. 76. Configuración de la señal de tensión y corriente a simular



Seguidamente se inició la captura de datos con la aplicación en modo medidor de energía mostrando los siguientes resultados.

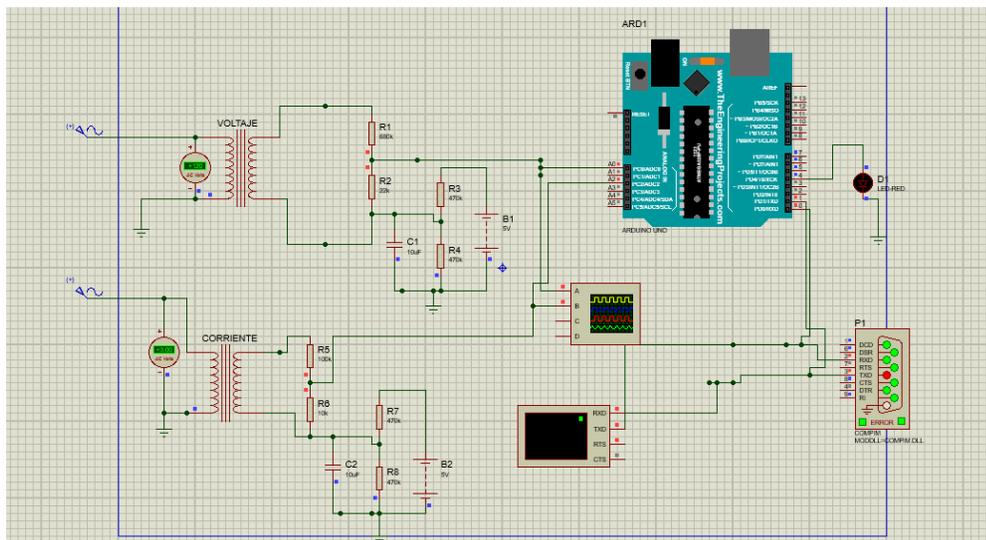


Fig. 77. Simulación en Proteus de una carga resistiva ideal

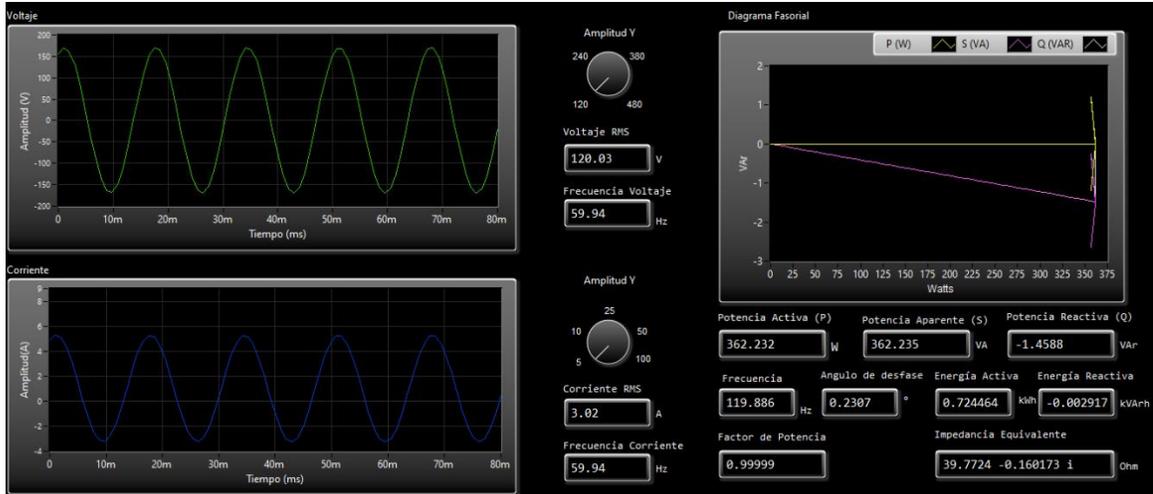


Fig. 78. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga resistiva pura.

Tabla 7

Resultados de mediciones mediante simulación para una carga resistiva ideal.

Parámetro	Simulación	Medición con el Instrumento Virtual	Error relativo (%)
Potencia Activa	360 W	362.232 W	0.62 %
Factor de potencia	1	0.99999	0.00001 %
Tensión	120. V	120.03 V	0.025 %
Corriente	3 A	3.02 A	0.66 %
Ángulo	0°	0.2307°	N/A

Nota: Esta medición es para una lectura en un instante dado del instrumento virtual solo para fines comparativos no para determinar la incertidumbre en la medida.

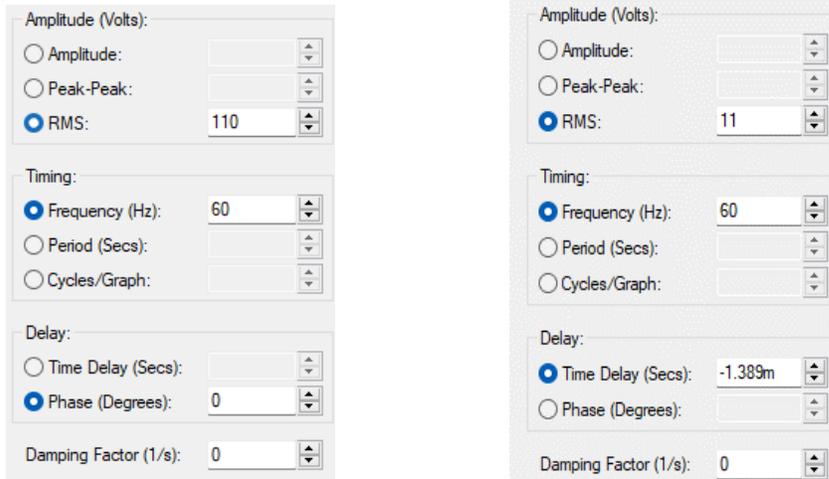
Carga Inductiva

Para simular una carga inductiva se generó una señal de tensión de 110 V RMS y una corriente de 11 A RMS con 30° grados en atraso respecto a la señal de tensión.²³

La potencia activa será de 1047.89 Watts con un factor de potencia igual a 0.8660, potencia aparente de 1210 VA y una potencia reactiva de 605 VAR. La impedancia equivalente que modela la carga es de 8.660 +5i Ohm.

²³ Es decir, se genera un desplazamiento tal que la corriente se retrase respecto de la tensión en 30° como ocurre en una carga puramente inductiva donde la corriente esta retrasada respecto de la tensión en 90 °

Fig. 79. Configuración de la señal de tensión y corriente para simular una carga inductiva.



Nota: Para simular el retraso de la corriente se debe de calcular el tiempo de retardo expresado en milisegundos y con signo negativo para indicarle a la señal simulada que debe de atrasarse en el tiempo especificado respecto del origen 0. Tomado de: Elaboración Propia.

