



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN  
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE  
INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS DE  
MEDIDA  
CON HERRAMIENTAS HARDWARE Y  
SOFTWARE ARDUINO**

Autor:

**D. Oliver Velázquez Díaz**

Tutores:

**Dr. D. Salvador Dueñas Carazo**

**Dr. D. Luis Alberto Bailón Vega**

Valladolid, 18 de Julio de 2014

---

TITULO: **Diseño e Implementación de Instrumentos Electrónicos de Medida con Herramientas Hardware y Software Arduino**

AUTOR: **D. Oliver Velázquez Díaz**

TUTORES: **Dr. D. Salvador Dueñas Carazo  
Dr. D. Luis Alberto Bailón Vega**

DEPARTAMENTO: **Electricidad y Electrónica**

---

#### **TRIBUNAL**

---

PRESIDENTE: **Dr. D. Miguel López-Coronado**

VOCAL: **Dr. D. Pedro Chamorro Posada**

SECRETARIO: **Dr. D. Héctor García García**

---

FECHA: **18 de Julio de 2014**

CALIFICACIÓN:

---

#### **Resumen del TFM**

En este trabajo se va a estudiar la posible sustitución de instrumentos electrónicos de medida físicos por instrumentos electrónicos de medida virtuales en laboratorios tanto docentes como de investigación. Para crear estos instrumentos electrónicos de medida virtuales se van a utilizar herramientas de hardware (Arduino) y software (Labview). Se diseñan desde equipos básicos como multímetros, hasta sistemas más complejos como osciloscopios. Tras diseñar estos instrumentos, se procederá a validarlos, esto se hará comparando los instrumentos electrónicos de medida virtuales con los instrumentos electrónicos de medida físicos existentes en los laboratorios de docencia e investigación. Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos tras la validación, y se extraerán conclusiones.

#### **Palabras clave**

Arduino, Labview, Osciloscopio, Multímetro, Instrumentos, Medida, Virtuales, Laboratorios, Electrónicos.

---

**TITLE:** Design and Implementation of Electronic Measurement Instruments with hardware and software tools Arduino and Labview.

**AUTHOR:** D. Oliver Velázquez Díaz

**TUTORS:** Dr. D. Salvador Dueñas Carazo  
Dr. D. Luis Alberto Bailón Vega

**DEPARTAMENT:** Electricity and electronic

---

### **TRIBUNAL**

---

**PRESIDENT:** Dr. D. Miguel López-Coronado

**VOCAL:** Dr. D. Pedro Chamorro Posada

**SECRETARY:** Dr. D. Héctor García García

---

**DATE:** 18<sup>TH</sup> July , 2014

**QUALIFICATION:**

---

### **Abstract**

This paper will explore the possible replacement of electronic instruments electronic instruments measure physical virtual laboratories as both teaching and research. To create these electronic virtual instruments to be used as tools hardware (Arduino) and software (LabView). They are designed from basic equipment such as multimeters, to more complex systems such as oscilloscopes. After designing these instruments, there shall be validated, this will be done by comparing the virtual electronic instruments electronic instruments measure with existing physical extent of the teaching and research laboratories.

Finally, the results obtained after the validation is analyzed, and conclusions are drawn.

### **Keywords**

Arduino, LabView, Oscilloscopes, Multimeter, Instruments, measurement, Virtual, Laboratories, Electronics.



# AGRADECIMIENTOS

Me gustaría empezar expresando mi gratitud a mis tutores de TFM, Salvador Dueñas y Luis Alberto Bailón y también a Helena Castán, por la ayuda prestada en la realización de este proyecto y por su motivación.

También quería dar las gracias a mis compañeros y profesores del máster MUI-TIC por su dedicación en sus asignaturas y por el buen ambiente en este curso.

Por último, mi especial agradecimiento a mi familia y amigos por su motivación y ayuda en la realización de este proyecto de Fin de Máster.

¡¡Gracias a todos, por este año!!

Oliver.

# INDICE GENERAL

## Parte 1. Introducción y Conocimientos Previos

### Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación y descripción del problema .....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estructura del trabajo.....	6

### Capítulo 2. Conocimientos Previos

2.1 Instrumentación Virtual .....	7
2.1.1 Introducción .....	7
2.1.2 Instrumentación Virtual vs Instrumentación Virtual.....	7
2.1.3 Estado del arte en Instrumentación Virtual .....	8
2.2 Arduino .....	8
2.2.1 Introducción .....	8
2.2.2 Historia .....	8
2.2.3 Aplicaciones .....	9
2.2.4 Especificaciones .....	9
2.2.5 Modelos .....	10
2.3 Labview .....	11
2.3.1 Introducción .....	11
2.3.2 Instrumentación Virtual (Labview).....	11
2.3.3 Programación Grafica. Entorno Labview .....	11
2.3.4 Sistemas de medida .....	13
2.3.5 Componentes en un programa en Labview .....	13
2.3.5.1 Panel Frontal .....	13
2.3.5.2 Diagrama de bloques .....	14
2.3.6 Tipos de datos de Labview .....	14
2.3.7 Programación Estructurada .....	15
2.3.8 Visualización de datos .....	15
2.3.9 Labview+Arduino (LIFA) .....	16
2.3.9.1 Introducción .....	16
2.3.9.2 Algunas preguntas sobre interface LIFA .....	16
2.4 Osciloscopio.....	18
2.4.1 Introducción .....	18
2.4.2 Características .....	19
2.4.3 Tipos de osciloscopios.....	19
2.4.3.1 Osciloscopio Analógico.....	19
2.4.3.2 Osciloscopio Digital .....	21
2.4.4 Parámetros que influyen en la calidad de un osciloscopio .....	22
2.4.5 Osciloscopios usados en el proyecto .....	23
2.4.5.1 Osciloscopio Agilent DSO-X 3104A.....	23
2.4.5.2 Osciloscopio Kenwood CS-4125A.....	23

2.5 Multímetros.....	25
2.5.1 Introducción.....	25
2.5.2 Medidas de tensión.....	25
2.5.3 Medidas de Intensidad.....	26
2.5.4 Medidas de Resistencia.....	26
2.5.5 Tipos de multímetros.....	28
2.5.5.1 Multímetros Analógicos.....	28
2.5.5.2 Multímetros Digitales.....	28
2.5.6 Multimetro usado en el proyecto.....	29
2.5.6.1 Multimetro ISO-TECH IDM 203.....	29

## **Parte 2. Trabajo Desarrollado**

### **Capítulo 3. Desarrollo Teórico**

3.1 Osciloscopio Virtual.....	30
3.1.1 Introducción.....	30
3.1.2 Arquitectura del Osciloscopio Virtual.....	30
3.1.3 Panel Frontal.....	32
3.1.3.1 Tensión Continua.....	32
3.1.3.2 Tensión Alterna.....	33
3.1.4 Módulos del diagrama de bloques.....	34
3.1.4.1 Tensión Continua.....	34
3.1.4.2 Tensión Alterna.....	41
3.1.5 Limitaciones.....	49
3.2 Multímetro Virtual.....	51
3.2.1 Introducción.....	51
3.2.2 Arquitectura del Multímetro Virtual.....	51
3.2.3 Panel Frontal.....	52
3.2.3.1 Tensión Continua.....	52
3.2.3.2 Tensión Alterna.....	53
3.2.4 Módulos del diagrama de bloques.....	53
3.2.4.1 Tensión Continua.....	54
3.2.4.2 Tensión Alterna.....	56
3.2.5 Limitaciones.....	58

### **Capítulo 4. Descripción del método de resolución del problema**

4.1 Metodología.....	59
4.2 Diagrama temporal realización del proyecto.....	61

### **Capítulo 5. Experimentación y análisis de resultados**

5.1 Consideraciones a tener en cuenta.....	62
5.2 Magnitudes a medir.....	62
5.3 Proceso de realización de las medidas.....	62
5.3.1 Medida de tensiones alternas.....	63

5.3.2 Medidas de tensiones continuas .....	64
5.4 Resultados de las medidas .....	65
5.4.1 Osciloscopio Virtual.....	65
5.4.1.1 Tensión alterna .....	65
5.4.1.2 Tensión continua.....	72
5.5 Análisis de los resultados .....	74
5.5.1 Tensión alterna .....	74
5.5.1.1 Osciloscopio Virtual.....	74
5.5.1.2 Osciloscopio Agilent DSO-X 3104A.....	77
5.5.1.3 Osciloscopio Kenwood CS-4125A.....	78
5.5.1.4 Comparación de resultados osciloscopios .....	80
5.5.1.5 Multímetro Virtual .....	82
5.5.1.6 Multímetro ISO-TECH IDM 203 .....	83
5.5.1.7 Comparación de resultados multímetros .....	83
5.5.2 Tensión continua.....	84
5.5.2.1 Osciloscopio Virtual.....	84
5.5.2.2 Osciloscopio Agilent DSO-X 3104 <sup>a</sup> .....	85
5.5.2.3 Osciloscopio Kenwood CS-4125 <sup>a</sup> .....	85
5.5.2.4 Comparación de resultados osciloscopios .....	86
5.5.2.5 Multímetro Virtual .....	86
5.5.2.6 Multímetro ISO-TECH IDM 203 .....	87
5.5.2.7 Comparación de resultados multímetros .....	88

## **Capítulo 6. Planificación de costes**

6.1 Introducción .....	89
6.2 Coste de instrumentos físicos .....	89
6.3 Coste de instrumentos virtuales .....	89
6.4 Comparativa .....	90

## **Parte 3. Finalización**

### **Capítulo 7. Conclusiones y futuros trabajos**

7.1 Contribuciones .....	92
7.2 Futuros trabajos .....	92

<b>Bibliografía .....</b>	<b>93</b>
---------------------------	-----------

# INDICE DE FIGURAS

## Capítulo 2

2.1. Hardware Arduino Uno .....	9
2.2. Diferentes modelos de Arduino .....	10
2.3. Panel Frontal Labview .....	12
2.4. Diagrama de bloques Labview .....	12
2.5. Panel Frontal Labview (Controls y Tools) .....	13
2.6. Diagrama de Bloques (Funciones).....	14
2.7. Ejemplo de señal que varía en el tiempo .....	18
2.8. Ejemplo de osciloscopio .....	18
2.9. Barrido horizontal osciloscopio .....	20
2.10. Diagrama de bloques de un osciloscopio analógico .....	20
2.11. Esquema de tubo de rayos catódicos osciloscopio .....	21
2.12. Osciloscopio Digital .....	21
2.13. Osciloscopio AGILENT DSO- X 3104A .....	24
2.14. Osciloscopio Kenwood CS-4125A.....	24
2.15. Esquema interno de un óhmetro .....	27
2.16. Multímetros Analógicos .....	28
2.17. Multímetros Digitales.....	28
2.18. Multímetro ISO-TECH IDM 203 .....	29

## Capítulo 3

3.1. Diagrama de Flujo Osciloscopio Virtual.....	31
3.2. Panel Frontal Osciloscopio Virtual (Tensión Continua) .....	32
3.3. Panel Frontal Osciloscopio Virtual (Tensión Alterna).....	33
3.4. Modulo de Iniciar y terminar comunicación de Arduino .....	34
3.5. Subvi selector pin de entrada (Analog Read Pin) .....	35
3.6. Diagrama de bloques del caso 0 (canal 1).....	35
3.7. Diagrama de bloques del caso 2(Dual).....	36
3.8. Diagrama de bloques del caso 3(Dual).....	36
3.9. Diagrama de bloques caso 11(Automático).....	37
3.10. Diagrama de bloques exportación de datos a documento Excel.....	38
3.11. Diagrama de bloques para exportar la imagen de la pantalla. ....	38
3.12. Diagrama de bloques para restar tensión continua introducida .....	39
3.13. Diagrama de bloques para cambiar el color de la señal representada.....	39
3.14. Diagrama de bloques para reiniciar pantalla .....	39
3.15. Diagrama de bloques para ajustar la intensidad del haz de la señal. ....	40
3.16. Diagrama de bloques que desplazara la señal representada en el eje Y .....	40
3.17. Diagrama de bloques que generara una señal test .....	40
3.18. Diagrama de bloques que hará visible un cursor en la pantalla. ....	41
3.19. Diagrama de bloques que representara la señal recibida. ....	41
3.20. Subvi selector pin de entrada (Continous Acquisition Sample) .....	42
3.21. Diagrama de bloques caso 0(Canal 1) .....	42
3.22. Diagrama de bloques caso 2 (Suma) .....	43
3.23. Diagrama de bloques caso 3 (Dual).....	43

3.24. Diagrama de bloques caso 4 test .....	44
3.25. Subvi Amplitude and Level Measurements.....	44
3.26. Subvi Harmonic Distortion Analyzer .....	44
3.27. Diagrama de bloques caso 11(Automático) .....	45
3.28. Diagrama de bloques caso 10 Automático .....	46
3.29. Modulo Display Alterna.....	48
3.30. Circuito sumador .....	49
3.31. Circuito divisor .....	50
3.32. Diagrama de Flujo Multímetro Virtual .....	51
3.33. Panel Frontal Multímetro Virtual (Tensión Continua) .....	52
3.34. Panel Frontal Multímetro Virtual (Tensión Alterna) .....	53
3.35. Modulo de Iniciar y terminar comunicación de Arduino .....	53
3.36. Diagrama de bloques completo (Tensión Continua).....	54
3.37. Subvi selector pin de entrada (Analog Read Pin) .....	54
3.38. Diagrama de bloques caso 0 (mV).....	55
3.39. Diagrama de bloques modulo restador .....	55
3.40. Diagrama de bloques Multímetro Virtual (Tensión Alterna) .....	56
3.41. Subvi Get Finite Analog Sample. ....	56
3.42. Diagrama de bloques caso 2 (KV) .....	57
3.43. Subvi Harmonic Distortion Analyzer .....	57
3.44. Subvi Amplitude and Level Measurements.....	58
3.45. Diagrama de bloques modulo restador .....	58

## Capítulo 4

4.1. Esquema metodología usada .....	60
4.2. Diagrama Temporal realización del proyecto .....	61

## Capítulo 5

5.1. Conexión realizada en el proceso experimental .....	63
5.2. Medida tensión alterna 30Hz .....	65
5.3. Medida tensión alterna 50Hz .....	66
5.4. Medida tensión alterna 100Hz .....	67
5.5. Medida tensión alterna 500Hz .....	68
5.6. Medida tensión alterna 1500Hz .....	69
5.7. Medida tensión alterna 2000Hz .....	70
5.8. Medida tensión alterna 2500Hz .....	71
5.9. Medida tensión continua 0,5V .....	72
5.10. Medida tensión continua 5V .....	73
5.11. Error Absoluto de la frecuencia obtenida mediante subvi Harmonic Distortion Analyzer....	74
5.12. Error absoluto de la frecuencia analizando la señal eléctrica que se muestra en pantalla.....	75
5.13. Error Absoluto de la frecuencia obtenida mediante subvi Harmonic Distortion Analyzer....	76
5.14. Error absoluto de la frecuencia analizando la señal eléctrica que se muestra en pantalla.....	76
5.15. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 0,5Vp. ....	77
5.16. Error absoluto de la frecuencia obtenida con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp. ....	78

5.17. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 0,5Vp. ....	79
5.18. Error absoluto de la frecuencia obtenida con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp. ....	79
5.19. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp sin circuito sumador. ....	80
5.20. Error absoluto de la frecuencia obtenido por los diferentes osciloscopios con una amplitud de 0,5Vp. ....	81
5.21. Error absoluto de la frecuencia obtenida por los diferentes osciloscopios con una amplitud de 1Vp. ....	82
5.22. Error absoluto de la amplitud (Vp) del MV con respecto el generador de tensión alterna..	82
5.23. Error absoluto de la amplitud (Vp) del multímetro físico ISO- TECH IDM 203 con respecto el generador de tensión alterna.....	83
5.24. Error absoluto de la frecuencia obtenido por los diferentes multímetros .....	84
5.25. Error absoluto del voltaje del OV con respecto el generador de tensión continúa.....	84
5.26. Error absoluto del voltaje del osciloscopio Agilent con respecto el generador de tensión continúa. ....	85
5.27. Error absoluto del voltaje del osciloscopio Kenwood con respecto el generador de tensión continúa. ....	85
5.28. Error absoluto del voltaje obtenido por los diferentes osciloscopios.....	86
5.29. Error absoluto del voltaje del MV con respecto el generador de tensión continúa .....	86
5.30. Error absoluto del voltaje del multímetro ISO- TECH IDM 203 con respecto el generador de tensión continúa.....	87
5.31. Error absoluto del voltaje obtenido por los diferentes multímetros.....	88

## Capítulo 6

6.1. Licencias disponibles Labview empresas .....	90
6.2. Licencias disponibles de Labview estudiantes (universidades).....	90



## **PARTE 1. INTRODUCCION Y CONOCIMIENTOS PREVIOS**

### **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

---

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments. En el año 1983, Truchard y Kodosky [1] , de National Instruments, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar la computadora personal (PC) como un instrumento para realizar mediciones. Tres años fueron necesarios para crear la primera versión del software que permitió, de una manera grafica y sencilla, diseñar un instrumento en un PC. Así surge el concepto de instrumento virtual, definido como, “un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora y tiene sus funciones definidas por software.” (National Instruments, 2001)[2].A este software le dieron el nombre de Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, más comúnmente conocido por las siglas Labview.

Por otro lado, está teniendo últimamente un gran interés el uso del hardware Arduino en el mundo de la instrumentación virtual.

Por lo tanto, una línea de investigación innovadora seria la unión del hardware Arduino y el software Labview.

La instrumentación virtual, ofrecerá muchos beneficios a ingenieros y científicos que requieran mayor productividad, precisión y rendimiento. Por ello tiene un gran interés la investigación en la posible implantación de instrumentos virtuales en la educación y en los laboratorios de investigación [3][4][5][6][7].

## 1.1 MOTIVACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Hasta 1983 [1] los únicos instrumentos de medida electrónicos usados en la docencia y en los laboratorios de investigación eran los instrumentos de medida físicos. Estos tienen una serie de ventajas importantes como: alta resolución, pueden eliminar el error cometido calibrándolos correctamente, rapidez de lectura de las muestras adquiridas etc... Sin embargo, también tienen una serie de desventajas como el coste elevado, su complejidad de construcción, las elevadas dimensiones del instrumento (siendo difícil la portabilidad), no son reconfigurables etc....