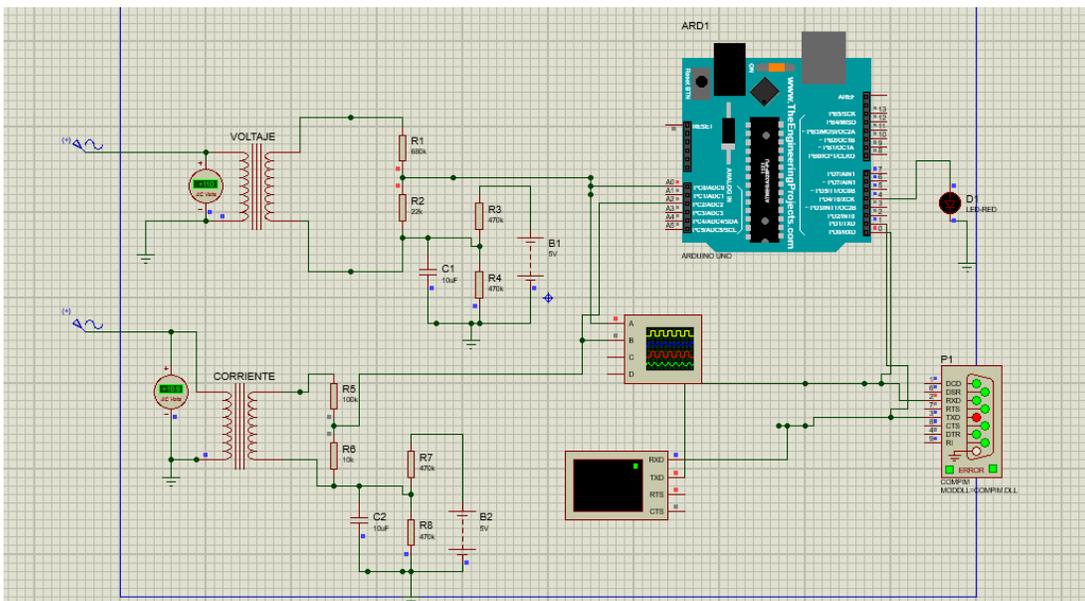


Fig. 80. Simulación de una carga con factor de potencia 0.86 en atraso.

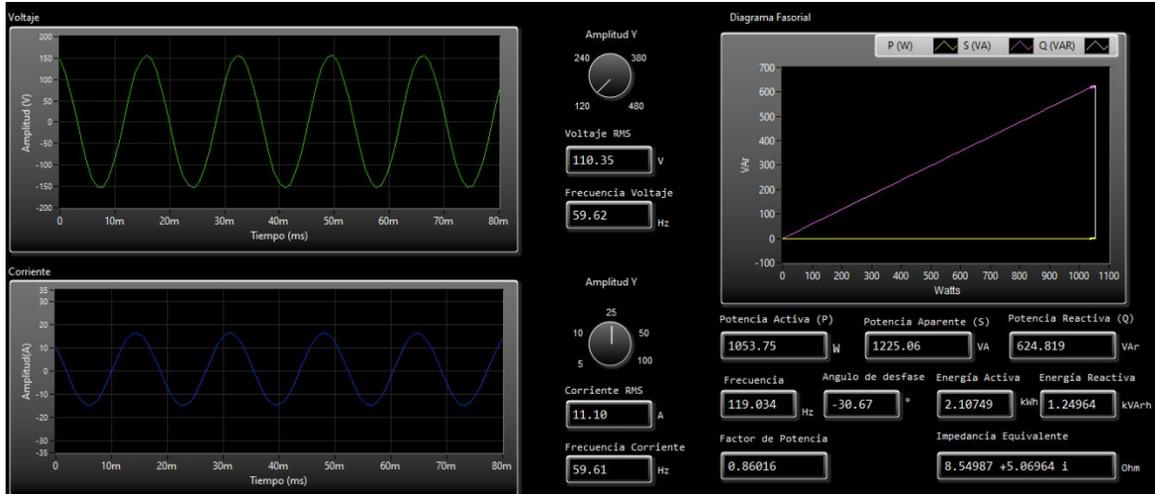


Fig. 81. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga inductiva.

Tabla 8

Resultados de mediciones mediante simulación de una carga inductiva

Parámetro	Simulación	Medición con el Instrumento Virtual	Error relativo (%)
Potencia Activa	1047.89 W	1053.75 W	0.56 %
Factor de potencia	0.8660	0.860	0.69 %
Potencia Aparente	1210 VA	1225.06 VA	1.23 %
Potencia Reactiva	605 VAR	616.27 VAR	1.862 %
Tensión	110 V	110.35 V	0.32 %
Corriente	11 A	11.10 A	1 %
Ángulo	-30°	-30.67 °	-
Impedancia Eq.	8.660+5i	8.5487+5.069i	0.615%

Carga Capacitiva.

Para simular la carga capacitiva se generó una señal de tensión de 110 V RMS y una corriente de 11 A RMS con 30° grados en adelante respecto a la señal de tensión.

La potencia activa será de 1047.89 Watts con un factor de potencia igual a 0.8660, potencia aparente de 1210 VA y una potencia reactiva de -605 Var. La impedancia equivalente que modela la carga es de 8.660 -5i Ohm.

Fig. 82. Configuración de la señal de tensión y corriente para simular una carga capacitiva.

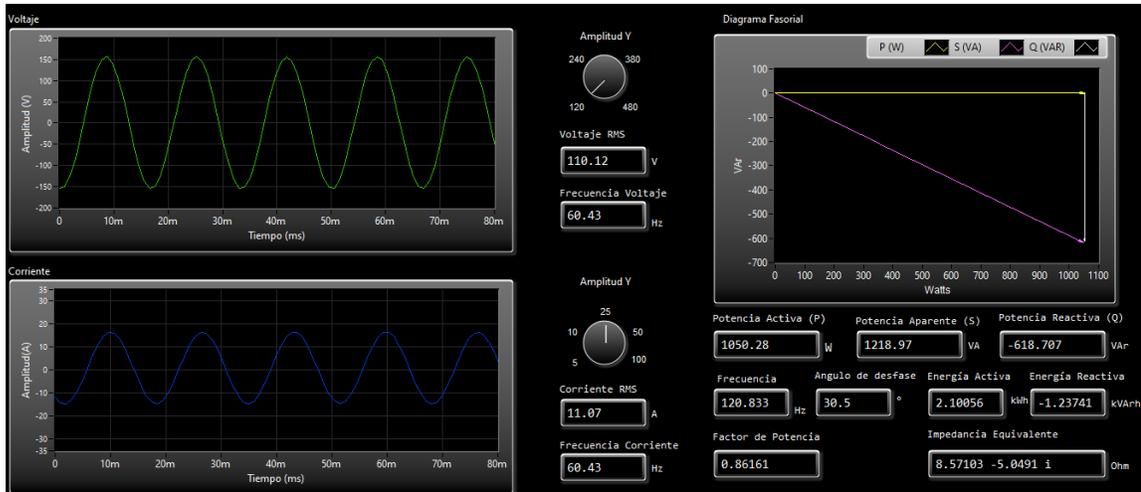
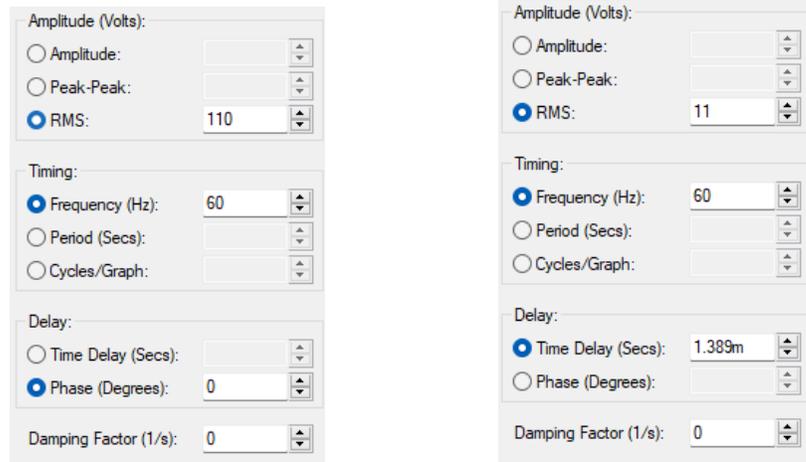


Fig. 83. Mediciones con el instrumento virtual en modo medidor de energía de una carga capacitiva.

Tabla 9

Resultados de medición mediante simulación de una carga capacitiva.

Parámetro	Simulación	Medición con el Instrumento Virtual	Error relativo (%)
Potencia Activa	1047.89 W	1050.28 W	0.23 %
Factor de potencia	0.8660	0.861	0.69 %
Potencia Aparente	1210 VA	1218.97 VA	0.74 %
Potencia Reactiva	-605 VAR	-618.7 VAR	2.26 %
Tensión	110 V	110.12 V	0.11 %
Corriente	11 A	11.07 A	0.63 %
Ángulo	+30°	+30.5 °	-
Impedancia Eq.	8.660-5i	8.571-5.0491i	0.5025%

Para la función osciloscopio también se verificó el funcionamiento mediante simulación. Se miden las cargas simuladas anteriormente y se verifica en la pantalla del osciloscopio el desfase entre tensión y corriente.

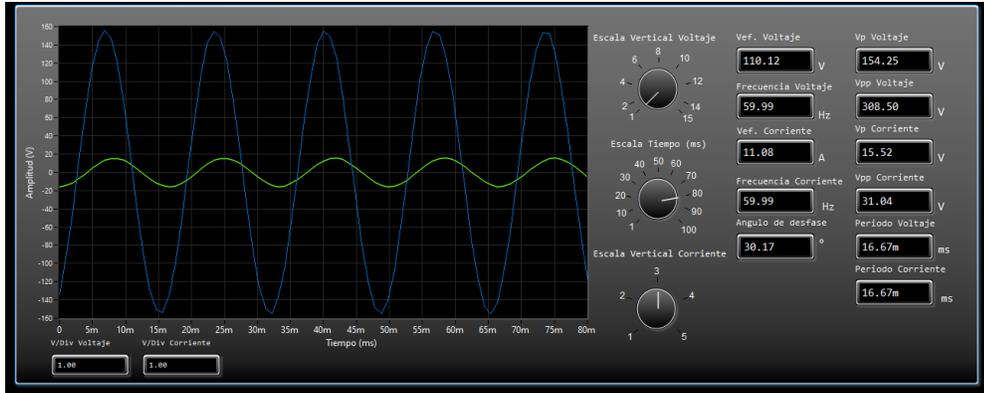


Fig. 84. Carga capacitiva.

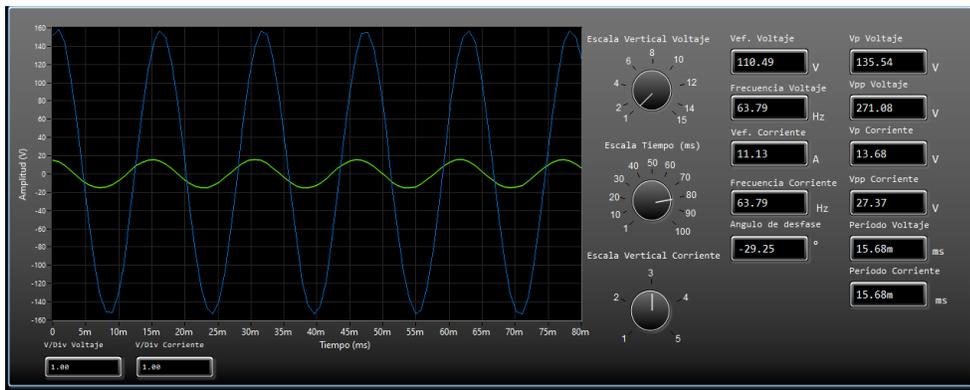


Fig. 85. Carga inductiva.

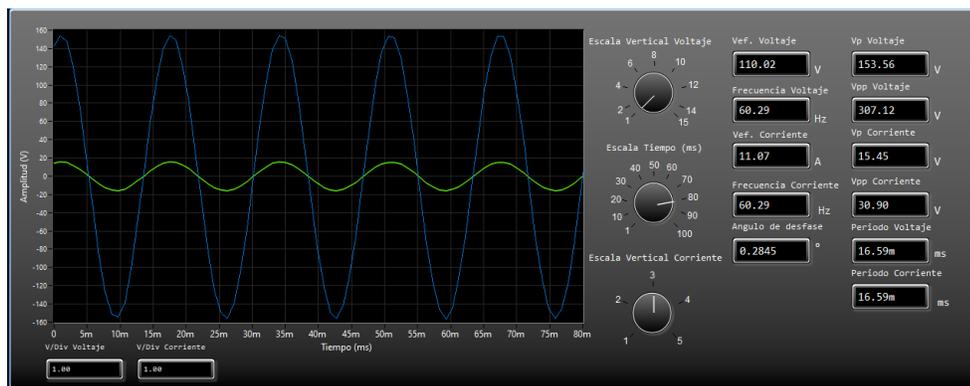


Fig. 86. Carga resistiva.

3.2 Mediciones directas de cargas con potencias nominales conocidas.

El segundo método consiste en realizar pruebas de campo que demuestran el funcionamiento real del equipo midiendo la potencia para distintas cargas. Mediante mediciones de tensión y corriente con un multímetro digital se verificó las mediciones obtenidas con el instrumento desarrollado.

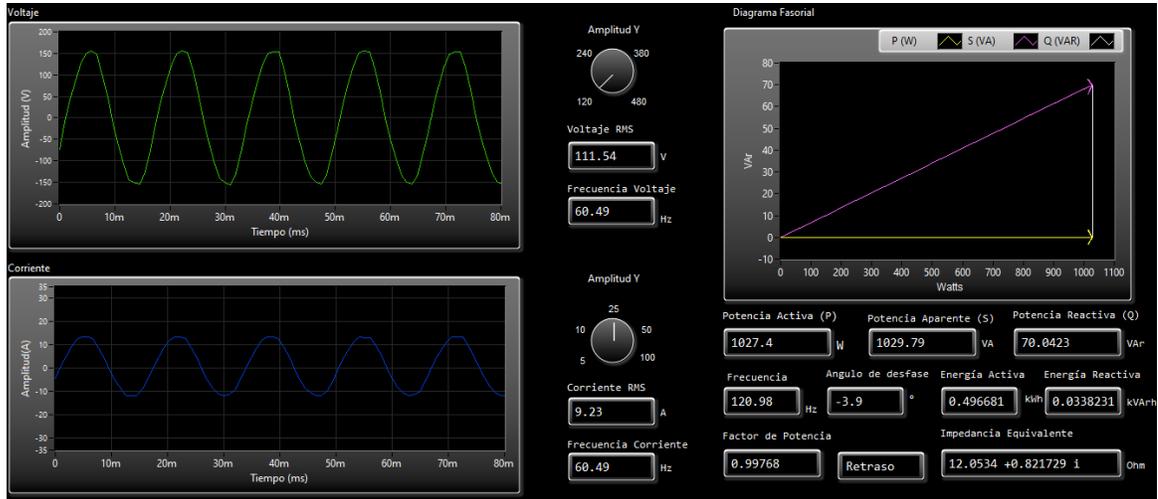


Fig. 87. Medición de plancha eléctrica de 1200 Watts.

Tabla 10

Comparación de mediciones plancha eléctrica multímetro digital e instrumento virtual desarrollado

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro		Lectura VI	%error relativo
			9.23 A	2.22 %
Potencia nominal	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
1200 W	1038.4 VA	1029.49 VA	0.99768	1027.4 W

De las mediciones realizadas se observa que la carga es prácticamente resistiva con una ligera componente de carga inductiva según refleja la medición del ángulo de desfase.