Tras esto, parece evidente estudiar diferentes alternativas a estos instrumentos de medida. De estas premisas, surgieron investigaciones en el desarrollo de instrumentos de medida virtuales, para poder solucionar las desventajas que tienen los instrumentos de medida físicos. Los instrumentos de medida virtuales tienen las siguientes ventajas: el precio será menor (como se podrá ver en el capítulo 6) aunque tengamos que comprar el software y el hardware necesario, las dimensiones del instrumento serán mucho menores, por tanto, la portabilidad será más factible, serán totalmente configurables etc...

La idea principal de este proyecto será estudiar si es viable la sustitución de instrumentos de medida físicos usados en la docencia y en laboratorios de investigación por instrumentos de medida virtuales.

Antes de empezar este proyecto se realizó una encuesta entre los estudiantes (25 alumnos) del Grado Superior de Electrónica del Instituto de la Merced (Valladolid) con un resultado favorable a la sustitución de los instrumentos de medida físicos por instrumentos de medida virtuales del 95%. Siendo esta otra motivación para la realización de este proyecto.

Por un lado, para poder diseñar estos instrumentos virtuales, necesitaremos un hardware para adquirir los datos del exterior y procesarlos en un PC (tarjeta de adquisición) y un software para poder tratar los datos adquiridos (Labview).

El software usado será el Labview 2011 [8] [9], porque es el programa más usado y adecuado por sus ventajas para crear instrumentos virtuales como se verá en el apartado 2.3. Tendremos diferentes licencias para adquirir el software Labview como licencias para empresas [10] que tendrán un valor aproximado de 1200€. Otra opción son las licencias orientadas a la educación y a la investigación donde el coste bajará considerablemente [11].

Por otro lado, se necesitará una tarjeta de adquisición para poder recoger los datos analógicos del exterior. Las opciones serán varias: desde la tarjeta de adquisición que tiene en catálogo la propia empresa de Labview (National Instruments) NI ADQ [12] o hasta diferentes tarjetas de adquisición de otras marcas.

En este proyecto se ha decidido usar como tarjeta de adquisición el modelo Arduino Uno. La razón es que Arduino Uno tiene código libre, actualmente tiene mucha repercusión en el mundo de la investigación como se ve en los siguientes artículos [13] [14] [15] y el coste del producto es bajo respecto a las otras tarjetas de adquisición indicadas anteriormente. El Arduino Uno tiene un coste aproximado de 40€ [16] mientras que las otras tarjetas tienen un precio aproximado de 200€ [12]. Además resulta de interés ya que hay varias publicaciones donde se usa Arduino y Labview [17] [18] [19], pero casi ninguna de ellas se centran en instrumentos de medida virtuales como osciloscopios o multímetros.

## 1.2 OBJETIVOS

Una vez descrito el contexto en el que se desarrolla el Trabajo de Fin de Máster (TFM) se establece el siguiente objetivo del TFM.

**Se tratara de proponer instrumentos de medida virtuales equivalentes a instrumentos de medida físicos en laboratorios de investigación y laboratorios docentes.**

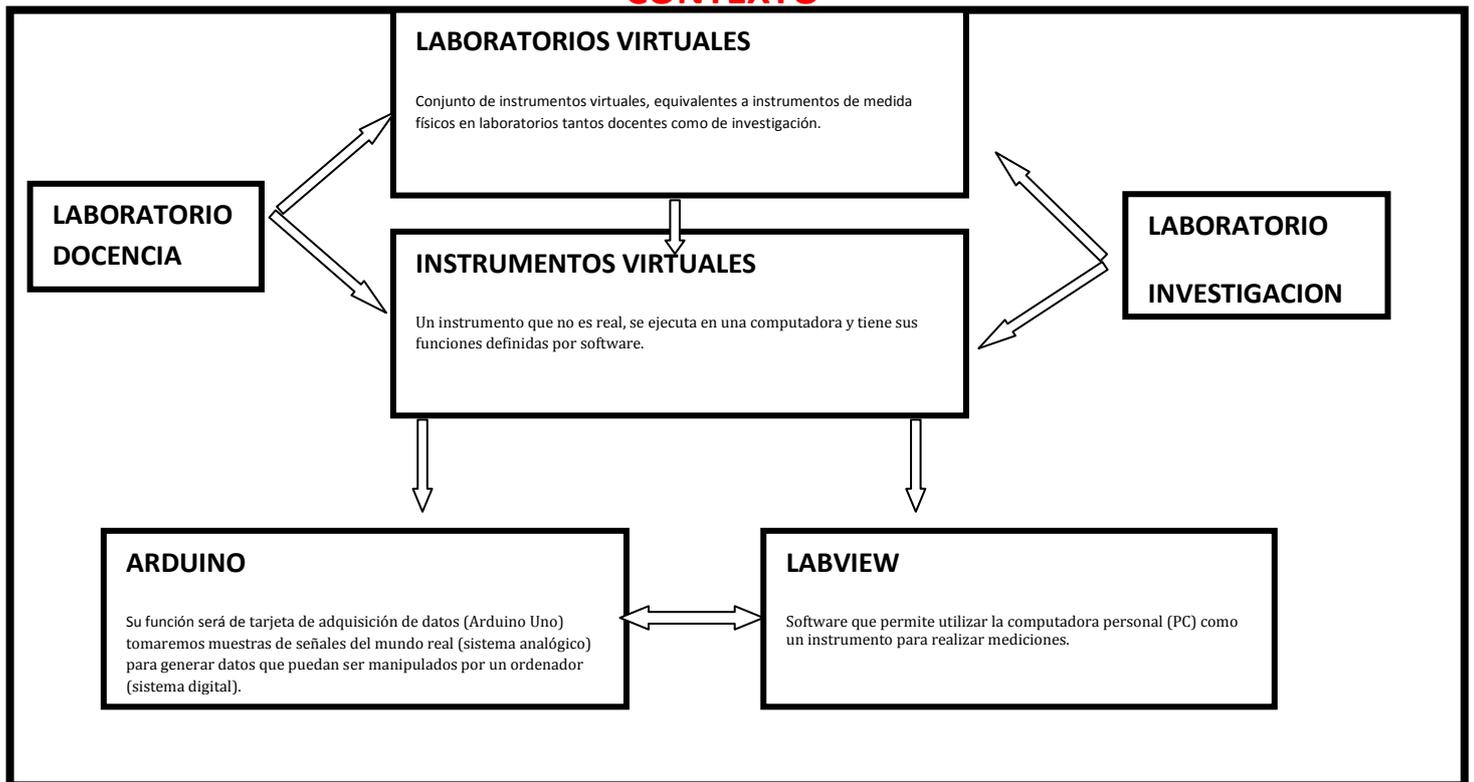
Para poder lograrlo se plantean varios objetivos parciales, los cuales, así como el contexto y las contribuciones del trabajo, se muestran de manera esquemática en la figura 1.1 .Se describen a continuación dichos objetivos:

- Diseñar un multímetro virtual (MV) mediante herramientas hardware(Arduino) y software (Labview).

Para alcanzar este objetivo se estudia la literatura relacionada con multímetros, hardware (Arduino) y software (Labview) (modelos, características, funcionamiento...).

- Diseñar un osciloscopio virtual (OV) mediante herramientas hardware (Arduino) y software (Labview).

Para alcanzar este objetivo se estudia literatura relacionada con osciloscopios, hardware (Arduino) y software (Labview) (modelos, características, funcionamiento...).

**CONTEXTO****OBJETIVO**

- Se trata de proponer instrumentos virtuales equivalentes a instrumentos de medida físicos en laboratorios de investigación y laboratorios docentes.

**OBJETIVOS PARCIALES**

- Diseñar un osciloscopio virtual mediante herramientas hardware y software Arduino.
- Diseñar un multímetro virtual mediante herramientas hardware y software Arduino.

**CONTRIBUCIONES**

- Reemplazo de instrumentos de medida físicos por instrumentos de medida virtuales.
- Plantear e implementar un entorno gráfico que mejore el uso del instrumento virtual respecto al instrumento de medida físico.
- Estudio sobre la conectividad del Arduino Uno como tarjeta de adquisición con el software Labview.

**POSIBLES PROBLEMAS****LIMITACIONES**

- Rango limitado de funcionamiento de la tarjeta de adquisición Arduino Uno
- Obtener errores de medida entre los instrumentos virtuales y los instrumentos físicos.
- Dificultad del estudiante o investigador en el uso de software – hardware (Labview-Arduino) puede crear problemas en el uso de dicha aplicación.

**POSIBLES SOLUCIONES**

- Eliminar esas limitaciones con la ayuda de circuitos electrónicos exteriores.
- Comprobar diferentes medidas obtenidas a través del Labview-Arduino con las medidas obtenidas por los instrumentos físicos, con las mismas condiciones de entrada.
- Crear una interfaz grafica lo mas intuitiva posible.

**POSIBLES FUTUROS TRABAJOS**

- Comparar este trabajo para diferentes tarjetas de adquisición y ver sus resultados.
- Estudiar cómo mejorar la exactitud y el rango de frecuencias de funcionamiento del instrumento virtual.
- Construir sondas de medida para el osciloscopio virtual y el multímetro virtual.
- Ampliar los controles de los instrumentos virtuales
- Ampliar el número de instrumentos virtuales.
- Implantar los instrumentos virtuales en centros de docencia y/o laboratorios de investigación.
- Diseño y construcción de un circuito rectificador de doble onda de precisión y comparador analógico como sustitución del circuito sumador.

Figura 1.1. Esquema del estudio

### 1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El proyecto se dividirá en tres partes, que serán Parte 1 Introducción y conocimientos previos, Parte 2 Trabajo desarrollado y por último, Parte 3 Finalización.

Dentro de la Parte 1 tenemos: el capítulo 1 presenta la introducción al proyecto, la motivación por la que se ha realizado el estudio, la descripción del problema y se exponen los objetivos del estudio. En el Capítulo 2 se repasa los conceptos más importantes de las áreas tratadas, asegurando que se conoce suficientemente la materia para entender el resto del estudio. En la sección 2.1 se profundiza en la definición de Instrumentación Virtual y se hace una revisión de cómo se encuentra en el estado del arte. En la sección 2.2 se profundiza en la definición del software Labview y en su aplicación en instrumentos virtuales. En la sección 2.3 se profundiza en la definición del hardware Arduino y en su aplicación en instrumentos virtuales. En la sección 2.4 se profundiza en el funcionamiento, modelos, y características de los osciloscopios. Y por último la sección 2.5 se centrará en el funcionamiento, modelos y características de los multímetros. .

En la Parte 2 estarán incluidos los siguientes capítulos: el Capítulo 3 explicará las características y el funcionamiento de los instrumentos virtuales diseñados. En el Capítulo 4 se describirá el método de resolución del problema (Metodología). El capítulo 5 profundizará en cómo se han obtenidos los datos experimentales y posteriormente se analizarán los resultados obtenidos. En el Capítulo 6 se hará una comparativa de costes entre instrumentos de medida y físicos con instrumentos de medida virtuales.

Por último la Parte 3 contendrá el Capítulo 7, que presenta las conclusiones finales, las contribuciones y futuros trabajos.

---

## CAPITULO 2

### CONOCIMIENTOS PREVIOS

---

**RESUMEN:** En el capítulo 1 se presentó una visión del contexto de la investigación, describiendo la instrumentación virtual, y la oportunidad de innovar mediante instrumentos de medida virtuales.

Antes de entrar al detalle con los experimentos y resultados obtenidos, será necesario comentar y describir una serie de conocimientos fundamentales para la comprensión de este trabajo. En la sección 2.1 se profundiza en la instrumentación virtual. En la sección 2.2 se profundiza en el hardware Arduino. En la sección 2.3 se profundiza en software Labview.

En la sección 2.4 se profundiza en el instrumento de medida Osciloscopio. Y por último en la sección 2.5 se profundiza en el instrumento de medida Multímetro.

#### 2.1 INSTRUMENTACION VIRTUAL

##### 2.1.1 INTRODUCCION

Un instrumento virtual es un objeto que ejecuta una determinada tarea sin estar presente físicamente. Esto ha revolucionado el mercado de la instrumentación, ya que no es necesario disponer físicamente de los instrumentos para realizar las aplicaciones [20] [21].

Otro de los beneficios es que permite al usuario configurar y generar sus propios sistemas logrando de esta forma una gran eficiencia del sistema, flexibilidad, reutilización y reconfiguración.

Desde principios de los '80, varias compañías comenzaron a desarrollar sistemas para implementar aplicaciones basadas en Instrumentación Virtual debido a la eficiencia y beneficios de esta nueva tecnología.

También añadir que se logra una notoria disminución de costos de desarrollo, costos de mantenimiento etc.

##### 2.1.2 INSTRUMENTACION TRADICIONAL vs INSTRUMENTACION VIRTUAL

Por un lado, en la instrumentación tradicional tenemos [22]:

- El instrumento actúa con capacidades predefinidas por el fabricante.
- Un conjunto de entradas y salidas fijas.
- Una interfaz con el usuario basada en una serie de botones, led y displays que permiten controlar las características del instrumento.
- Una serie de circuitos electrónicos en el interior del instrumento para poder desarrollar las funciones requeridas.

Por todas estas razones el instrumento tradicional tiene una arquitectura cerrada que impide realizar cualquier cambio en su funcionalidad. Si quisiéramos realizar algún cambio tendríamos que modificar la circuitería interior, siendo esto muy poco factible.

Por otro lado, la instrumentación virtual:

-Aprovecha el bajo coste de los PC y su alto grado de rendimiento en procesos de análisis para implementar Hardware y Software. Esto permite al usuario incrementar la funcionalidad del instrumento tradicional. La importancia fundamental de la instrumentación virtual, es que permite al usuario establecer las características del instrumento y de esta forma sus potencialidades y limitaciones. De esta manera se puede emular una gran cantidad de instrumentos tales como Osciloscopios, Multímetros y Generadores de señal entre otros. Seguramente el principal inconveniente es la inversión inicial que involucra adquirir Software y Hardware. Aun siendo éstos reutilizables, puede traducirse en beneficios a mediano o largo plazo.

### 2.1.3 ESTADO DEL ARTE EN INSTRUMENTACION VIRTUAL

La instrumentación virtual está siendo utilizada actualmente por una gran cantidad de Industrias y está aumentando el número y la variedad de aplicaciones. Con respecto a los sistemas desarrollados con productos National Instruments, se pueden ver algunas aplicaciones a nivel Industrial publicadas por dicho fabricante en Instrumentacion Newsletter [1].

La lista de aplicaciones también es extensa en ambientes docentes de Universidades Norteamericanas, Europeas, Sudamericanas y Asiáticas [3] [4] [19].

Así como National Instruments posee herramientas para desarrollar Instrumentación Virtual, existen otras empresas que también las proveen. Entre las más conocidas están Advantech con su software GENIE con sus dispositivos de Adquisición de Datos, y Cyber Tools y Cyber View que entregan software y Drivers para manejar una gran variedad de Hardware.

## 2.2 ARDUINO

### 2.2.1 INTRODUCCION

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios [23][24][25].

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada y salida. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring [26] y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a diferentes software (Adobe flash, Processing, LabView....)

Otra de las características de Arduino es que puede adquirir datos a través de sus entradas analógicas y digitales y funcionar como una tarjeta de adquisición.

### 2.2.2 HISTORIA

Arduino se inició en el año 2005 como un proyecto para estudiantes en el instituto IVREA (Italia). Este surgió, porque por entonces se usaba el microcontrolador BASIC Stamp, cuyo coste era de 100 dólares, lo que se consideraba demasiado costoso para ellos. Por lo tanto, buscaron una alternativa más económica y de ahí surgió el Arduino.

### 2.2.3 APLICACIONES

El modulo Arduino se ha usado en diferentes aplicaciones como:

- Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- Equipo científico para investigadores.
- Arduinopilot: Software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- ArduinoPhone: Un teléfono móvil construido sobre un modulo Arduino.

### 2.2.4 ESPECIFICACIONES

Este apartado indica las especificaciones del Arduino Uno que será el que se use en el proyecto:

- Microcontrolador : ATmega 328
- Tensión de funcionamiento: 5V
- Tensión de entrada (Recomendado): 7-12V
- Tensión de entrada limite: 6-20V
- Pines Digitales I/O: 14 ( 6 están provistos de salida PWM)
- Pines analógicos de entrada: 6
- DC para Pines I/O: 40mA
- DC para pin 3,3V : 50mA
- Memoria Flash: 32KB (ATmega 328)
- SRAM : 2KB (ATmega328)
- EEPROM: 1KB (ATmega328)
- Frecuencia de reloj: 16MHz



Figura 2.1. Hardware Arduino Uno

Las especificaciones del microprocesador ATmega328 son las siguientes:

- Voltaje operativo: 5V
- Voltaje de entrada recomendado: 7-12V
- Voltaje de entrada limite: 6-20V
- Contactos de entrada y salida digital: 14(proporcionan 6 PWM)
- Contactos de entrada analógica: 6
- Intensidad de corriente: 40mA
- Memoria Flash: 32KB( 2KB reservados para el bootloader)
- RAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Frecuencia de reloj: 16MHz

## 2.2.5 MODELOS

Algunos de los modelos de Arduino que hay en el mercado.

Modelo	Procesador	Tensión de funcionamiento o/ Tensión de entrada	Velocidad CPU	Pines Analógicos E/S	Pines Digitales ES/PWM	Memoria Flash
UNO	ATmega328	5V/7-12v	16MHz	6/0	14/6	32
DUE	AT91SAM3X8E	3,3V/7-12V	84MHz	12/2	54/12	512
LEONARDO	ATmega32u4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	32
MEGA 2560	ATmega2560	5V/7-12V	16MHz	16/0	54/15	256
Mega ADK	ATmega2560	5V/7-12V	16MHz	16/0	54/15	256
MICRO	ATmega32u4	5V/7-12V	16MHz	12/0	20/7	32
MINI	ATmega328	5V/7-9V	16MHz	8/0	14/6	32
NANO	ATmega328	5V/7-9V	16MHz	8/0	14/6	16
ETHERNET	ATmega328	5V/7-12V	16MHz	6/0	14/4	32
ESPLORA	ATmega32u4	5V/7-12V	16 MHz			32
ARDUINO BT	ATmega328	5V/2,5-12V	16 MHz	6/0	14/6	32
FIO	ATmega328P	3,3V/3,7-7V	8MHz	6/0	14/6	32
PRO(168)	ATmega168	3,3V/3,35-12V	8MHz	6/0	14/6	32
PRO(328)	ATmega328	5V/5-12V	16 MHz	6/0	14/6	16
PRO MINI	ATmega168	3,3V/3,35-12V	8MHz	6/0	14/6	32
LILYPAD	ATmega168	2,7-5,5V/2,7-5,5V	8MHz	6/0	14/6	16
LILYPAD USB	ATmega32u4	3,3V/3,8-5V	8MHz	4/0	9/4	16
LILYPAD SIMPLE	ATmega328	2,7-5,5V/2,7-5,5V	8MHz	4/0	9/4	32
LILYPAD SIMPLE SNAP	ATmega328	2,7-5,5V/2,7-5,5V	8MHz	4/0	9/4	32

Figura 2.2. Diferentes modelos de Arduino

## 2.3 LABVIEW

### 2.3.1 INTRODUCCION

Labview (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) [27] [28] [29] es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control, adquisición de datos, etc.