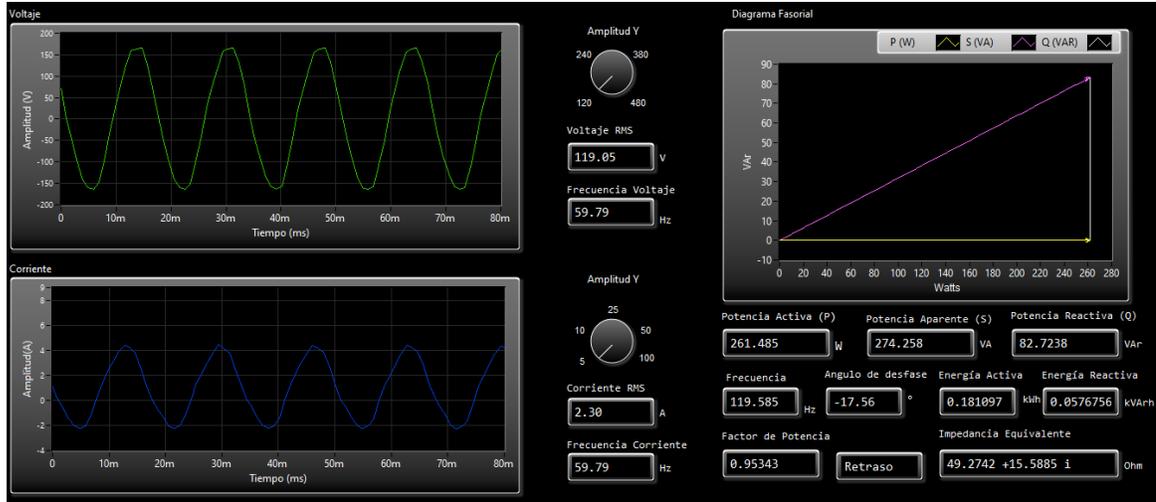


Fig. 88. Medición de plancha para cabello de 215 Watts.

Tabla 11

Comparación de medición plancha para cabello con multímetro digital e instrumento virtual.

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro		Lectura VI	%error relativo
			2.30 A	2.67 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
215 W	268.8 VA	274.258 VA	0.9534	261.48 W

Esta carga es de tipo inductiva según las mediciones obtenidas y se observa la forma de onda de corriente ligeramente distorsionada, este resultado es lo esperado, ya que la plancha cuenta con un circuito electrónico que regula la temperatura de la misma.

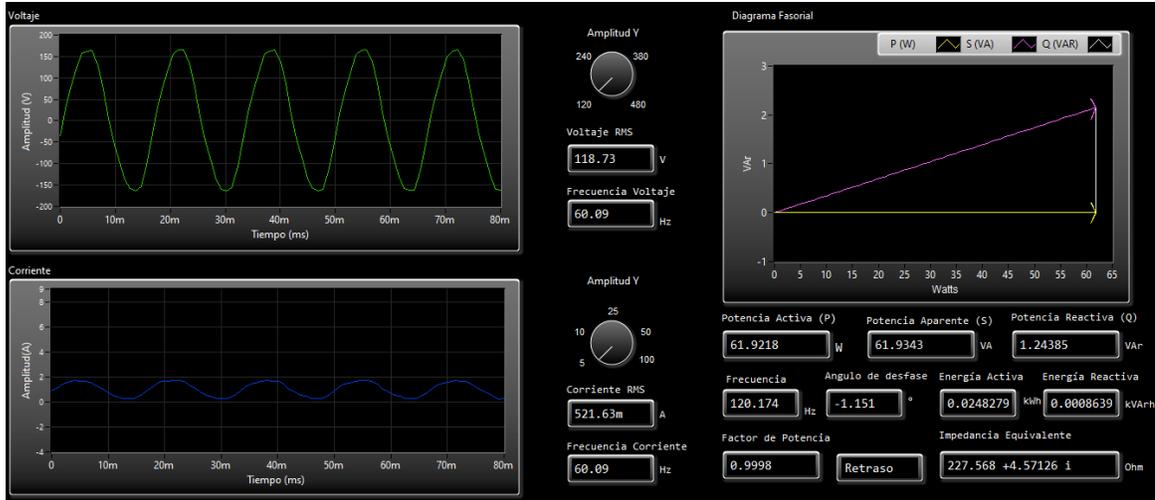


Fig. 89. Medición de potencia abanico Sankey de 16”.

Tabla 12

Comparación de medición de abanico Sankey con multímetro digital e instrumento virtual.

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro		Lectura VI	%error relativo
			0.521 A	4.2 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
60 W	60 VA	61.9 VA	0.9998	61.92 W

La carga es ligeramente inductiva con una componente mayormente resistiva y las mediciones de potencia coinciden con las especificaciones de consumo del fabricante. Esto se debe a que el motor utilizado por el abanico tiene incorporado un capacitor de arranque que reduce al mínimo el consumo de energía reactiva por parte de la red.

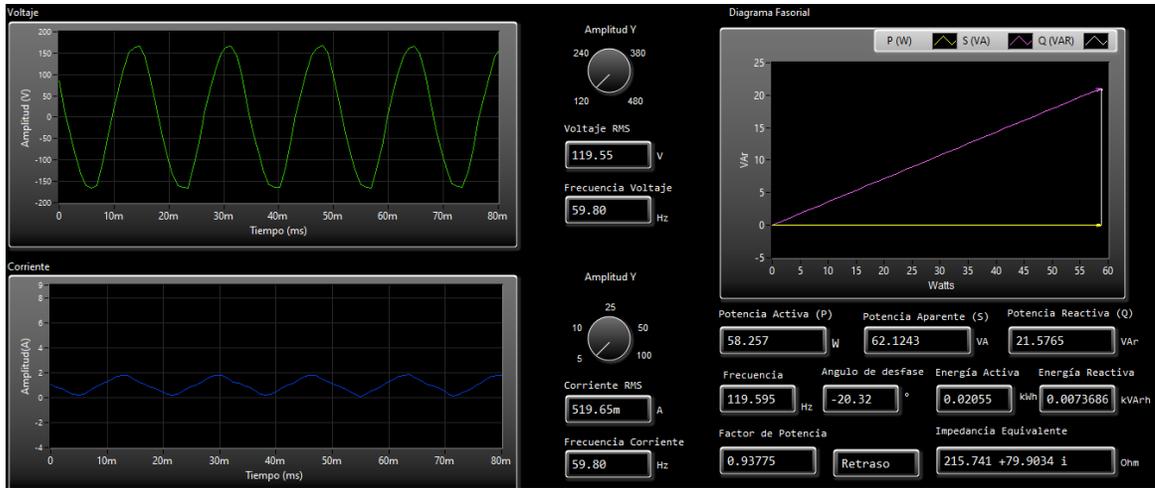


Fig. 90. Medición de potencia abanico Westinghouse de 16”.

Tabla 13

Comparación de medición de abanico Westinghouse con multímetro digital e instrumento virtual.

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro Corriente (A)		Lectura VI	%error relativo
			0.519 A	8.1 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
70 W	57.6 VA	62.12 VA	0.9375	58.25 W

Se observa que a diferencia del abanico marca Sankey posee un peor factor de potencia y la señal de corriente está totalmente distorsionada, lo que indica una fuerte presencia de armónicos.