El lenguaje que se usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico. Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado en 1986 estando disponible para las plataformas Windows, Unix, Mac y Gnu/Linux.

Los programas desarrollados por Labview se llaman Instrumentos Virtuales o Vi. En un principio este software se usaba solamente para el control de instrumentos, pero hoy en día sus aplicaciones se han expandido a programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc.

Los objetivos de los investigadores de Labview es reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo y permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. Labview consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante (tarjetas de adquisición de datos, PAC, Vision, instrumentos) como otro hardware de otros fabricantes (Arduino).

### 2.3.2 INSTRUMENTACION VIRTUAL (LABVIEW)

Un instrumento virtual es un módulo software que simula el panel frontal de un instrumento y se apoya en elementos hardware accesibles por el ordenador como tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, instrumentos accesibles vía GPIB, RS-232, USB, Ethernet, entre otros, o sistemas en rack basados en VXI, PXI o CompactRIO y realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real. De este modo, cuando se ejecuta un programa que funciona como instrumento virtual o VI (Virtual Instruments), el usuario ve en la pantalla de su ordenador un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. A partir de los datos reflejados en el panel frontal, el VI debe actuar recogiendo o generando señales, como lo haría su homólogo físico.

### 2.3.3 PROGRAMACION GRÁFICA .ENTORNO LABVIEW

Hasta hace poco la construcción de un Instrumento Virtual (VI) se llevaba a cabo con paquetes software y la incorporación de elementos gráficos, que simplificaban la tarea de programación y de elaboración del panel frontal. Pero el cuerpo del programa seguía siendo texto, lo que suponía una inversión importante de tiempo en detalles de programación. Con la llegada de software de programación gráfica Labview de National Instruments el proceso de creación de un VI se simplificó notablemente, minimizándose el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. Según van actualizando nuevas versiones de Labview aparecen nuevas herramientas que facilitan y aceleran la programación de VI, y demás tipos de aplicaciones.

Cuando se crea un VI en Labview trabajamos con dos ventanas: Una que se implementara en el panel frontal (Figura 2.3) y otra llamada diagrama de bloques, que soportara el nivel de programación (Figura 2.4). Para la creación del panel frontal se dispone de una librería de controles e indicadores de todo tipo y la posibilidad de crear más, diseñados por el propio usuario.

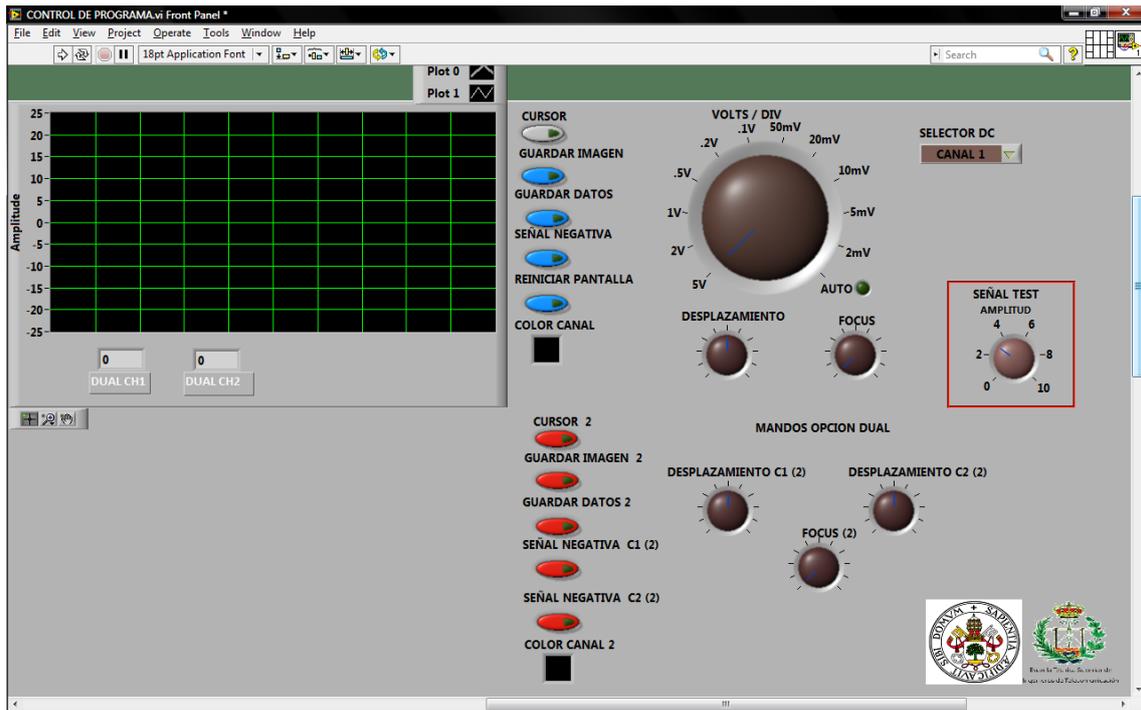


Figura 2.3. Panel Frontal Labview

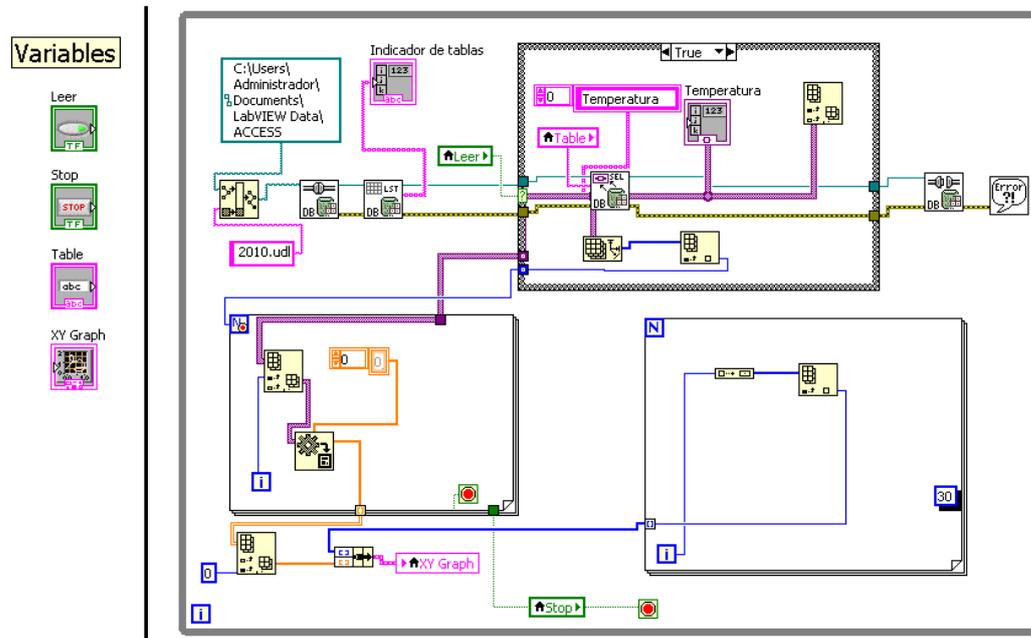


Figura 2.4. Diagrama de bloques Labview

### 2.3.4 SISTEMAS DE MEDIDA

A través del Labview vamos a poder diseñar, un instrumento virtual capaz de adquirir, procesar, analizar y generar señales eléctricas de diversa índole. Un VI podrá gestionar varios elementos hardware.

Los sistemas de medida aparecen en infinidad de campos de la Ingeniería: Procesado de señal, Química Analítica Instrumental, Equipos de medida electrónicos...Conociendo el sistema físico donde se deben realizar las medidas o sobre qué magnitudes se debe actuar, podremos realizar nuestro Instrumento Virtual tan solo con colocar los transductores correctos y una adaptación de señales a las placas de adquisición.

### 2.3.5 COMPONENTES DE UN PROGRAMA EN LABVIEW

Los programas creados en Labview reciben el nombre de Instrumentos Virtuales VI, como ya se indicó. Tras esto, cada VI consta de tres componentes que seguidamente enumeramos:

- Un panel Frontal (Front Panel). Es la interface de usuario.
- Un Diagrama de Bloques (Block Diagram).Contiene el código fuente gráfico que define la funcionalidad del VI.
- Icono y conector. Identifica a cada VI, de manera que podemos utilizarlo dentro de otro VI. Un VI dentro de otro VI recibe el nombre de subVI. Sería como una subrutina en un lenguaje de programación basado en texto.

#### 2.3.5.1 PANEL FRONTAL

El panel frontal se construye a base de controles e indicadores, los cuales no son más que los terminales de entrada y salida, respectivamente, del VI. Como controles podemos tener knobs y dials (botones rotatorios), push buttons (pulsadores) y otros dispositivos de entrada. Como indicadores tenemos graphs (graficas), leds y otros visualizadores. Los controles simulan elementos de entrada al instrumento y proporcionan datos al diagrama de bloques. Los indicadores simulan elementos de salida del instrumento y visualizan los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

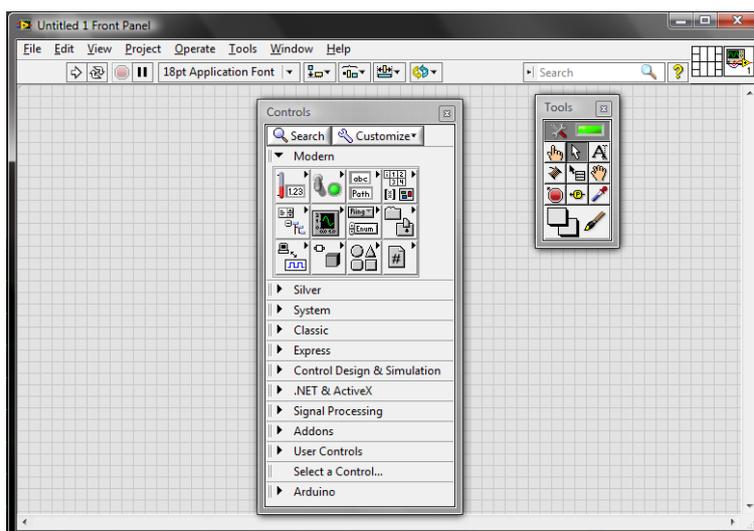


Figura 2.5. Panel Frontal Labview (Controls y Tools)

### 2.3.5.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

Una vez hemos construido el panel frontal, desarrollamos el código usando unas representaciones gráficas de funciones que controlarán los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques es quien contiene este código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques, pero no podemos eliminarlos desde aquí. La única manera de que desaparezca un terminal es eliminando su correspondiente objeto (control o indicador) en el panel frontal.

Se puede conmutar entre ambas pantallas con el comando Show Panel/Show Diagram (Mostrar Panel/Mostrar Diagrama) del menú Window. Usando los comandos Tile, dentro de ese mismo menú podemos posicionar el panel frontal y el diagrama de bloques uno al lado del otro o uno encima del otro.

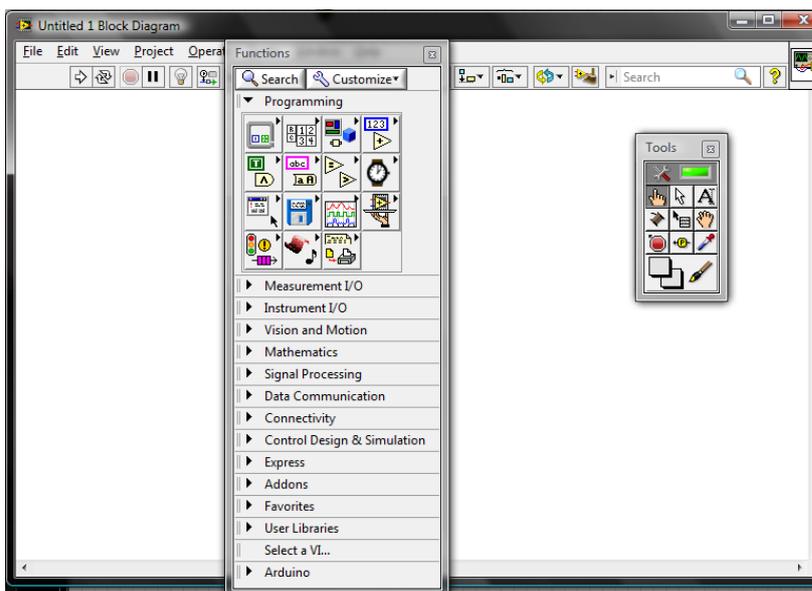


Figura 2.6. Diagrama de Bloques (Funciones)

### 2.3.6 TIPOS DE DATOS DE LABVIEW

Labview ofrece una gran variedad de datos con los que podemos trabajar dependiendo de las necesidades reales. Uno de los aspectos más interesantes de Labview es la diferenciación que efectúa en el diagrama de bloques entre los diferentes tipos de controles e indicadores, basada en que cada uno de ellos tiene un color propio. Siendo así muy fácil distinguir el tipo de dato que representa, el control o indicador.

Los diferentes tipos de datos se explicarán a continuación:

- **Boolean** (verde claro): Son enteros de 16 bits. El bit más significativo nos indicará el valor. El bit 15 igual a 1 (Verdadero), y si es 0 (Falso).
- **Numéricos**. Hay diferentes tipos:
  - Extended (naranja): Son números de coma flotante de doble precisión de 128 bits.
  - Double (naranja): Son números de coma flotante de doble precisión de 64 bits.
  - Single (naranja): Son números de coma flotante de simple precisión de 32 bits.
  - Long Integer (azul): Son números enteros largos de 32 bits, con o sin signo.
  - Word Integer (azul): Son números enteros de 16 bits, con o sin signo.
  - Byte Integer (azul): Son números enteros de 8 bits, con o sin signo.
  - Unsigned Long (azul): Número entero largo sin signo.
  - Unsigned Word (azul): Palabra sin signo.

- Unsigned Byte (azul): Byte sin signo.
  - Complex Extended (naranja): Número complejo con precisión extendida.
  - Complex Double (naranja): Complejo con precisión doble.
  - Complex Single (naranja): Complejo con precisión simple.
- **Arrays** (depende del tipo de datos que contenga)  
Labview almacena el tamaño de cada dimensión de un array como long integer seguido por el dato.  
Los arrays booleanos se almacenan de manera diferente a los booleanos escalares. Estos bits se almacenan como bits empaquetados. El tamaño de la dimensión viene dado en bits en lugar de bytes.
  - **Strings** (rosa): Almacena los strings como si fueran un array uni-dimensional de bytes enteros (caracteres de 8 bits).
  - **Handles** : Es un puntero que apunta a un bloque de memoria relocizable
  - **Paths** (verde oscuro): Almacena las componentes tipo y número de un path en palabras enteras, seguidas inmediatamente por las composiciones del path.
  - **Cluster** (marrón o rosa): Un cluster almacena diferentes tipos de datos de acuerdo a las siguientes normas
    - Los datos escalares se almacenan directamente en el cluster.
    - Los arrays, strings, handles y paths se almacenan indirectamente.

### 2.3.7 PROGRAMACION ESTRUCTURADA

A la hora de programar, muchas veces es necesario ejecutar un mismo conjunto de sentencias un número determinado de veces, o que estas se repitan mientras se cumplan ciertas condiciones. También puede ocurrir que queramos ejecutar una y otra sentencia dependiendo de las condiciones fijadas o simplemente forzar que unas se ejecuten siempre antes que otras.

- For Loop: Una operación se repetirá un determinado número de veces.
- While Loop: Una operación se repetirá mientras una determinada condición sea cierta o falsa.
- Case Structure: Tendremos diversos casos, que se seleccionaran mediante un mando de selección (solo se podrá seleccionar un caso a la vez).
- Sequence Structure: Se tendrán diferentes su subdiagramas que se ejecutaran secuencialmente.

### 2.3.8 VISUALIZACION DE DATOS

Cuando se quiere representar los resultados obtenidos para tener una mayor compresión, Labview dispone de varios gráficos, los más usados son:

- Waveform Chart: Muestra una o más graficas, retiene un cierto número de datos definidos por nosotros mismos. Los nuevos datos se añaden a lado de los ya existentes.
- Waveform Graph: Representa una serie de valores Y equiespaciados dado siempre una distancia de X ( $\Delta X$ ) comenzando a partir de un valor  $X_0$ . Los nuevos datos reemplazan los ya existentes.
- Waveform XY: En este tipo de gráficos podremos manipular los ejes X e Y.

### 2.3.9 LABVIEW + ARDUINO. LIFA (Labview Interface For Arduino).

#### 2.3.9.1 INTRODUCCIÓN

La LIFA (Interfaz de Labview para Arduino) [30] es una caja de herramientas de descarga gratuita que permite a un desarrollador de Labview obtener fácilmente datos de entrada y salida de un microcontrolador Arduino. La arquitectura básica que hay detrás es un motor de E / S programada para el Arduino que espera órdenes de serie de Labview y responde con los datos solicitados o de acción.

Son muchas sus ventajas. Las más importantes: libre difusión, patentes por desarrollo libres de costos y creación de una gran comunidad de usuarios que está generando una amplia cantidad de aplicaciones.

La participación de una empresa como NI National Instruments en este proyecto de desarrollo de aplicaciones Software para Arduino pone de manifiesto el gran interés de la herramienta. Otras empresas que han participado en este proyecto son: Google con sus aplicaciones escritas en lenguaje Android, Telefónica con el desarrollo de una tarjeta para programar desde telefonía móvil, y otras compañías.

#### 2.3.9.2 ALGUNAS PREGUNTAS SOBRE LA INTERFACE LIFA

1. **¿Qué es la interfaz de LabVIEW para Arduino?** La interfaz de LabVIEW para Arduino (LIFA) Toolkit Free Toolkit es un conjunto de herramientas gratuitas que permiten a los desarrolladores adquirir datos desde el microcontrolador Arduino y procesarlo en el entorno de programación gráfica de LabVIEW.
2. **¿Qué versiones del entorno LabVIEW permiten la conexión con Arduino?** La interfaz de LabVIEW para Arduino es actualmente compatible con cualquier versión de Windows o Mac OS que soporta LabVIEW 2009 o posterior. El kit de herramientas también funcionan en cualquier versión de Linux que soporta LabVIEW 2009 o posterior, sin embargo actualmente no existe un instalador (JKI VI Package Manager) para Linux. JKI está trabajando actualmente en VIPM 2010 para Linux, que estará disponible aquí cuando haya terminado.
3. **¿Qué versión de LabVIEW Qué necesito para utilizar la interfaz de LabVIEW para Arduino?** 2009 o posterior.
4. **¿Qué hardware es necesario para utilizar la interfaz de LabVIEW para Arduino?** Para empezar, el único hardware que se necesita es una tarjeta Arduino, cable USB y un ordenador con LabVIEW y la interfaz de LabVIEW para Arduino. La interfaz de LabVIEW para Arduino fue desarrollado y probado usando Arduino UNO y Arduino MEGA 2560
5. **Dónde se puede obtener soporte para la interfaz de LabVIEW para Arduino?** La interfaz de LabVIEW para Arduino no está soportada por teléfono, correo electrónico, o de otra manera.
6. **¿Puedo implementar el Código de LabVIEW a mi Arduino?** No. En este momento no es posible implementar el Código de LabVIEW para la placa Arduino. Solo es posible utilizar la interfaz de LabVIEW para Arduino para comunicarse con la placa Arduino utilizando LabVIEW en modo "esclavo" On-line.

7. **¿Puedo agregar mis propios sensores a la interfaz de LabVIEW para Arduino?** Sí. Tanto el firmware y el VIS son de código abierto pensado para la personalización.
  
8. **¿Cómo funciona la interfaz de LabVIEW para Arduino (LIFA) de trabajo?** En pocas palabras, la interfaz de LabVIEW para Arduino envía paquetes de datos de LabVIEW para Arduino. Arduino procesa los paquetes y envía paquetes de retorno. Los paquetes de retorno se analizan por LabVIEW para proporcionar información útil para el usuario final. Cada paquete es de 15 bytes por defecto y contiene un encabezado, un byte de comando, los bytes de datos, y una suma de comprobación. La longitud del paquete se puede cambiar para adaptarse a aplicaciones específicas mediante la modificación del firmware y especificar el tamaño del paquete a la VI Init en LabVIEW (La mayoría de los usuarios no tendrán que hacer esto). El firmware LIFA en el Arduino procesa los paquetes, asegurando que los datos no se han dañado durante la transmisión. A continuación, una vez leído el paquete, comprueba el byte de comando y ejecuta las instrucciones con los bytes de datos proporcionados basándose en el byte de comando.

## 2.4 OSCILOSCOPIO

### 2.4.1 INTRODUCCION

En el siguiente apartado: se describirá brevemente la arquitectura y el uso de un osciloscopio [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37], se indicarán los tipos de osciloscopios que existen en el mercado y se verá la necesidad de este dispositivo de medida en un laboratorio.

El osciloscopio es un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.

Un ejemplo sería la siguiente imagen.

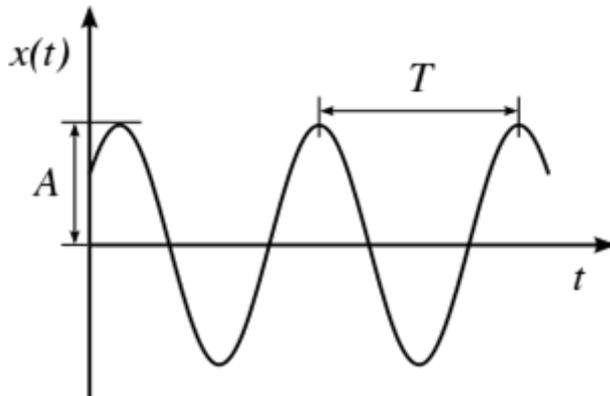


Figura 2.7. Ejemplo de señal que varía en el tiempo

Un osciloscopio es un instrumento muy versátil, y que, utilizando el transductor idóneo en cada caso, puede tener múltiples usos.

El osciloscopio presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen obtenida se denomina oscilograma. Las escalas de los dos ejes se pueden cambiar de manera independiente el uno del otro para proporcionar una mejor medida de la señal.

Los osciloscopios están clasificados según su funcionamiento interno, pudiendo ser analógicos o digitales, siendo el resultado mostrado idéntico, en teoría.



Figura 2.8. Ejemplo de osciloscopio

### 2.4.2 CARACTERISTICAS

Cualquier osciloscopio básico debe presentar al menos las siguientes características.

Debe ser capaz de representar señales continuas y alternas, pudiendo medir su valor de pico, medio y eficaz (rms).

Debe tener los siguientes controles:

- Selector de AC/GND/DC
- Mando de Amplitud (Voltios/División)
- Base de tiempos (Segundos/División)
- Selector de canal a visualizar
- Sincronismo de la muestra de disparo o trigger

### 2.4.3 TIPOS DE OSCILOSCOPIOS

Los osciloscopios se clasificarán en analógicos y digitales.

Los analógicos trabajan en variables continuas, es decir, toman directamente los datos de la entrada y los representan reflejando un haz de rayos catódicos sobre una pantalla fosforescente.

Los digitales trabajan con valores discretos, es decir, una aproximación codificada de los datos conectados a su entrada.

#### 2.4.3.1 OSCILOSCOPIO ANALOGICO

El funcionamiento del osciloscopio analógico es el siguiente:

La señal atraviesa la sonda y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de dónde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal o la amplificaremos. Tras este bloque, se pasará al bloque de deflexión vertical y que será el encargado de desviar el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical. Se representará hacia arriba respecto a la referencia GND si la tensión es positiva y hacia abajo si la señal es negativa.

La señal también atravesará la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (que será el encargado de mover el haz de electrones desde la izquierda a la parte derecha en un determinado tiempo). Este trazado se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal, y puede ser regulable en tiempo gracias al mando TIME-BASE.

De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y la deflexión vertical traza la gráfica de la señal en la pantalla.

La sección de disparo es necesaria para estabilizar señales repetitivas.

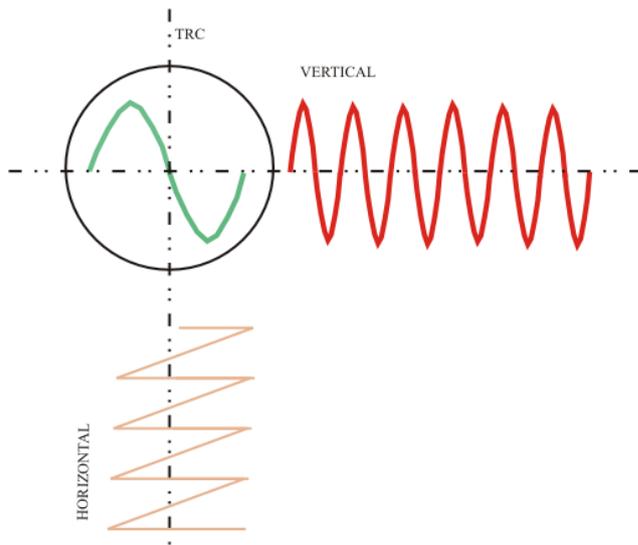


Figura 2.9. Barrido horizontal osciloscopio

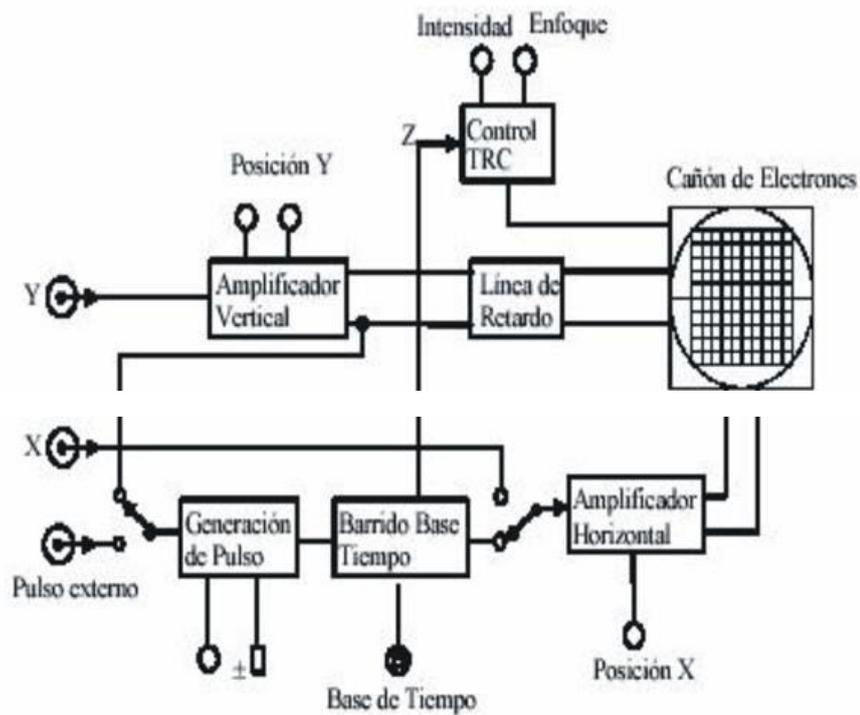


Diagrama de bloques de un osciloscopio analógico.

Figura 2.10. Diagrama de bloques de un osciloscopio analógico



**2.4.4 PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE UN OSCILOSCOPIO**

- **ANCHO DE BANDA:** Especifica el rango de frecuencias en las que el osciloscopio puede medir con precisión. Por convenio el ancho de banda se calcula desde 0Hz(continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70,7% del valor aplicado a la entrada ( corresponde atenuación de 3dB).
- **TIEMPO DE SUBIDA:** Es el otro parámetro que nos indicará, la máxima frecuencia de utilización del osciloscopio. Es importante para poder medir con fiabilidad pulsos y flancos.
- **SENSIBILIDAD VERTICAL:** Indica la facilidad del osciloscopio para amplificar señales débiles.
- **VELOCIDAD:** Este parámetro indica la velocidad máxima del barrido horizontal.
- **EXACTITUD EN LA GANANCIA:** Indica la precisión con la cual el sistema vertical del osciloscopio amplifica o atenúa la señal.
- **EXACTITUD DE LA BASE DE TIEMPOS:** Indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal del osciloscopio para visualizar el tiempo.
- **RESOLUCION VERTICAL:** Se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del convertidor A/D del osciloscopio digital. Nos indica con qué precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria.

## 2.4.5 OSCILOSCOPIOS USADOS EN EL PROYECTO

En este apartado presentaremos los osciloscopios usados en el proyecto e indicaremos sus especificaciones.

Se usaran dos modelos de osciloscopios uno que es usado en laboratorios de investigación (Agilent DSO-X 3104A) y otro que es usado en la docencia (Kenwood CS-4125A).

### 2.4.5.1 OSCILOSCOPIO AGILENT DSO- X 3104A

En este apartado se indicaran las especificaciones del osciloscopio indicado [38][39].

#### ESPECIFICACIONES

- Ancho de Banda: 1GHz
- Canales analógicos:4 canales
- Canales Digitales: 16
- Velocidad de muestreo: 5 Gmuestras/s
- Anchura de pulso mínima detectable 5 ns
- Rango de frecuencia:
  - ACRms 20 Hz-100kHz
  - DCRms 20 Hz-100kHz
  - Contador de frecuencia :1 Hz – BW del osciloscopio
- Rango vertical:
  - Modelo de 1 GHz: de 1 mV/div a 5 V/div (1 M $\Omega$ )
- Precisión vertical:
  - ACRms [Precisión de ganancia vertical DC + 0,5% escala completa]
  - DCRms [Precisión de ganancia vertical DC + precisión de desviación vertical DC + 0,25% escala completa].
  - DC [Precisión de ganancia vertical DC + precisión de desviación vertical DC + 0,25% escala completa].
- Pantalla WVGA de 8,5 pulgadas
- Tipos de disparo: flanco, borde a borde, ancho de pulso, patrón, O tiempo de elevación/caída, ráfaga de borde Nth, pequeño, configuración y espera, video y USB.
- Formas de onda matemáticas: sumar, restar, multiplicar, FFT, d/dt, integral y raíz cuadrada
- Generador de formas de onda por licencia incorporado con: arbitraria, sinusoidal, cuadrada, rampa, pulso, CC, ruido, seno cardenal, elevación exponencial, caída exponencial, cardíaco, pulso gaussiano.
- Los puertos USB simplifican las tareas de imprimir, guardar y compartir datos.
- Voltímetro Digital
- PRECIO:3500€

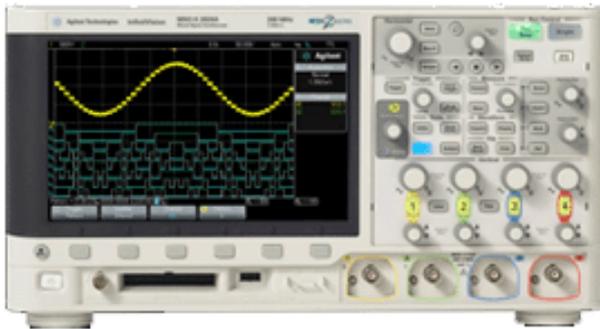


Figura 2.13. Osciloscopio AGILENT DSO- X 3104A

### 2.4.5.2 OSCILOSCOPIO KENWOOD CS-4125A

En este apartado se indicaran las especificaciones del osciloscopio indicado [40]

#### ESPECIFICACIONES

- Ancho de banda 20MHz
- Canales Analógicos: 2 Canales
- Sensibilidad: 1mV/Div (CC a 5MHz)
- Velocidad de barrido: 20ns/Div
- Tipos de disparo: externo ,line, vertical, ch1, ch2
- Trigger Level
- Modo:X-Y
- PRECIO: 200€



Figura 2.14. Osciloscopio Kenwood CS-4125A

## 2.5 MULTÍMETROS

### 2.5.1 INTRODUCCION

En el siguiente apartado se explicará en detalle el funcionamiento y las características de los multímetros.

Un multímetro [41], también llamado polímetro o tester, es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas como corrientes, tensiones, resistencias, capacidades y otras. En la actualidad hay polímetros que pueden medir otras magnitudes como ganancia de los transistores (hfe), frecuencia e impedancia. En los siguientes puntos explicaré como hace las diferentes medidas.

### 2.5.2. MEDIDAS DE TENSION

Estas tensiones podrán ser:

- Tensiones continuas (D.C) donde se tendrá exactitud de las medidas.
- Tensiones alternas (A.C) .Las medidas que se obtendrán serán (tensión media y tensión eficaz) pero estas medidas las tomarán como si todas las señales a medir fueran senoidales periódicas, cometiendo con ello un error cuando las señales a medir no sean senoidales periódicas. Esto se razonará a continuación:

La ecuación de una señal senoidal es la siguiente:

$$V(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

A= Valor máximo de la señal

F=Frecuencia en Hercios

$\Phi$ = Angulo de desfase.

A continuación se deduce la ecuación del valor máximo y el medio válido para cualquier señal:

- **VALOR EFICAZ O VALOR CUADRATICO MEDIO ( $V_{RMS}$ )**

$$V_{RMS} = \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} [V(t)]^2 dt$$

$V_{RMS}$ = Valor cuadrático medio

V (t)=Ecuación de la señal

T=Periodo de la señal.

- **VALOR MEDIO ( $V_m$ )**

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T [V(t)] dt$$

$V_m$ = Valor medio

T=Periodo

V (t)= Ecuación de la señal

Esto nos indicaría la señal continua que obtendríamos al rectificar la señal.

En el caso de una señal alterna, estas dos ecuaciones se transforman en la siguiente:

$$V_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad V_m = \frac{2A}{\pi}$$

$V_m$ = Valor medio

$V_{ef}$ = Valor eficaz

A=Amplitud

Los voltímetros de gama baja media tratan todas las señales como si fuesen senoidales con los correspondientes errores.

Para evitar esto se desarrollan los voltímetros de verdadero valor eficaz y de verdadero valor medio que son instalados en los multímetros de gama alta. Éstos calculan el valor eficaz y el medio aplicando la ecuación general y no la que se deduce de la señal senoidal.

### **2.5.3. MEDIDAS DE INTENSIDAD**

Sucedirá exactamente lo mismo que se ha explicado en el apartado anterior.

### **2.5.4 MEDIDAS DE RESISTENCIA**

Para poder obtener esta medida usaremos la siguiente expresión:

$$R = \frac{V}{I}$$

R= Resistencia (ohmios)

V=Tensión (Voltios)

I=Corriente (Amperios)

A esta expresión se le denomina expresión de Ohm.

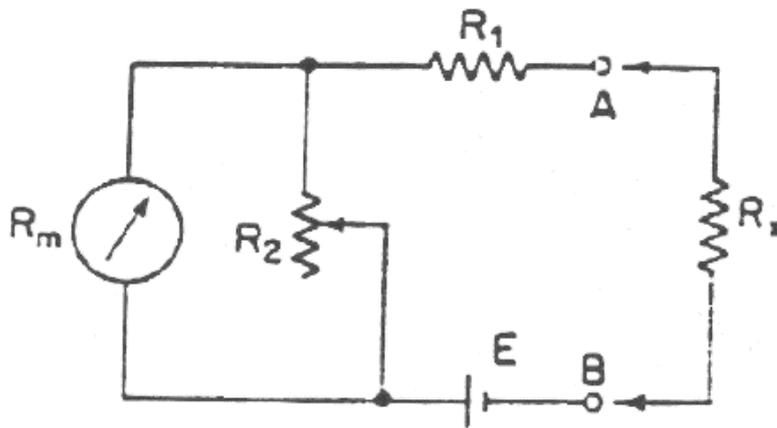


Figura 2.15. Esquema interno de un óhmetro

$R_m$ = Galvanómetro (Visualizador de la medida).

$E$ = Batería que aplica una señal continua a la resistencia a medir.

$R_1$ = Resistencia limitadora de corriente para el galvanómetro.

$R_2$ = Resistencia de ajuste.

$R_x$ = Resistencia a medir.

### 2.5.5 TIPOS DE MULTIMETROS

Los multímetros se clasifican según representan la medida tomada: Analógicos y Digitales.