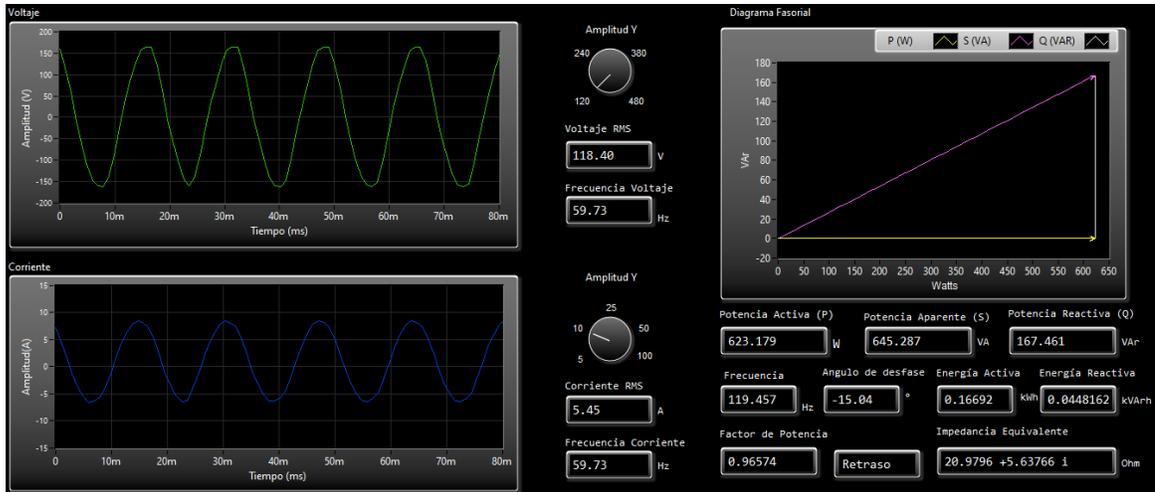


Fig. 91. Medición de potencia cafetera de 5 tazas.

Tabla 14

Comparación de medición de cafetera con multímetro digital e instrumento virtual.

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro Corriente (A)		Lectura VI	%error relativo
			5.45 A	5.8 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
650 W	618 VA	645.287 VA	0.965	623.18 W

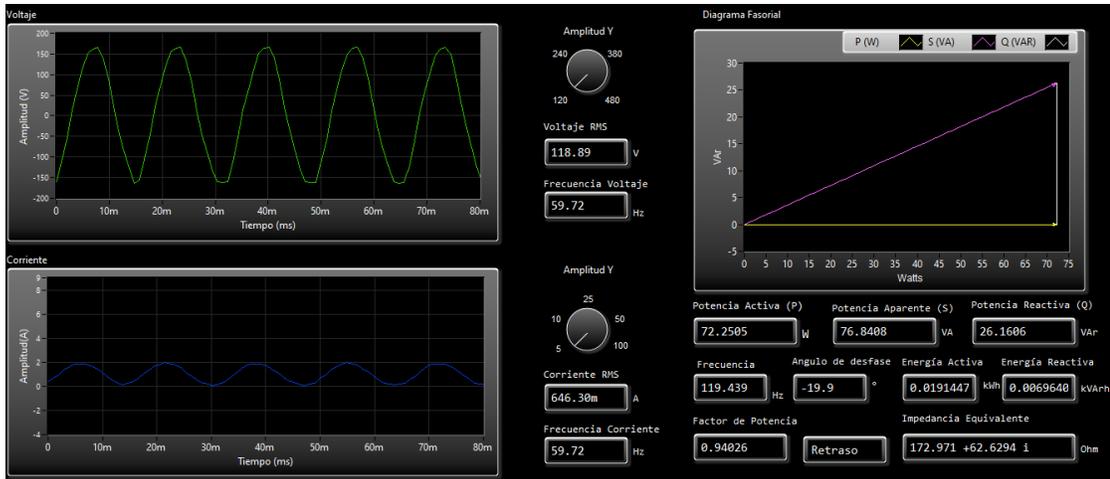


Fig. 92. Medición de potencia bombillo incandescente de 100 Watts.

Tabla 15

Comparación de medición de bombillo con multímetro digital e instrumento virtual

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro Corriente (A)		Lectura VI	%error relativo
			0.646 A	0.61 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
100 W	78.54 VA	76.8408 VA	0.94	72.25 W

Los bombillos incandescentes son cargas resistivas por lo que se esperaría un factor de potencia cercano a la unidad, en cambio según mediciones realizadas posee un f.p de 0.94 inductivo. Se comprobó la lectura del instrumento virtual con la medición de corriente de un multímetro digital indicando una lectura bastante exacta.

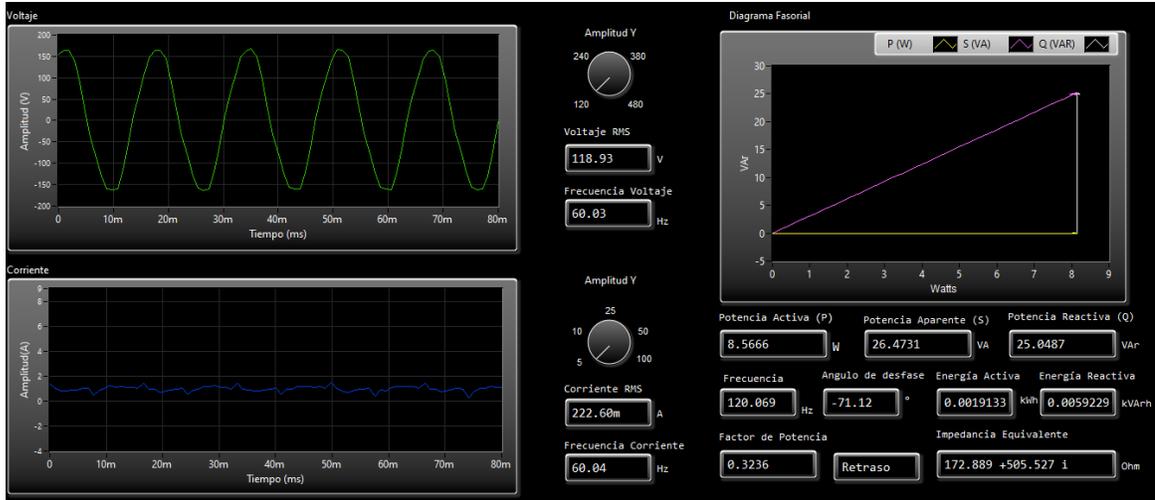


Fig. 93. Medición de potencia bombillo ahorrativo compacto 15 Watts.

Tabla 16

Comparación de medición de bombillo ahorrativo con multímetro digital e instrumento virtual.

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro Corriente (A)		Lectura VI	%error relativo
			0.222 A	11 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
15 W	24 VA	26.473 VA	0.32	8.56 W

De las lecturas obtenidas se observa un bajo factor de potencia menor a 0.5²⁴.