#### 2.5.5.1 MULTIMETROS ANALOGICOS

Estos representarán la medida a través de la indicación de una aguja en una escala graduada.



Figura 2.16. Multímetros Analógicos

#### 2.5.5.2 MULTIMETROS DIGITALES

Éstos representarán la medida por un valor numérico seguido de su magnitud en un display.



Figura 2.17. Multímetros Digitales

## 2.5.6 MULTIMETRO USADO EN EL PROYECTO

En este apartado presentaremos los osciloscopios usados en el proyecto e indicaremos sus especificaciones.

### 2.5.6.1 MULTIMETRO ISO- TECH IDM 203

En este apartado se indicaran las especificaciones del multímetro indicado [42].

#### ESPECIFICACIONES

- Frecuencia máxima: 1KHz
- Funciones medidas: Corriente AC, Tensión AC, Capacitancia, Continuidad, Corriente DC, Tensión DC, Diodo, Frecuencia, Resistencia.
- Capacidad máxima: 40uF.
- Medición máxima AC max.:10 A
- Medición corriente DC máx.: 10 A
- Medición Resistencia máx.: 40M $\Omega$
- Medición Voltaje máx.(AC/DC): 600V
- Precisión máx. Capacitancia:  $\pm 1\% + 4$  dígitos
- Precisión máx. Resistencia:  $\pm 1,5\% + 2$  dígitos
- Precisión máx. Tensión AC:  $\pm 1,5\% + 5$  dígitos
- Precisión máx. Tensión DC:  $\pm 0,5\% + 2$  dígitos
- PRECIO: 300€



Figura 2.18. Multímetro ISO-TECH IDM 203

## PARTE 2 TRABAJO DESARROLLADO

### CAPITULO 3

#### DESARROLLO TEORICO

**RESUMEN:** En este capítulo se va a indicar y explicar el trabajo desarrollado hasta conseguir el diseño del osciloscopio virtual (OV) y el multímetro virtual (MV). Se explicarán los diferentes módulos de los que consta el Osciloscopio Virtual y el Multímetro Virtual. También se explicarán las limitaciones de estos dos instrumentos virtuales.

#### 3.1 OSCILOSCOPIO VIRTUAL

##### 3.1.1 INTRODUCCION

En el siguiente apartado se explicará el diseño empleado para construir el osciloscopio virtual. Este se ha construido con un hardware (Arduino como tarjeta de adquisición) y software (Labview 2011).

##### 3.1.2 ARQUITECTURA DEL OSCILOSCOPIO VIRTUAL

El osciloscopio virtual, tendrá la función de medir las variaciones de las señales frente al tiempo. Estas señales son introducidas a través de la entrada del Arduino.

Para poder diseñar el osciloscopio virtual se usará el Arduino Uno (Tarjeta de Adquisición), un circuito sumador (mediante el amplificador operacional 741) y un Pc. Tendremos una serie de limitaciones que se explicarán en el apartado "Limitaciones".

Un osciloscopio debería tener los siguientes controles:

- Mando base de Tiempos (Tiempo/División)
- Mando de Amplitud (Voltios/División)
- Pantalla donde se visualizará la señal obtenida
- Sincronismo Trigger

El osciloscopio diseñado tiene los controles indicados anteriormente, salvo el sincronismo Trigger que se dejará para futuros trabajos.

Pero por el contrario se han añadido otra serie de controles extra, que se indican a continuación:

- Dos Canales
- Opción de guardar la imagen que está siendo representada en la pantalla.
- Opción de guardar los datos obtenidos en un documento Excel.
- Señal de Test, para comprobar el correcto funcionamiento.
- Control focus (Intensidad del haz de la señal en la pantalla)
- Control desplazamiento (Desplazar la señal obtenida en el eje Y de la pantalla)
- Opción de poder cambiar de color la señal obtenida por cada canal

- Opción de visualizar en pantalla:
  - Canal 1
  - Canal 2
  - Dual (Canal 1 y Canal 2)
  - Suma (Canal 1 + Canal 2)
  - Señal de Test

Como está indicado anteriormente, hay otros controles que se dejarán para futuros trabajos como:

- Sincronismo (Trigger)
- Modo XY (Canal 1 en función del canal 2)
- Ampliar el número de canales

El diagrama de flujo que se construyó para realizar el diseño del osciloscopio virtual es:

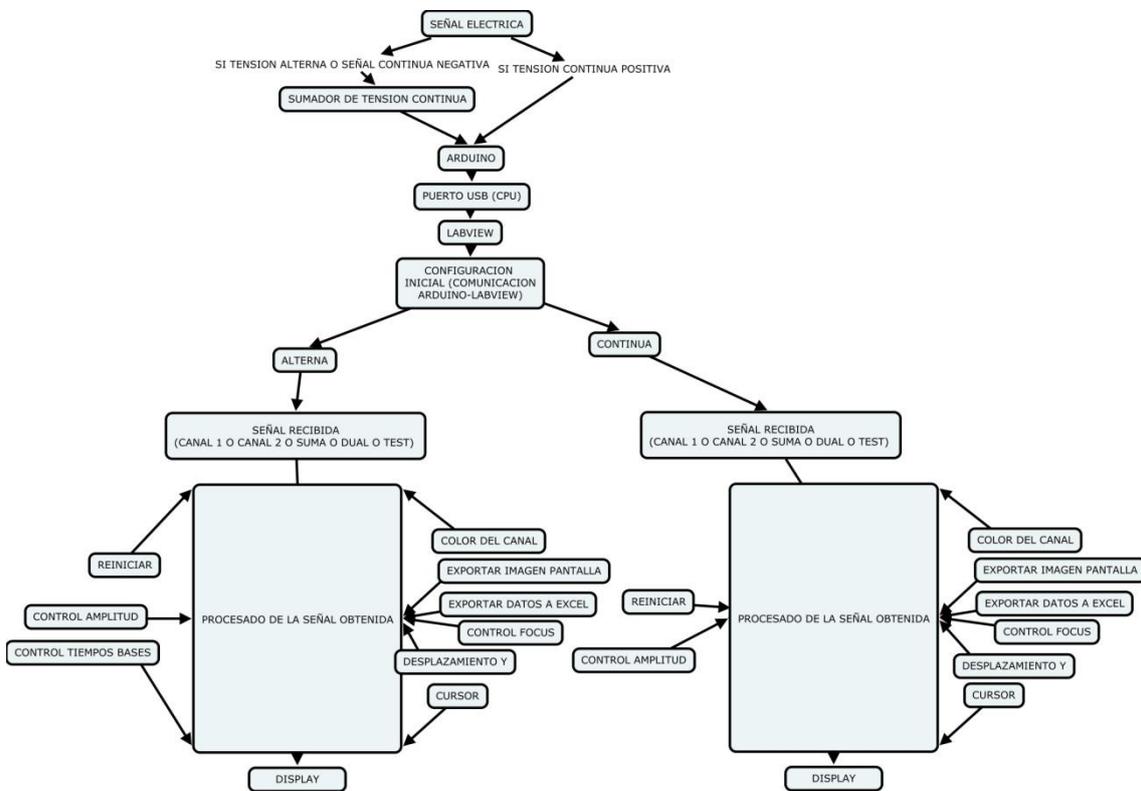


Figura 3.1. Diagrama de Flujo Osciloscopio Virtual

## 3.1.3 PANEL FRONTAL DEL OSCILOSCOPIO VIRTUAL

## 3.1.3.1 TENSION CONTINUA

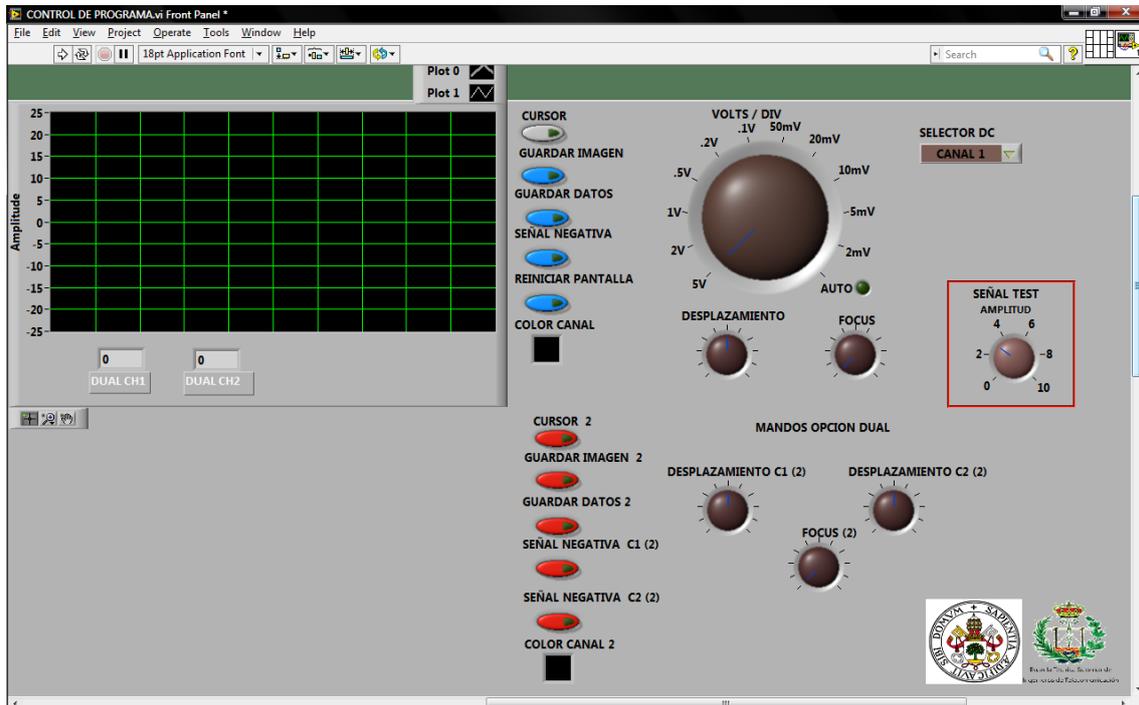


Figura 3.2. Panel Frontal Osciloscopio Virtual (Tensión Continua)

## CONTROLES

- **Selector DC:** Selecciona entre Canal 1, Canal 2, Dual, Suma o Señal Test.
- **Cursor:** Hace visible el cursor en pantalla.
- **Cursor 2:** Hace visible el cursor en pantalla opc.Dual.
- **Guardar Imagen:** Guardar imagen pantalla en .jpg.
- **Guardar Imagen 2:** Lo mismo en opc.Dual.
- **Guardar Datos:** Guardar datos en un documento Excel.
- **Guardar Datos 2:** Lo mismo en opc.Dual.
- **Señal Negativa:** Resta la señal continua sumada.
- **Señal Negativa C1 y C2:** En la opción Dual, restan la señal continua respectivamente del canal 1 y el canal2.
- **Reiniciar Pantalla:** Reiniciar los datos de la pantalla.
- **Reiniciar Pantalla 2:** Lo mismo en opc.Dual.
- **Color Canal:** Selecciona color del haz de la señal.
- **Color Canal 2:** Lo mismo en opc.Dual.
- **Volts/Div:** Selecciona el rango de amplitud.
- **Amplitud (Señal Test):** Selecciona la amplitud de la señal test.
- **Desplazamiento:** Desplaza la señal en el eje Y.
- **Desplazamiento C1 y C2:** En la opción Dual, desplazan respectivamente el canal 1 y el canal2 en el eje Y.
- **Focus:** Regula la intensidad del haz.
- **Focus 2:** Lo mismo, pero en la opc.Dual.

## 3.1.3.2 TENSION ALTERNA

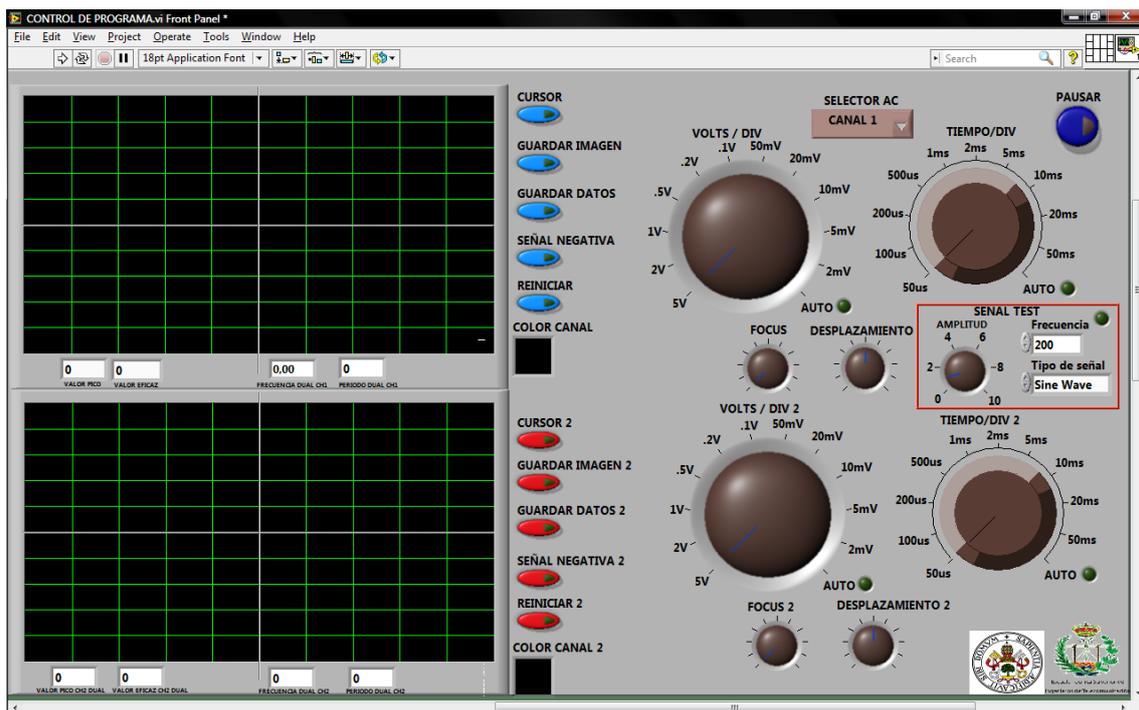


Figura 3.3. Panel Frontal Osciloscopio Virtual (Tensión Alterna)

## CONTROLES

- **Selector AC:** Selecciona entre Canal 1, Canal 2, Dual, Suma o Señal Test.
- **Cursor:** Hace visible el cursor en pantalla.
- **Cursor 2:** Hace visible el cursor en pantalla opc.Dual.
- **Guardar Imagen:** Guardar imagen pantalla en .jpg.
- **Guardar Imagen 2:** Lo mismo en opc.Dual.
- **Guardar Datos:** Guardar datos en un documento Excel.
- **Guardar Datos 2:** Lo mismo en opc.Dual
- **Señal Negativa:** Resta la señal continúa sumada.
- **Señal Negativa2:** Lo mismo en opc.Dual
- **Reiniciar Pantalla:** Reiniciar los datos de la pantalla.
- **Reiniciar Pantalla 2:**Lo mismo en opc.Dual.
- **Color Canal:** Selecciona color del haz de la señal.
- **Color Canal 2:** Lo mismo en opc.Dual
- **Volts/Div:** Selecciona el rango de amplitud.
- **Volts/Div 2:** Lo mismo en opc.Dual(Canal2).
- **Tiempo/Div:** Selecciona rango de tiempos.
- **Tiempo/Div2:** Lo mismo en opc.Dual(Canal2).
- **Amplitud (Señal Test):** Selecciona la amplitud de la señal test.
- **Frecuencia (Señal Test):** Selecciona la frecuencia de la señal test.
- **Tipo de señal (Señal Test):** Selecciona el tipo de la señal test.
- **Desplazamiento:** Desplaza la señal en eje Y.
- **Desplazamiento2:** Lo mismo en opc.Dual (Canal2).
- **Focus:** Regula la intensidad del haz.
- **Focus 2:** Lo mismo, pero en la opc.Dual.
- **Pausa:** Ralentiza la ejecución del programa.

### 3.1.4 MÓDULOS DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

En este apartado se explicarán diferentes módulos del diagrama de bloques, así como su función. Se diferenciarán dos apartados. Uno que explicará los módulos necesarios para adquirir una tensión continua y otro que indicará los módulos necesarios para adquirir la señal alterna.

**Módulo Iniciar Comunicación Arduino y Concluir Comunicación Arduino:** serán comunes en las dos opciones (Continua y Alterna).

Su función será la de comenzar y terminar la comunicación entre Arduino y Labview, respectivamente.

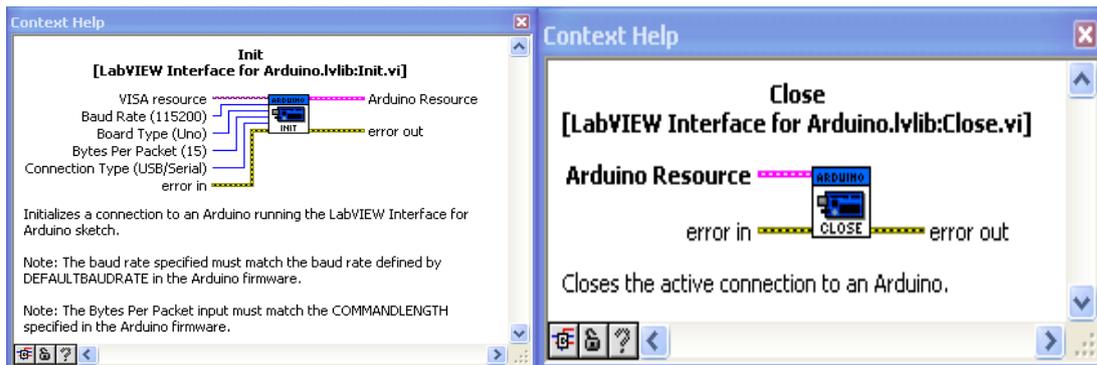


Figura 3.4. Módulo de Iniciar y terminar comunicación de Arduino

#### 3.1.4.1 TENSION CONTINUA

##### Módulo Selector de canal de entrada de la señal obtenida

En este módulo tendremos un selector de casos (Estructura case), donde tendremos 4 casos de acción que son los siguientes:

- Caso 0: Activa pin 0 de entrada del Arduino (Canal 1 del osciloscopio virtual).
- Caso 1: Activa pin1 de entrada del Arduino (Canal 2 del osciloscopio virtual).
- Caso 2: Activa pin 1 y pin 2 de entrada del Arduino, obteniendo la representación de las dos señales. (Dual del osciloscopio virtual).
- Caso 3: Activa pin 1 y pin 2 de entrada del Arduino, obteniendo la suma de las señales que lleguen por dichos pines. (Suma del osciloscopio virtual).
- Caso 4: Genera una tensión continua para testear que funciona correctamente el osciloscopio. (Test del osciloscopio virtual).

En cada caso se obtiene la tensión recibida en voltios de cada señal eléctrica recibida.

Para activar el pin de entrada en cada caso se usa el subvi Analog Read Pin.

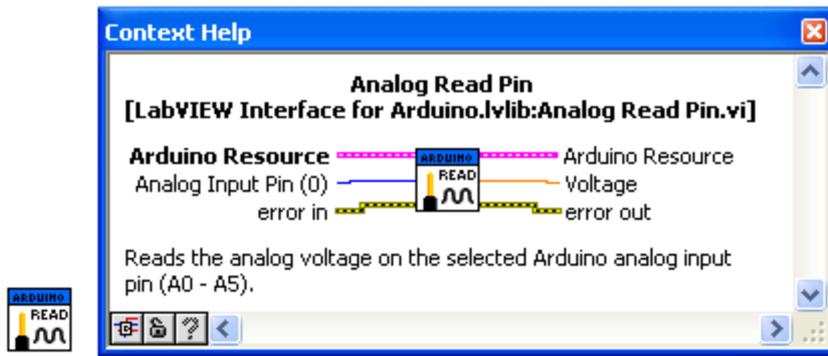


Figura 3.5. Subvi selector pin de entrada (Analog Read Pin)

La siguiente imagen indica el diagrama de bloques del caso 0 (canal 1). El caso 1 (canal 2) será igual lo único que cambiará será el pin de entrada.

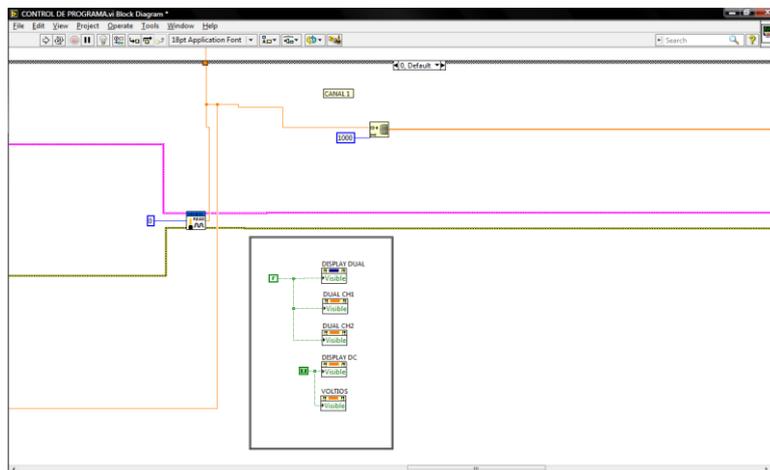


Figura 3.6. Diagrama de bloques del caso 0 (canal 1).

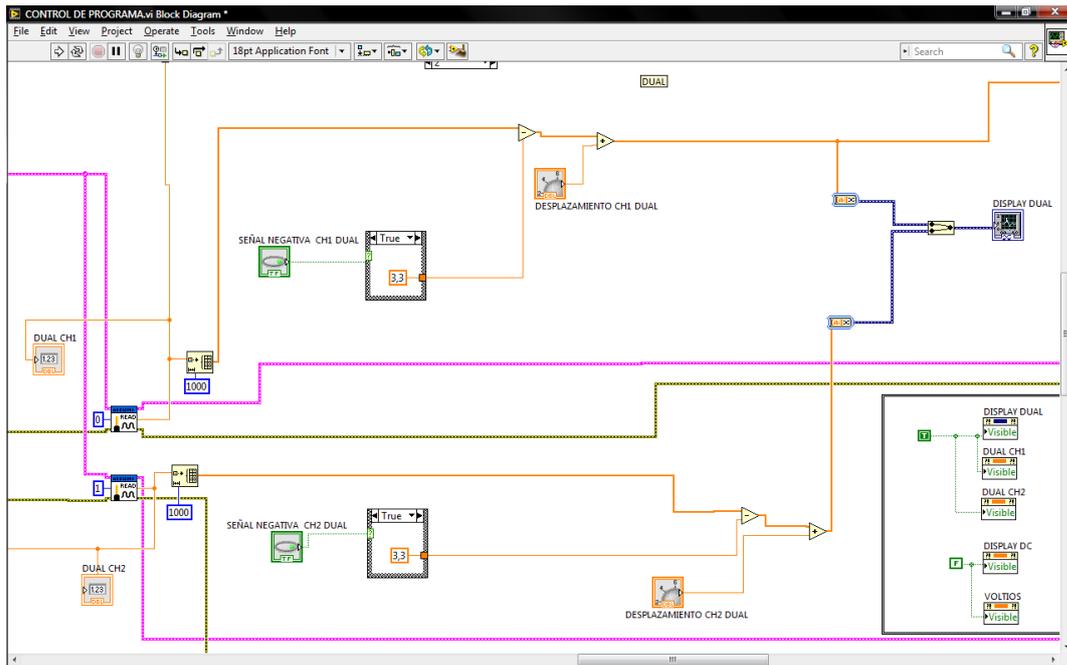


Figura 3.7. Diagrama de bloques del caso 2(Dual).

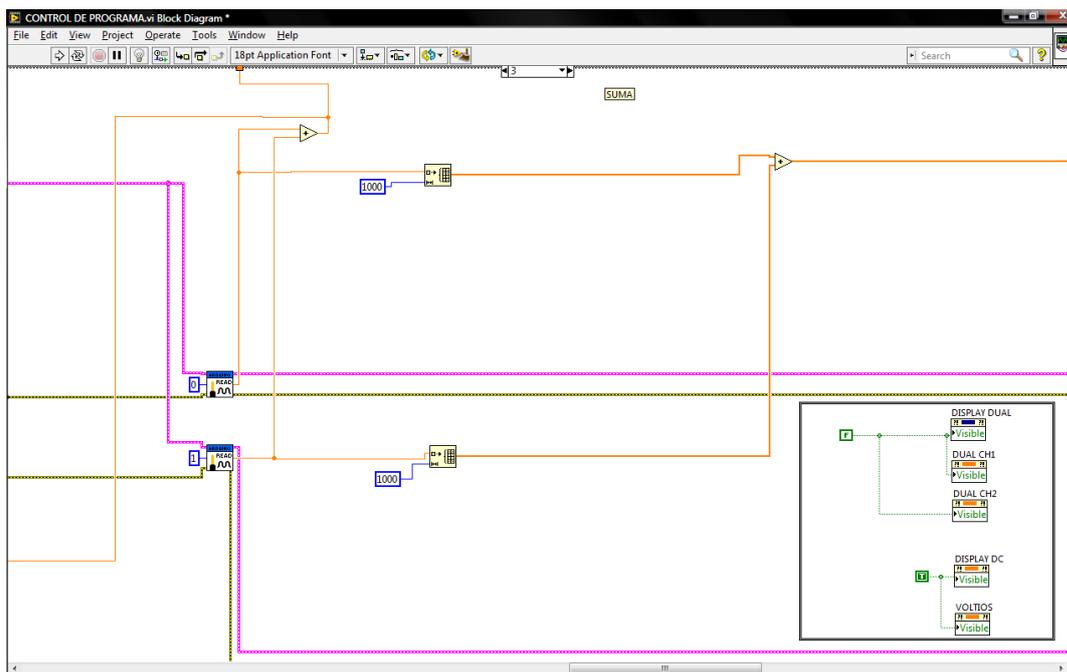


Figura 3.8. Diagrama de bloques del caso 3(Suma).

### Módulo selección de Amplitud (Voltios/División)

El módulo de selección de amplitud, ofrece la posibilidad de amplificar la señal de entrada, posibilitando la medida de señales de baja tensión con un mínimo error, o atenuar una señal de alta tensión para poder verla correctamente por la pantalla.

Dentro de este módulo tenemos 11 casos, con los siguientes:

- Caso 0: 5 voltios/división. Rango:Maximo:25V.Minimo:-25V.Incremento:5V
- Caso 1:2 voltios/división. Rango:Maximo:10V.Minimo:-10V.Incremento:2V
- Caso 2:1 voltios/división. Rango:Maximo:5V.Minimo:-5V.Incremento:1V
- Caso 3: 0,5 voltios/división. Rango:Maximo:2,5V.Minimo:-2,5V.Incremento:0,5V
- Caso 4: 0,2 voltios/división. Rango:Maximo:1V.Minimo:-1V.Incremento:0,2V
- Caso 5: 0,1 voltios/división. Rango:Maximo:0,5V.Minimo:-0,5V.Incremento:0,1V
- Caso 6: 50mV /división. Rango:Maximo:0,25V.Minimo:-0,25V.Incremento:50mV
- Caso 7: 20mV /división. Rango:Maximo:0,1V.Minimo:-0,1V.Incremento:20mV
- Caso 8: 10mV /división. Rango:Maximo:0,05V.Minimo:-0,05V.Incremento:10mV
- Caso 9: 5mV /división. Rango:Maximo:0,025V.Minimo:-0,025V.Incremento:5mV
- Caso 10: 2mV /división. Rango:Maximo:0,01V.Minimo:-0,01V.Incremento:2mV
- Caso 11: Automático, que seleccionara automáticamente el rango adecuado para visualizar correctamente la señal en la pantalla.

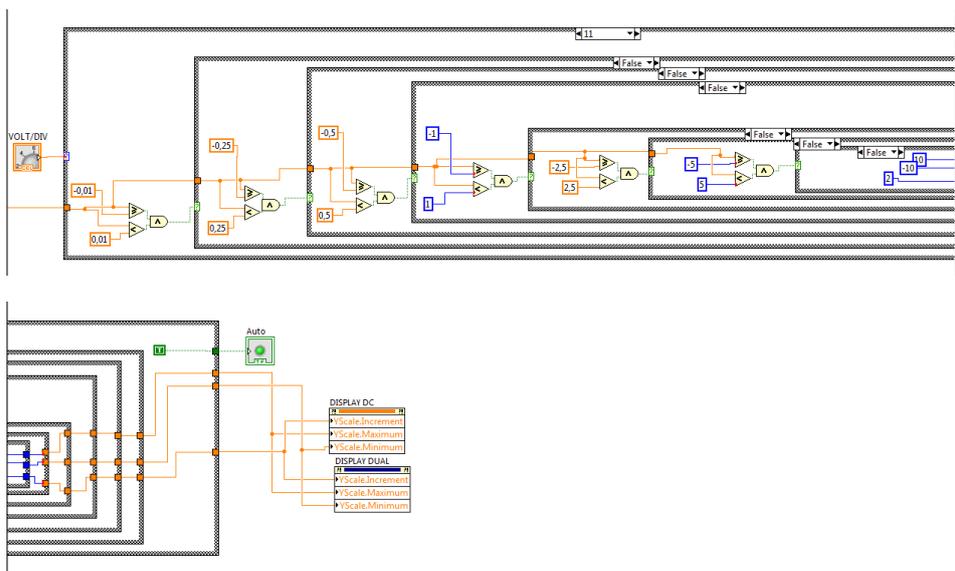


Figura 3.9. Diagrama de bloques caso 11(Automático)

**Módulo exportación datos a Excel**

En este módulo, mediante un control (pulsador), obtendremos los valores de la señal recibida, en un documento de Excel.

Tendremos dos mandos: Guardar Datos funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test. Guardas Datos 2 funcionara en el caso Dual.

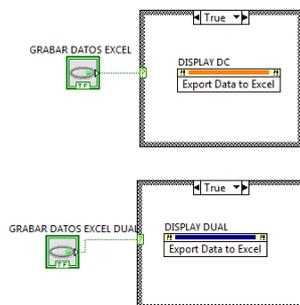


Figura 3.10. Diagrama de bloques exportación de datos a documento Excel

**Módulo exportar imagen de pantalla**

Este módulo generará mediante un control (pulsador) una imagen de la pantalla con el formato JPEG.

Tendremos dos mandos: Guardar Imagen funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test. Guardar Imagen 2 funcionara en el caso Dual.

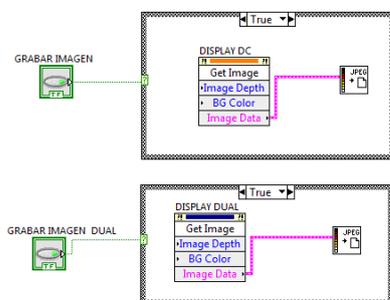


Figura 3.11. Diagrama de bloques para exportar la imagen de la pantalla.

**Módulo de tensión negativa**

Al activar este control restaremos la señal continua introducida a través del sumador. Este se seleccionará cuando tengamos una señal negativa en la entrada. Tendremos tres mandos: Señal Negativa funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test. En el caso Dual, el mando Señal Negativa C1 (2) controlara el canal 1 y el mando Señal Negativa C2 (2) controlara el canal 2.

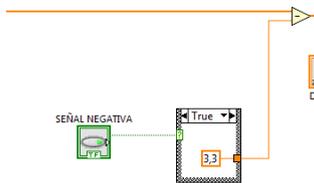


Figura 3.12. Diagrama de bloques para restar tensión continua introducida

**Módulo Color de Canal**

Este módulo permitirá elegir el color con el que se representará la señal recibida en la pantalla. Tendremos dos mandos: Color Canal funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test. Color Canal 2 funcionara en el caso Dual.



Figura 3.13. Diagrama de bloques para cambiar el color de la señal representada.

**Módulo Reiniciar Pantalla**

Al activar el control que indica este módulo, reiniciará la señal de la pantalla. Tendremos dos mandos: Reiniciar Pantalla funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test. Reiniciar Pantalla 2 funcionara en el caso Dual.

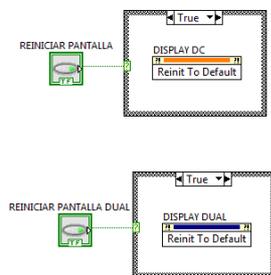


Figura 3.14. Diagrama de bloques para reiniciar pantalla

**Módulo Focus**

Este módulo tendrá un potenciómetro (Dial) que nos permitirá seleccionar la intensidad del haz que representa la señal eléctrica recibida en la pantalla.

Tendremos dos mandos: Focus funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test.  
Focus 2 funcionara en el caso Dual.

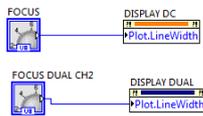


Figura 3.15. Diagrama de bloques para ajustar la intensidad del haz de la señal.

**Módulo Desplazamiento**

Este módulo tendrá un potenciómetro (Dial) que nos permitirá desplazar la señal eléctrica a través del eje Y.

Tendremos dos mandos: Desplazamiento funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test.  
Desplazamiento 2 funcionara en el caso Dual.



Figura 3.16. Diagrama de bloques que desplazara la señal representada en el eje Y

**Módulo Señal de Test**

Con este módulo se generará una tensión continua para testear si el osciloscopio virtual funciona correctamente. Podremos modificar la amplitud de esta señal mediante un potenciómetro (Dial).

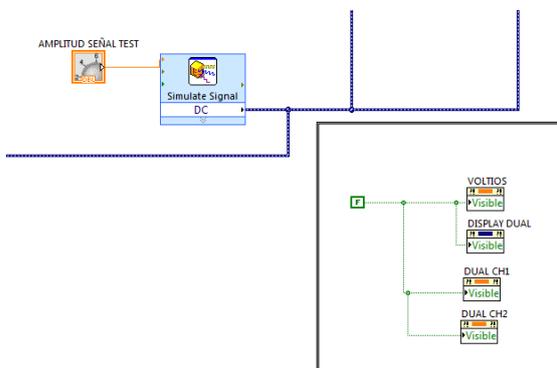


Figura 3.17. Diagrama de bloques que generara una señal test

### Módulo Cursor

Este módulo tendrá un control que al activarlo aparecerá en la pantalla un cursor para los ejes X e Y.

Tendremos dos mandos: Cursor funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test.

Cursor 2 funcionara en el caso Dual.

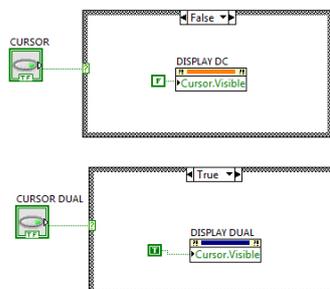


Figura 3.18. Diagrama de bloques que hará visible un cursor en la pantalla.

### Módulo Display

Representará la señal recibida usando Waveform Graph. Se usara este tipo de grafico porque solo necesitaremos controlar las amplitudes (eje Y).

Tendremos dos graficas: Display DC funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test.

Display Dual funcionara en el caso Dual.

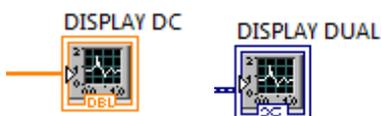


Figura 3.19. Diagrama de bloques que representara la señal recibida.

#### 3.1.4.2 TENSION ALTERNA

##### Módulo Selector de canal de entrada de la señal obtenida

En este módulo tendremos un selector de casos (Estructura case), donde tendremos 4 casos de acción que son los siguientes:

- Caso 0: Activa pin 0 de entrada del Arduino (Canal 1 del osciloscopio virtual).
- Caso 1: Activa pin1 de entrada del Arduino (Canal 2 del osciloscopio virtual).
- Caso 2: Activa pin 1 y pin 2 de entrada del Arduino, obteniendo la representación de las dos señales. (Dual del osciloscopio virtual) donde tendremos dos pantallas una representara el Canal 1 otra el Canal 2.
- Caso 3: Activa pin 1 y pin 2 de entrada del Arduino, obteniendo la suma de las señales que lleguen por dichos pines. (Suma del osciloscopio virtual).
- Caso 4: Genera una tensión alterna para testear que funciona correctamente el osciloscopio.(Test del osciloscopio virtual).

En cada caso se obtendrá el valor de pico de la señal eléctrica recibida (Subvi Amplitude and Level Measurements), el valor eficaz y la frecuencia recibida (Subvi Harmonic Distortion Analyzer).

Para activar el pin de entrada y recibir la señal eléctrica alterna en este caso se usa el subvi Get Finite Analog Sample.