²⁴ Valor típico para este tipo de luminarias ahorrativas compactas según fabricantes

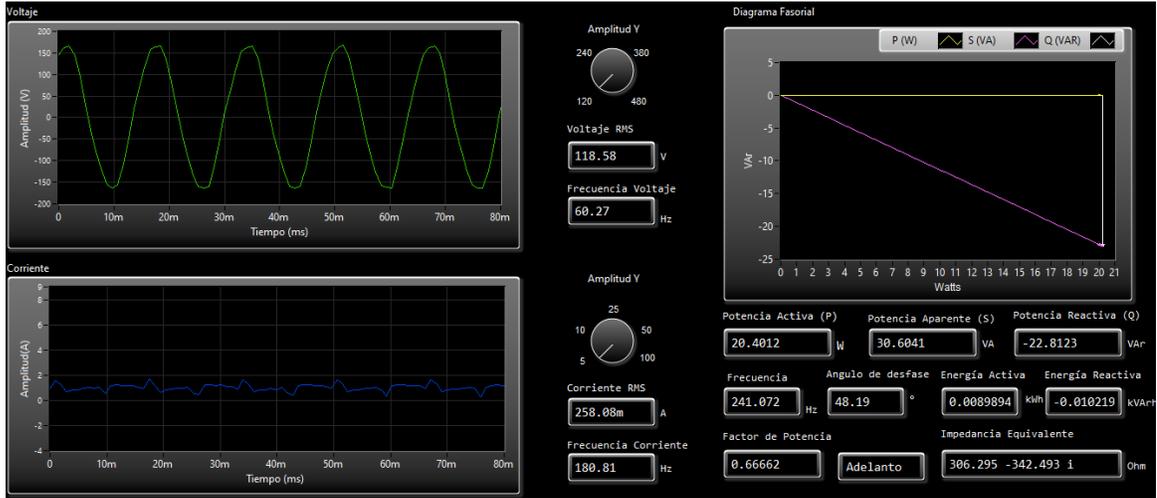


Fig. 94 . Medición de potencia cargador de laptop conectado de 45 Watts.

Tabla 17

Medición de cargador de Laptop

Placa característica del fabricante	Lectura Multímetro Corriente (A)		Lectura VI	%error relativo
			0.258 A	12.17 %
Potencia nominal Electrodoméstico	Potencia Aparente Calculada	Potencia Aparente Medida	Factor de potencia	Potencia activa Medida
45 W	27.6 VA	20.4012 VA	0.66	30.60 W

La corriente se observa distorsionada con un bajo factor de potencia adelantado.

Desempeño del sistema INVIRME.

Del análisis de cargas se demostró que se adquieren dos señales una de tensión y corriente a una tasa de muestreo de 1 kHz sin problemas, se comprobó la validez de las lecturas obtenidas al compararlas con un multímetro digital, que si bien no es un instrumento de grado laboratorio permite obtener una referencia.

El circuito acondicionador cumple su función correctamente, cambiando la ganancia del PGA sin problemas, así como la actuación de las protecciones en caso de superar los valores de seguridad.

El desempeño del transformador de corriente y voltaje han sido satisfactorios logrando adquirir correctamente las mediciones en el rango esperado.

Entre las limitantes se encuentra la propia tarjeta de adquisición que la conforma el Arduino UNO, que cuenta con una tasa de muestreo baja y poca resolución de su ADC. También el sensor de corriente demostró ser limitado para corrientes menores a un amperio ya que a su salida con el shunt acoplado genera un voltaje demasiado bajo aun con la ganancia máxima del PGA. Por lo cual, el sensor mostró un mejor comportamiento para corrientes mayores a un amperio.

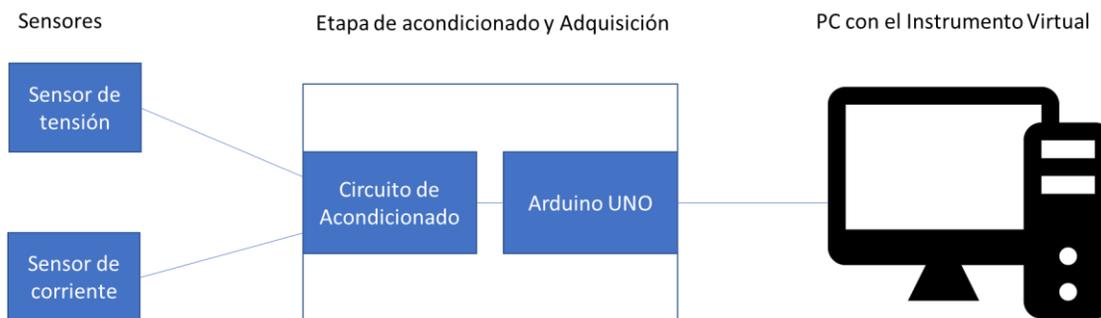


Fig. 95. Esquema del sistema INVIRME

Tomado de: Elaboración propia.

Capitulo IV:
Análisis Económico

4. Análisis Económico

En este capítulo se calculan los costos de desarrollo y montaje del equipo para obtener un valor total tomando en cuenta las horas hombre de desarrollo, así como compararlo con un equipo comercial con características similares o cercanas a las funcionalidades que realiza el sistema INVIRME.

4.1 Descripción de costos de materiales

A continuación, se enlista los componentes utilizados para la construcción del sistema expresado en dólares americanos.

Tabla 18

Lista de materiales para elaboración de sistema de adquisición de datos

Cantidad	U/M	Descripcion	Precio Unitario	Precio Total
1	UNIDAD	Transformador magnetico 110/24V	\$ 13.04	\$ 13.04
1	UNIDAD	Trannsformador YHDC SUT013 100 A	\$ 10.87	\$ 10.87
1	UNIDAD	Arduino UNO R3	\$ 16.26	\$ 16.26
1	UNIDAD	Caja PLEXO Legrand 220X170X86MM	\$ 13.59	\$ 13.59
2	UNIDAD	Resistencias 510 kOhm de 1/2 W	\$ 0.11	\$ 0.22
2	UNIDAD	Resistencias 22 kOhm de 1/2 W	\$ 0.11	\$ 0.22
2	UNIDAD	Resistencia de 10 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.22
2	UNIDAD	Resistencia de 100 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.22
2	UNIDAD	Resistencia de 220 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.22
3	UNIDAD	Capacitor electrolitico 10uF-25 V	\$ 0.43	\$ 1.30
2	UNIDAD	Rele electromecanico de 5v	\$ 1.36	\$ 2.72
2	UNIDAD	Transistor 2N222A	\$ 0.54	\$ 1.09
2	UNIDAD	Diodo rectificador 1N4007	\$ 0.41	\$ 0.82
6	UNIDAD	Resistencia de 1 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.65
5	UNIDAD	Resistencias de 220 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.54
2	UNIDAD	Amplificador operacional LM358P	\$ 0.95	\$ 1.90
1	UNIDAD	Multiplexor CD4052B	\$ 1.36	\$ 1.36
2	UNIDAD	Resistencia de 680 kOhm	\$ 0.11	\$ 0.22
4	UNIDAD	Bornera de dos terminales	\$ 0.54	\$ 2.17
2	UNIDAD	Pinza tipo cocodrilo	\$ 0.82	\$ 1.63
2	UNIDAD	Conector hembra banana	\$ 0.95	\$ 1.90
2	UNIDAD	Conector macho banana	\$ 0.95	\$ 1.90
1	UNIDAD	Conector plug hembra de 3.5 mm	\$ 0.68	\$ 0.68
1	UNIDAD	Conector plug macho de 3.5 mm	\$ 0.68	\$ 0.68
2	METRO	Cable #26 AWG	\$ 0.65	\$ 1.30
1	METRO	Termoencogible 5 mm	\$ 0.82	\$ 0.82
1	UNIDAD	Baquelita perforada	\$ 3.53	\$ 3.53
4	METRO	Soldadura estaño	\$ 3.26	\$ 13.04
3	UNIDAD	Diodos leds	\$ 0.68	\$ 2.04
1	UNIDAD	Tabla de nodos de 680 puntos	\$ 5.98	\$ 5.98
			Total	\$ 101.12

4.2 Cálculo del costo de desarrollo y costo total

El costo desarrollo del equipo estará basado en la cantidad de horas empleadas y el costo por hora. Para obtener el costo por hora se hizo una valoración de los recursos empleados durante el desarrollo. Según estimaciones el precio por mes de estos recursos es de 120 USD, que se considera como un salario mínimo durante el tiempo de desarrollo. Por tanto, el costo por hora se calcula como:

$$\text{Costo por hora} = \frac{\text{USD } 120/\text{mes}}{30 \text{ horas mes}} = 4 \text{ USD/hora}$$