Con este subvi se obtendrá como entrada unas muestras determinadas que en este caso serán 10000 por que se consideran suficientes muestras como para representar una señal óptima. No obstante se probó con otro número de muestras siendo este el caso el más favorable, y también se seleccionará la velocidad con la que se muestrearán las muestras adquiridas. Como salida obtendremos el número de muestras adquiridas y la salida "data" donde obtendremos la amplitud de la señal recibida y tiempo.

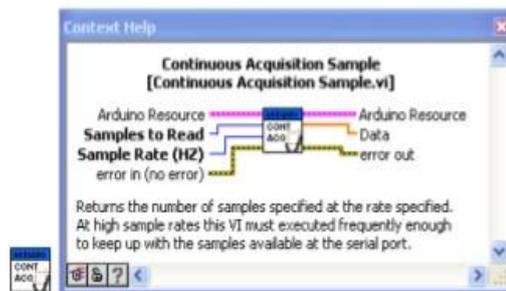


Figura 3.20. Subvi selector pin de entrada (Continous Acquisition Sample)

La siguiente imagen indica el código del caso 0 (canal 1). El caso 1(canal 2) será igual lo único que cambiará será el pin de entrada.

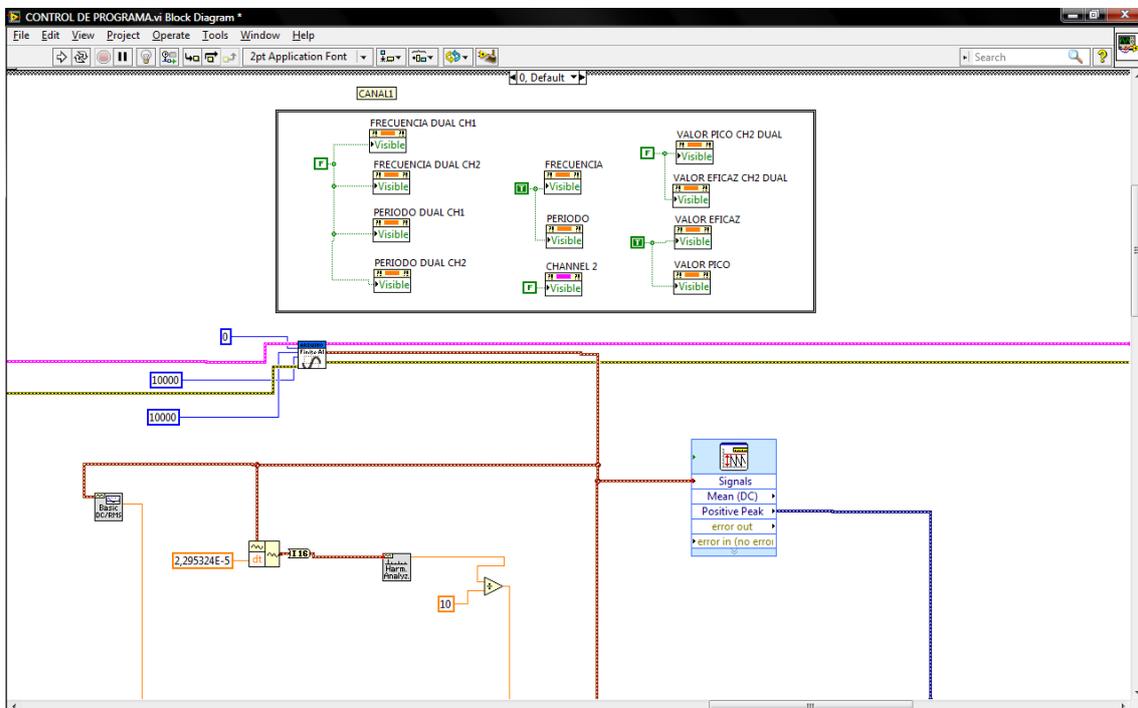


Figura 3.21. Diagrama de bloques caso 0(Canal 1)

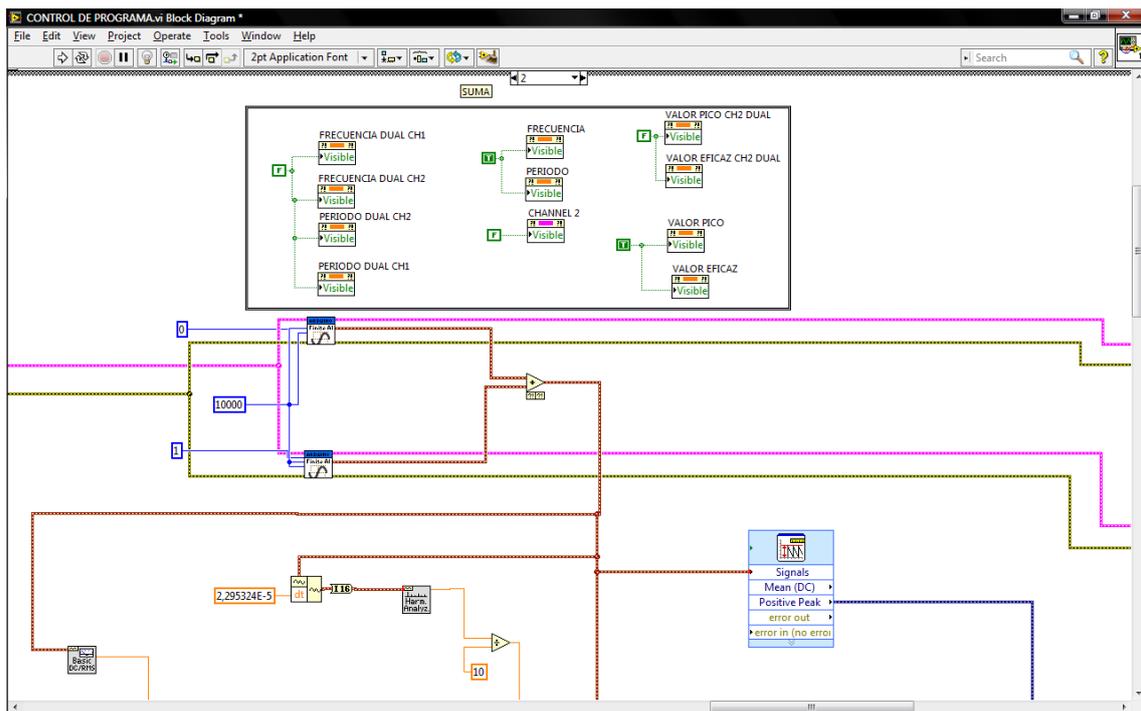


Figura 3.22. Diagrama de bloques caso 2 (Suma)

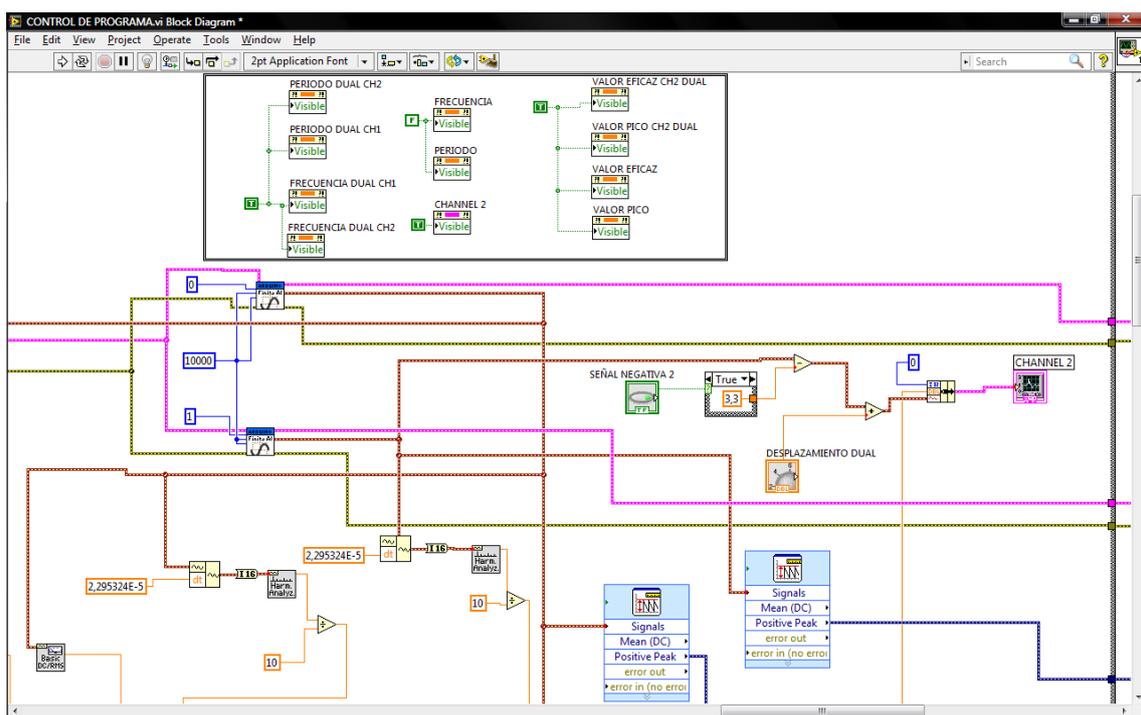


Figura 3.23. Diagrama de bloques caso 3 (Dual)

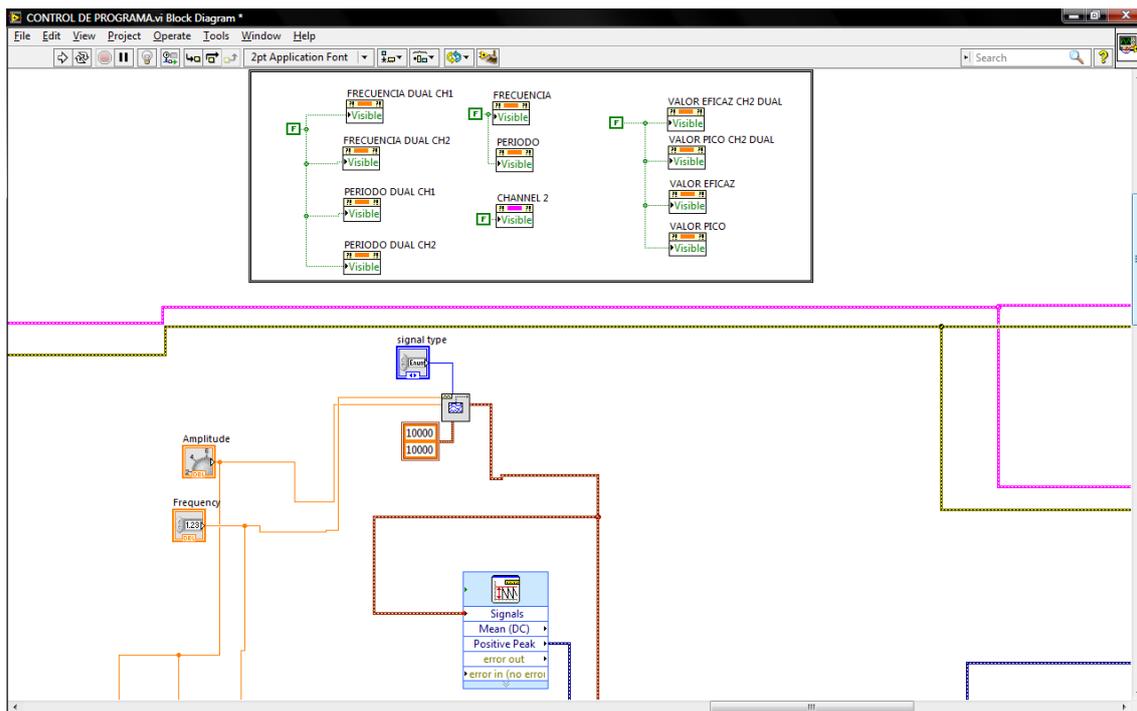


Figura 3.24. Diagrama de bloques caso 4 test

**Amplitude and Level Measurements**

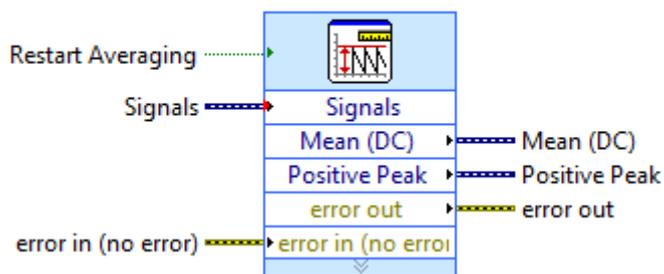


Figura 3.25. Subvi Amplitude and Level Measurements

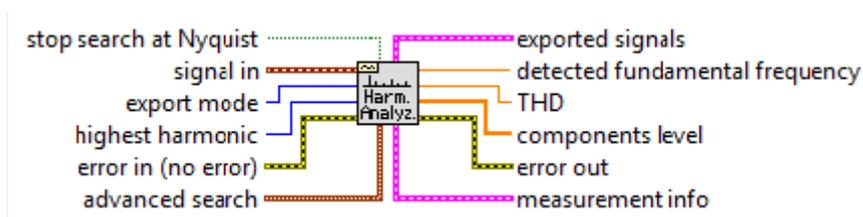


Figura 3.26. Subvi Harmonic Distortion Analyzer

### Módulo selección de Amplitud (Voltios/División)

El módulo de selección de amplitud, ofrece la posibilidad de amplificar la señal de entrada, posibilitando la medida de señales de baja tensión con un mínimo error, o atenuar una señal de alta tensión para poder verla correctamente por la pantalla.

Dentro de este módulo tenemos 11 casos, con los siguientes valores que indicaré a continuación:

- Caso 0: 5 voltios/división. Rango:Maximo:25V.Minimo:-25V.Incremento:5V
- Caso 1:2 voltios/división. Rango:Maximo:10V.Minimo:-10V.Incremento:2V
- Caso 2:1 voltios/división. Rango:Maximo:5V.Minimo:-5V.Incremento:1V
- Caso 3: 0,5 voltios/división. Rango:Maximo:2,5V.Minimo:-2,5V.Incremento:0,5V
- Caso 4: 0,2 voltios/división. Rango:Maximo:1V.Minimo:-1V.Incremento:0,2V
- Caso 5: 0,1 voltios/división. Rango:Maximo:0,5V.Minimo:-0,5V.Incremento:0,1V
- Caso 6: 50mV /división. Rango:Maximo:0,25V.Minimo:-0,25V.Incremento:50mV
- Caso 7: 20mV /división. Rango:Maximo:0,1V.Minimo:-0,1V.Incremento:20mV
- Caso 8: 10mV /división. Rango:Maximo:0,05V.Minimo:-0,05V.Incremento:10mV
- Caso 9: 5mV /división. Rango:Maximo:0,025V.Minimo:-0,025V.Incremento:5mV
- Caso 10: 2mV /división. Rango:Maximo:0,01V.Minimo:-0,01V.Incremento:2mV
- Caso 11: Automático, que seleccionara automáticamente el rango adecuado para visualizar correctamente la señal en la pantalla.

Tendremos dos mandos de control de amplitud. El mando llamado “Voltios/División” controlará la pantalla cuando estemos en el caso de Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

En el caso “Dual” tendremos dos pantallas. Una para el Canal 1 y otra donde se representará el Canal 2. Es en este caso el mando indicado anteriormente controlará la pantalla donde se mostrará el Canal 1, y el mando llamado Voltios/División2 controlará la pantalla donde se representa la señal recibida por el Canal 2.

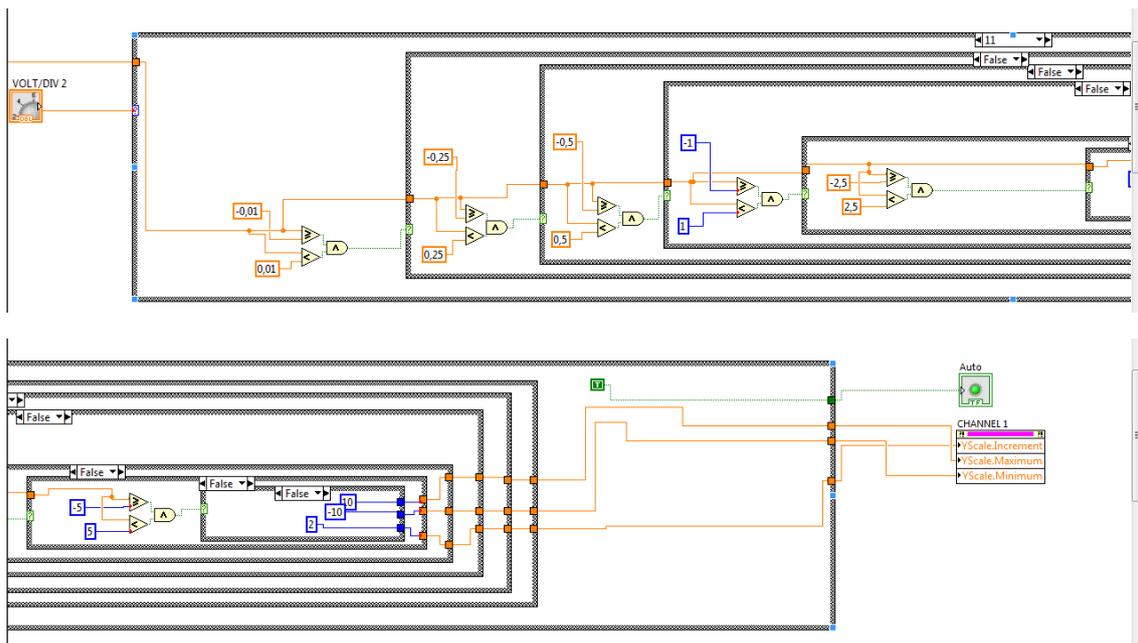


Figura 3.27. Diagrama de bloques caso 11(Automático)

### Módulo selección Tiempo Base (Segundos/División)

Este módulo tendrá la función de cambiar los rangos de representación del eje X de la pantalla en función de la base de tiempos escogida.

Este módulo consta de dos controles (Dial mediante estos, vamos a controlar dos “Estructura Case” que constarán de diez casos cada una. Estos serán los siguientes:

- Caso 0: 50us/división
- Caso 1: 100us/división
- Caso 2: 200us/división
- Caso 3: 500us/división
- Caso 4: 1ms/división
- Caso 5: 2ms/división
- Caso 6: 5ms/división
- Caso 7: 10ms/división
- Caso 8: 20ms/división
- Caso 9: 50ms/división
- Caso 10: Automático. En este caso se seleccionará automáticamente el rango adecuado para visualizar correctamente la señal en la pantalla.