El tiempo empleado para el desarrollo es de 6 meses trabajando aproximadamente 30 horas al mes para un total de 180 horas de desarrollo.

$$\text{Costo desarrollo} = 4 \frac{\text{USD}}{\text{hora}} * 180 \text{ horas} = 720 \text{ USD}$$

La suma total del costo de materiales más costo de desarrollo es de:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de materiales} + \text{Costo de desarrollo} = \mathbf{821.12 \text{ USD}}$$

4.3 Comparativa con equipo comercial de capacidades similares

No se encontró un equipo similar comercial que emplee la instrumentación virtual y que realizara las mismas mediciones de energía, graficara las formas de onda y permitiera realizar registro de mediciones tal como lo hace el equipo desarrollado. Por lo que se optó por compararlo con analizadores de redes monofásicos portátiles que, si bien tienen mayores prestaciones, es el tipo de equipo que tienes prestaciones similares al instrumento desarrollado. Es necesario recalcar que estos equipos elevan su precio por tener funciones de análisis de calidad de energía, por lo que se limita a comparar solo aquellas funciones que compartan con el sistema desarrollado.



Fig. 96. Analizador monofásico portátil Nanovip 2

Tomado de: www.impedancia.com

Especificaciones²⁵:

- Captura de formas de onda y registro de eventos
- Registro de todos los parámetros eléctricos en sistemas monofásicos
- Voltaje entre fases de hasta 1000 V L-N
- Medición de un canal de corriente mediante flexibles o pinzas
- Memoria microSD de 2 GB
- Interface USB y software de análisis NanoStudio

Precio²⁶: 1,590.00 USD

²⁵ Según se indica en www.impedancia.com/producto/analizador-monofasico-portatil-nanovip-2

²⁶ Precio sugerido en www.duncaninstr.com/productos/



Fig. 97. Analizador de calidad de energía monofásica Fluke 43B

Tomado de: www.cedesa.com.mx

Características²⁷:

- Representación de armónicos hasta 51°
- Distorsión total de armónicos
- Vatios, factor de potencia, factor de desplazamiento, VA y VAR
- Formas de onda de tensión y corriente
- Registro de datos continuos hasta por 16 días
- Captación y registro de hasta 40 transitorios
- RMS real para tensión y corriente

Precio²⁸: 3,799.99 USD

²⁷ A como se indica en: www.cedesa.com.mx/fluke/analizadores/calidad-energia/43B/

²⁸ Precio sugerido en: www.amazon.com



Fig. 98. Medidor de potencia PCE-GPA 50-ICA

Tomado de: www.pce-instruments.com

Características:

- Pantalla gráfica
- Registro de datos en tarjeta microSD
- Medición de 1 y 3 fases
- Medición de tensión: 10 V-600 V AC RMS
- Medición de corriente: 5-2000 A AC RMS
- Distorsión armónica hasta la orden 50
- Medición de potencia activa, reactiva y aparente.
- Factor de potencia
- Angulo de desfase

Precio²⁹: 1,115.00 USD

²⁹ Tomado de www.pce-instruments.com

Tabla 19

Comparativa de características equipos comerciales e instrumento virtual INVIRME.

Características	Fluke 43B	Nanovip2	PCE-GPA 50-ICA	INVIRME
Registro de datos	Si	Si	Si	Si
Medición de valor True RMS de tensión y corriente	Si	Si	Si	Si
Medición de factor de potencia	Si	Si	Si	Si
Potencia activa, reactiva y aparente	Si	Si	Si	Si
Visualización de formas de onda de tensión y corriente	Si	Si	Si	Si
Portátil	Si	Si	Si	Si
Software de interfaz grafica	Propia	Propia	Propia	Adaptable
Capacidad de analizar calidad de energía	Si	Si	Si	No
Comercial	Si	Si	Si	No
Precio	USD 3,800	USD 1,590	USD 1,115	USD 821.12

De esta tabla comparativa se observa que por las mismas características empleando la instrumentación virtual se consigue un equipo de menor costo con todas las ventajas que conlleva esta. Si bien se está comparando equipos de mayores prestaciones y de uso profesional, el objetivo de compararlo es en referencia a las capacidades que se puede dotar al instrumento virtual para que realice las mismas funciones que un equipo tradicional profesional a menor costo.

Conclusiones

En este trabajo monográfico se estableció como objetivo desarrollar un instrumento virtual para ser utilizado en la asignatura de sistemas de medición. Para ello se construyó la lógica de programación para el desarrollo del instrumento virtual mediante la arquitectura Productor-Consumidor en que se basa todo el sistema. La tarjeta de adquisición está basada en la placa de desarrollo Arduino UNO para la cual se elaboró el programa para la adquisición y control de datos. Los circuitos de acondicionamiento se diseñaron para adecuar las señales de tensión y corriente de la carga al rango de voltaje de las entradas de la tarjeta Arduino.

En la simulación de cargas mediante Proteus se demostró que el Instrumento Virtual es capaz de realizar las mediciones de los parámetros eléctricos de una carga monofásica con gran exactitud. De los resultados obtenidos para las pruebas con cargas reales se demostró que el equipo es capaz de medir los parámetros eléctricos de una carga monofásica con bastante precisión cuando tienen un consumo mayor a un amperio. La tarjeta de adquisición por estar basada en una placa Arduino UNO, presenta limitaciones como una baja tasa de muestreo y baja resolución de su ADC, en el caso de los sensores, el transformador de corriente es poco sensible para corrientes por debajo de un amperio a como se demostró en el análisis de resultados de una bombilla incandescente y una ahorrativa compacta.

En definitiva, el instrumento virtual es bastante potente solo limitado por las prestaciones de la tarjeta de adquisición y la sensibilidad de los sensores. La etapa de acondicionamiento no es siempre necesaria ya que tarjetas de adquisición comerciales incluyen esta función, en este caso se tuvo que adecuar las señales para las entradas de Arduino UNO.

Se elaboró una guía de laboratorio la cual, mediante los objetivos de aprendizaje propuestos, permitirá al estudiante realizar mediciones de potencia en el

laboratorio con el fin de que conozca este tipo de sistema de medición y su funcionamiento.

Del análisis económico se concluyó que efectivamente la instrumentación virtual permite crear aplicaciones con funcionalidades propias de instrumentos profesionales a un menor costo y con la flexibilidad de aumentar las capacidades gracias a su modularidad.

Hasta el momento de la intervención por parte de este trabajo monográfico, no se contaba con un instrumento virtual para la carrera de ingeniería eléctrica por lo que se espera que esta pequeña contribución permita conocer un nuevo tipo de sistema de medición no solo mediante teoría sino realizando medidas en el laboratorio con ayuda de la guía metodológica desarrollada.

Recomendaciones.

Para hacer uso del equipo se sugiere siempre leer el manual proporcionado para realizar correctamente las mediciones, así como conocer las prestaciones y limitaciones del mismo.

La guía de laboratorio elaborada como parte de los objetivos, deberá ser revisada y tener el visto bueno de parte de la F.E.C en caso de considerar su implementación en la asignatura de sistemas de medición.

La rutina de adquisición para el Arduino UNO puede ser mejorada para obtener mejores resultados, esto se lograría programando directamente los registros del microcontrolador.

La tarjeta acondicionadora elaborada también está sujeta a mejoras, como implementación de ganancias mayores para observar corrientes más pequeñas.

Si la F.E.C desea mejorar las capacidades del instrumento desarrollado, se debería de considerar adquirir una tarjeta de adquisición NI-USB 6009 que permitiría agregar capacidades para el análisis de calidad de energía, entre otras aplicaciones didácticas como experimentos para técnicas de alta tensión o simulación de sistema SCADA de un sistema de protecciones en una subestación.

Es recomendable que se contemple la implementación de la programación gráfica para el desarrollo de aplicaciones similares en la asignatura de programación.

Bibliografía

- [1] Centro Español de Metrología, Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, Centro Español de Metrología, 2012.
- [2] M. Zumaya, «Slideshare,» 29 Junio 2013. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/melyzumaya/conceptos-de-medida-23685245>.
- [3] A. Creus, Instrumentación Industrial, México: Alfaomega Grupo Editor, 2011.
- [4] A. D. Helfrick y W. D. Cooper, Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición, México: Prentice Hall Hispanoamerica, S.A, 1999.
- [5] H. Borroto y O. Calzadilla, «¿ Errores o Incertidumbres ?,» Revista Cubana de Física Vol. 35, pp. 46-47, 2018.
- [6] Kenyence México, «Fundamentos de Medición,» [En línea]. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/measurement-selection/basic/tolerance.jsp#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20de%20medici%C3%B3n%20la,industriales%20puede%20denominarse%20tambi%C3%A9n%20tolerancia>.
- [7] M. Granda Miguel, Instrumentación electrónica:transductores y acondicionadores de señal, Santander: Editorial de la Universidad de Cantabria, 2015.
- [8] E. M. Pérez, P. M. Espiñeira y A. L. Ferreiro, Instrumentación Electrónica, Barcelona: Marcombo, S.A, 1995.
- [9] R. C. Rugeles, «La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica,» Acción Pedagógica, pp. 74-84, 2002.
- [10] J. Jerome, Virtual Instrumentation Using LabVIEW, New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2012.
- [11] B. S. M. España, «Herramientas Software para el control Remoto de una fuente de alimentacion mediante una GUI,» Universidad de Sevilla, España, Sevilla, 2011.
- [12] P. Barrera, «Slideplayer,» 2014. [En línea]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1864477/>.
- [13] C. Concordia University Irvine, «CHAPTER II General Characteristics of Measurement Systems,» 2009. [En línea]. Available: <https://users.encs.concordia.ca/~kadem/MECH%20373/2009-2010/Notes/CHAP%202/CHAPTER%20II.pdf>.

- [14] E. Rodriguez, «Metrologia y Calidad,» 14 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://metrologiaycalidad.com/2019/09/14/coeficientes-de-sensibilidad-su-importancia-en-la-incertidumbre-de-medicion/#:~:text=Para%20calcular%20los%20coeficientes%20de,manteniendo%20las%20variables%20restantes%20constantes.>
- [15] A. Sachenko, Intelligent data acquisition and advanced computing systems, Computer Standards and Interfaces, 2002.
- [16] M. Santori, «An instrument that isn't really,» IEEE Spectrum, pp. 36-39, 1990.
- [17] C. Chicala, Adquisición de datos: Medir para conocer y controlar, México D.F: Cengage Learning Editores S.A de C.V, 2015.
- [18] T. L. Floyd, Fundamentos de Sistemas Digitales, Madrid: Pearson Educación S.A, 2006.
- [19] A. V. Oppenheim y R. W. Schaffer, Tratamiento de señales en tiempo discreto, Pearson Education, 2011.
- [20] J. Mayné, «Sensores, Acondicionadores y Procesadores de señal,» SILICA An Avnet Division, 2003.
- [21] National Instruments, LabVIEW Core 1 Manual de Curso, 2012.
- [22] A. P. Olivares, Instrumentación Virtual. Fundamentos de programación gráfica con Labview, Monterrey México: Editorial Digital Tecnológico de Monterrey, 2013.
- [23] J. R. L. Vizcaíno y J. P. Sebastián, LabVIEW: Entorno gráfico de programación, México D.F: Alfaomega, 2007.
- [24] National Instruments, LabVIEW Core 2 Manual de Curso, National Instruments, 2012.
- [25] National Instruments, «National Instruments,» 27 mayo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cl/support/documentation/supplemental/21/producer-consumer-architecture-in-labview0.html>.
- [26] C. K. Alexander y M. N. O. Sadiku, Fundamentos de circuitos eléctricos, México, D.F: McGraw-Hill Education, 2003.
- [27] National Instruments, «National Instruments Productos,» 7 Diciembre 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cl/shop/data-acquisition/how-to-choose-the-right-daq-hardware-for-your-measurement-system.html>.
- [28] S. J. Ignacio, «Dispositivo Inalámbrico de Adquisición de Datos para el Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica,» Mar de Plata, Argentina, 2011.
- [29] K. L. Ashley, Analog Electronics with LabVIEW, Prentice Hall, 2002.

[30] F. Miraya, Conversores D/A y A/D, Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario, 2004.

[31] L. Z. Xian, «iamzxlee.wordpress.com,» 10 Junio 2017. [En línea]. Disponible en: <https://iamzxlee.wordpress.com/2017/06/10/display-arduino-analog-input-using-labview/>.

[32] Centro Español de Metrología, Procedimiento EL-001 para la calibración de multímetros digitales con menos de 6 1/2 dígitos de resolución, Madrid: CEM, 2020.

[33] Institución Apasionada por la Metrología, «Métodos de: Medición, Prueba y Calibración,» Institución Apasionada por la Metrología, pp. 1-8, 2005.

[34] A. Creus, Instrumentos industriales, su ajuste y calibración, México D.F: Alfaomega Grupo Editor, 2009.

Anexos

1. Rutina programada para el Arduino UNO

```

#include <avdweb_AnalogReadFast.h>
#define A 4
#define B 5
#define RE1 6
#define RE2 7
unsigned long previa = 0;
const unsigned long intervalo =800;
int data;

void setup()
{
    Serial.begin(134400);
    pinMode(A, OUTPUT);
    digitalWrite(A, LOW);
    pinMode(B, OUTPUT);
    digitalWrite(B, LOW);
    pinMode(RE1, OUTPUT);
    digitalWrite(RE1, LOW);
    pinMode(RE2, OUTPUT);
    digitalWrite(RE2, LOW);
}

void loop()
{
    if(Serial.available()){
        data=Serial.read();
        switch (data) {
            // Ganancia x1
            case '1':
                digitalWrite(A, LOW);
                digitalWrite(B, LOW);
            // Ganacia x2
            break;
            case '2':
                digitalWrite(A, HIGH);
                digitalWrite(B, LOW);
            break;
            // Ganancia x4
            case '4':
                digitalWrite(A, LOW);
                digitalWrite(B, HIGH);
            break;
            // Ganancia x11
            case '9':
                digitalWrite(A, HIGH);
                digitalWrite(B, HIGH);
            break;
            case 'Q':
                digitalWrite(RE1, HIGH);
            break;
        }
    }
}

```

```
case 'W':
    digitalWrite(RE1, LOW);
    break;
case 'E':
    digitalWrite(RE2, HIGH);
    break;
case 'R':
    digitalWrite(RE2, LOW);
    break;
}
}

unsigned long actual = micros();

unsigned long Ts= actual - previa;

if (Ts >= intervalo){
    char buffer[20];
    sprintf(buffer,
"%d,%d,%d\r\n", analogReadFast(A0), analogReadFast(A2), Ts);
    Serial.write(buffer);
    previa = actual;
}
}
```

2. Esquema del montaje de un circuito de prueba para realizar mediciones con el equipo INVIRME en laboratorio.



3. Manual de Usuario

IMPRIMIR Y ADJUNTAR MANUAL



4. IMPRIMIR GUIA y ADJUNTAR A ESTE DOCUMENTO!