El mando llamado “Tiempo/Div” actuará en los siguientes casos Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Por el contrario cuando estemos en el caso “Dual” el mando indicado anteriormente controlará la pantalla que represente el Canal 1 y la pantalla que represente el Canal 2 será controlado mediante el control llamado “Tiempo/Div 2”.

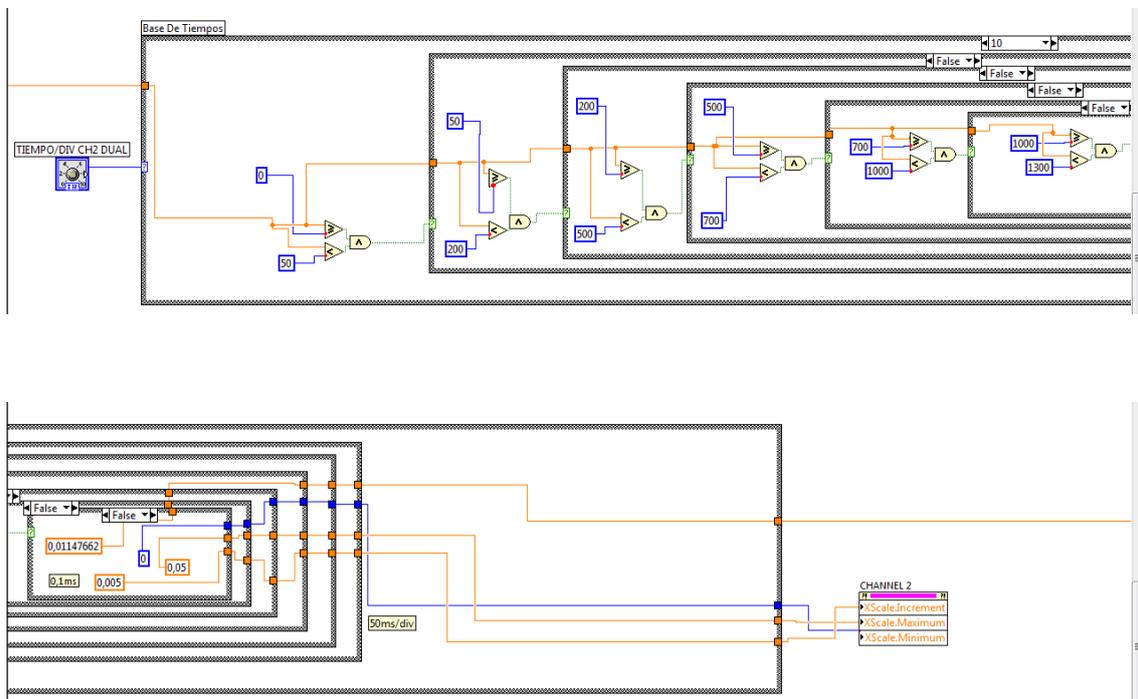


Figura 3.28. Diagrama de bloques caso 10 Automático

**Módulo exportación datos a Excel**

La función de este modulo es obtener en un documento Excel los datos recibidos por el pin de entrada que esté seleccionado.

En la opción de tensión alterna (AC) tendremos dos mandos que harán esta función, pero cada uno de ellos recibirá unos datos diferentes

El control (pulsador) llamado "Guardar Datos" funcionará para guardar los datos en los casos de entrada Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Por otro lado cuando se seleccione el caso "Dual" tendremos dos pantallas. En una se representará el Canal 1 y en otra pantalla se representará el Canal 2.

En este caso, si pulsamos el control indicado anteriormente exportaremos los datos visualizados en la pantalla donde se representa el Canal 1 y por el contrario si seleccionamos el control llamado "Guardar Datos 2" exportaremos los datos de la pantalla donde se está representando la señal del Canal 2.

**Módulo de exportar imagen de pantalla**

Este módulo generará mediante un control (pulsador) una imagen de la pantalla con el formato JPEG.

Como en el apartado anterior tendremos dos controles: Guardar Imagen y Guardar Imagen 2.

El primero de ellos funcionará para guardar la imagen cuando estén seleccionados cualquiera de los siguientes casos: Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

En el caso "Dual" el primer mando grabará la imagen del Canal 1 y el mando "Guardar Imagen 2" grabará la imagen del Canal 2.

**Módulo Color de Canal**

Este módulo permitirá elegir el color con el que representará la señal recibida en la pantalla.

En el caso de AC tenemos dos controles. El control "Color Canal" cambiará el color de la señal recibida en los casos Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Cuando seleccionemos "Dual" el mando indicado anteriormente cambiará el color del Canal 1 y el mando "Color Canal 2" cambiará el color del Canal 2.

**Módulo Reiniciar Pantalla**

Al activar el control que indica este módulo, reiniciará la señal de la pantalla.

Tendremos dos controles: el llamado "Reiniciar Pantalla" actuará en los casos Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Cuando seleccionemos "Dual" el mando indicado anteriormente reiniciará la pantalla del Canal 1 y el mando "Reiniciar Pantalla 2" reiniciará la pantalla del Canal 2.

**Módulo Focus**

Este módulo tendrá un potenciómetro (Dial) que nos permitirá seleccionar la intensidad del haz que representa la señal eléctrica recibida en la pantalla.

Tendremos dos controles: el llamado "Focus" actuará en los casos Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Cuando seleccionemos "Dual" el mando indicado anteriormente permitirá seleccionar la intensidad del haz en la pantalla del Canal 1 y el mando "Focus 2" permitirá seleccionar la intensidad del haz en la pantalla del Canal 2.

### Módulo Desplazamiento

Este módulo tendrá un potenciómetro (Dial) que nos permitirá desplazar la señal eléctrica a través del eje Y.

Tendremos dos controles: el llamado “Desplazamiento” actuará en los casos Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

Cuando seleccionemos “Dual” el mando indicado anteriormente permitirá desplazar la señal eléctrica a través del eje Y del Canal 1 y el mando “Desplazamiento 2” desplazar la señal eléctrica a través del eje Y del Canal 2.

### Módulo Señal de Test

Con este módulo se generará una tensión alterna para testear si el osciloscopio virtual funciona correctamente. Podremos modificar la amplitud, frecuencia y tipo de señal.

### Módulo Cursor

Este módulo tendrá un control que al activarlo aparecerá en la pantalla un cursor para los ejes X e Y.

Tendremos dos controles: Cursor y Cursor 2.

El primero de ellos funcionará cuando estén seleccionados cualquiera de los siguientes casos: Canal 1, Canal 2, Suma y Test.

En el caso “Dual” el primer mando funcionara para el Canal 1 y el mando “Cursor 2” funcionara en el Canal 2.

### Módulo Display

Representará la señal recibida usando Waveform X-Y, porque necesitamos controlar el eje de tiempos (X) y el eje de amplitudes (Y).

Tendremos dos graficas: Canal 1 funcionara en los casos Canal 1, Canal 2, Suma, Test.

En el caso Dual la grafica Canal 1 representara el Canal 1 , y la grafica Canal 2 representara Canal 2.

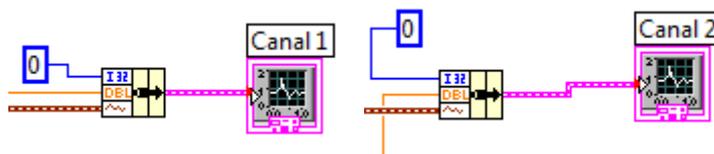


Figura 3.29. Modulo Display Alterna

### Módulo Pausa

Este modulo ralentizara el funcionamiento del programa, para poder visualizar correctamente un señal.

## 3.1.5 LIMITACIONES

En este apartado indicaremos las limitaciones que tendrá el osciloscopio virtual.

- Limitación de la tensión de entrada a la tarjeta de adquisición:** Como usamos un Arduino Uno como tarjeta de adquisición tendremos un rango de entrada de 0 a 12V, según datos fabricante, en la práctica de 0 a 5V. Por lo tanto, no podremos obtener tensiones negativas. Sin embargo, como solución hemos propuesto añadir antes de la tarjeta de adquisición (Arduino Uno) un circuito sumador no inversor. Con este circuito sumaremos una señal continua para convertir la señal eléctrica recibida en una señal de signo positivo (si fuera necesario). Para construir este circuito usaremos el amplificador operacional 741 y cuatro resistencias de 1K $\Omega$ .

El diseño será el siguiente:

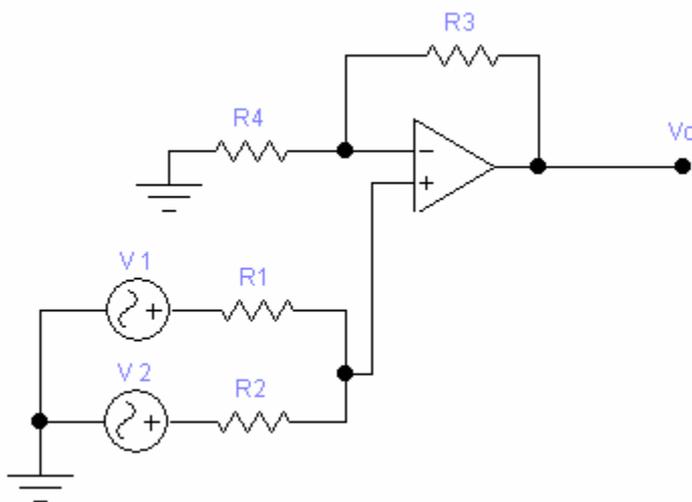


Figura 3.30. Circuito sumador

Los cálculos necesarios serán los siguientes:

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_4} + 1\right) \times \left(\frac{1}{R_1 + R_2}\right) \times (V_1 \times R_2 + V_2 \times R_1)$$

Si  $R_3 = R_4 = R_1 = R_2 = 1$

Entonces  $V_o = V_1 + V_2$

Por lo tanto:

$R_3 = R_4 = R_1 = R_2 = 1\text{K}\Omega$

Otra solución a la limitación de la tensión de entrada, sería diseñar un circuito divisor para poder aplicar tensiones mayores de -5V y 5V. Esta señal para poder retomar su valor original, será multiplicada por el mismo valor q se hubiera dividido. Esto se hará dentro del software Labview. El circuito usado sería el siguiente:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

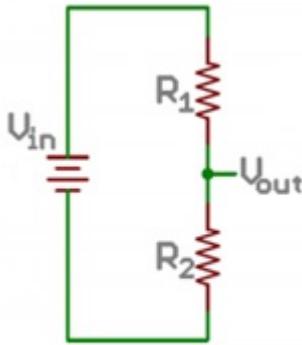


Figura 3.31. Circuito divisor

Otra opción sería quitar esta limitación mediante la programación del Arduino, entonces el rango sería el que nos especifica el fabricante 0V a 12V.

- **La siguiente limitación vendrá dada por la frecuencia recibida.** Teniendo en cuenta que Arduino muestrea los valores analógicos en 8 bits y tiene 16 KHZ de frecuencia de reloj. Teniendo en cuenta Nyquist-Shannon (que para muestrear una señal de frecuencia X se necesita por lo menos  $2.1 \cdot X$  de frecuencia de muestreo). Con este teorema y si Arduino muestrea como máximo 16KHz sólo se podrá medir señales desde 0 Hz hasta 7000 Hz aproximadamente.

Esto sería desde un punto teórico aunque veremos más adelante que esto no se cumplirá.

- **El sincronismo entre PC (Labview) y Arduino no es siempre correcto.**
- **La carga computacional** es alta, por tanto el PC se ralentiza. Para solucionarlo habría que implementarlo en un ordenador potente o bien reducir la carga computacional del programa.

### 3.2 MULTIMETRO VIRTUAL

#### 3.2.1 INTRODUCCION

En el siguiente capítulo se explica la jerarquía de los diferentes módulos del multímetro virtual (M.V.) detallando los pasos de diseño y la forma de manejo. Este se ha construido con un hardware (Arduino como tarjeta de adquisición) y software (Labview 2011).

#### 3.2.2 ARQUITECTURA DEL MULTIMETRO VIRTUAL

El multímetro diseñado nos permitirá medir señales eléctricas continuas y señales eléctricas alternas.

En el caso de medir una señal eléctrica continua podremos obtener su valor de tensión eficaz. Este valor se representa en diversas magnitudes como miliVoltios (mV), Voltios (V) y KiloVoltios (KV).

Por el contrario si medimos una señal eléctrica alterna obtendremos el valor de pico de la señal. Este valor lo podremos ver representado en diversas magnitudes: miliVoltios (mV), Voltios (V) y KiloVoltios (KV). También obtendremos la frecuencia de la señal eléctrica alterna a medir. Este valor será representado con la magnitud de Hercios (Hz).

El diagrama de flujo que se construyó para realizar el diseño del multímetro virtual es el que se indica a continuación:

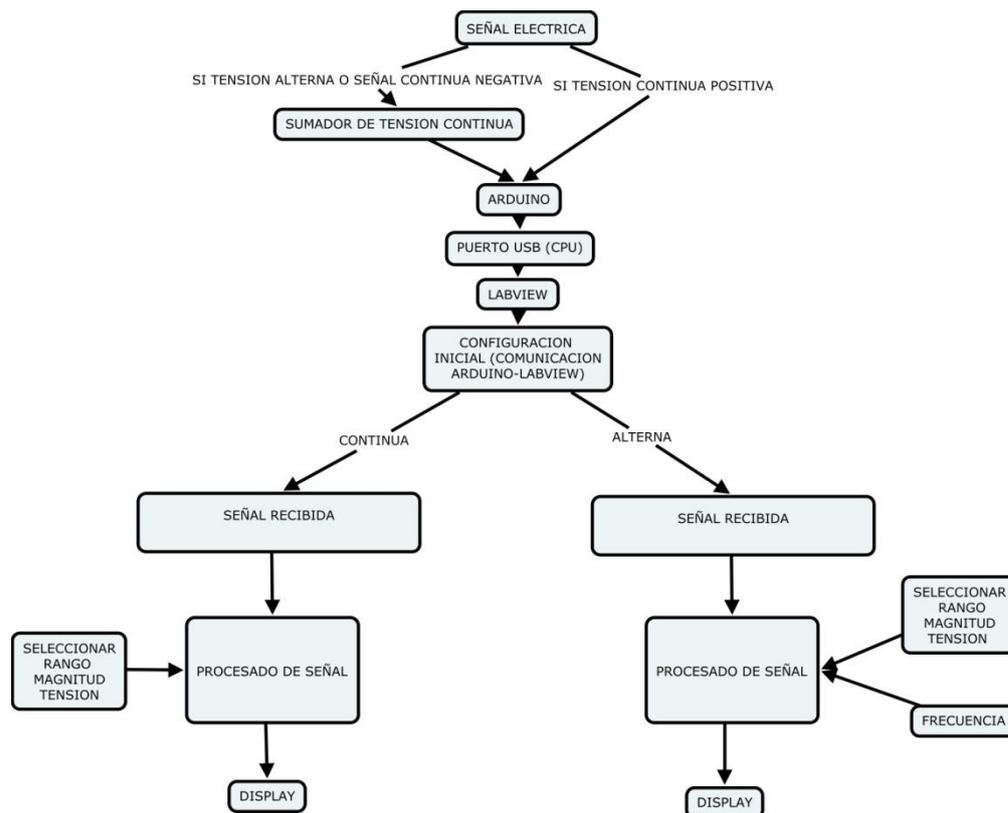


Figura 3.32. Diagrama de Flujo Multímetro Virtual

### 3.2.4 PANEL FRONTAL DEL MULTIMETRO VIRTUAL

#### 3.2.3.1 TENSION CONTINUA

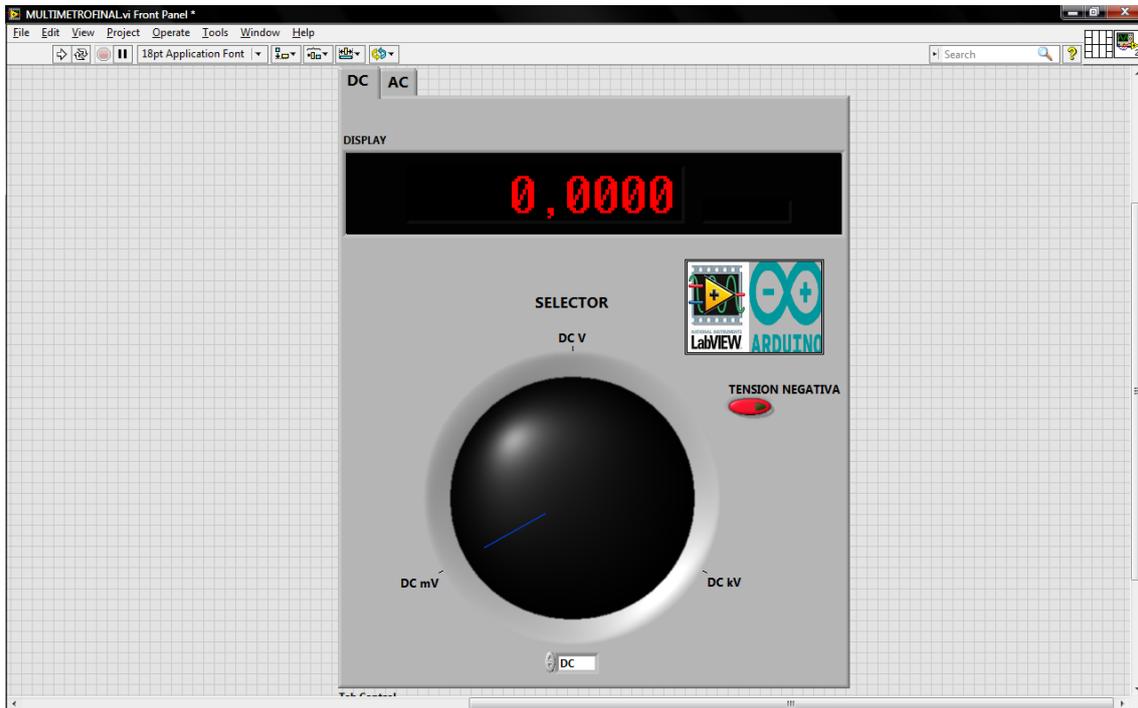


Figura 3.33. Panel Frontal Multímetro Virtual (Tensión Continua)

#### CONTROLES

**Selector:** Servirá para elegir la magnitud de medida de la señal.

**Tensión Negativa:** Se usará este control cuando recibamos una señal de tensión negativa.

## 3.2.3.2 TENSION ALTERNA

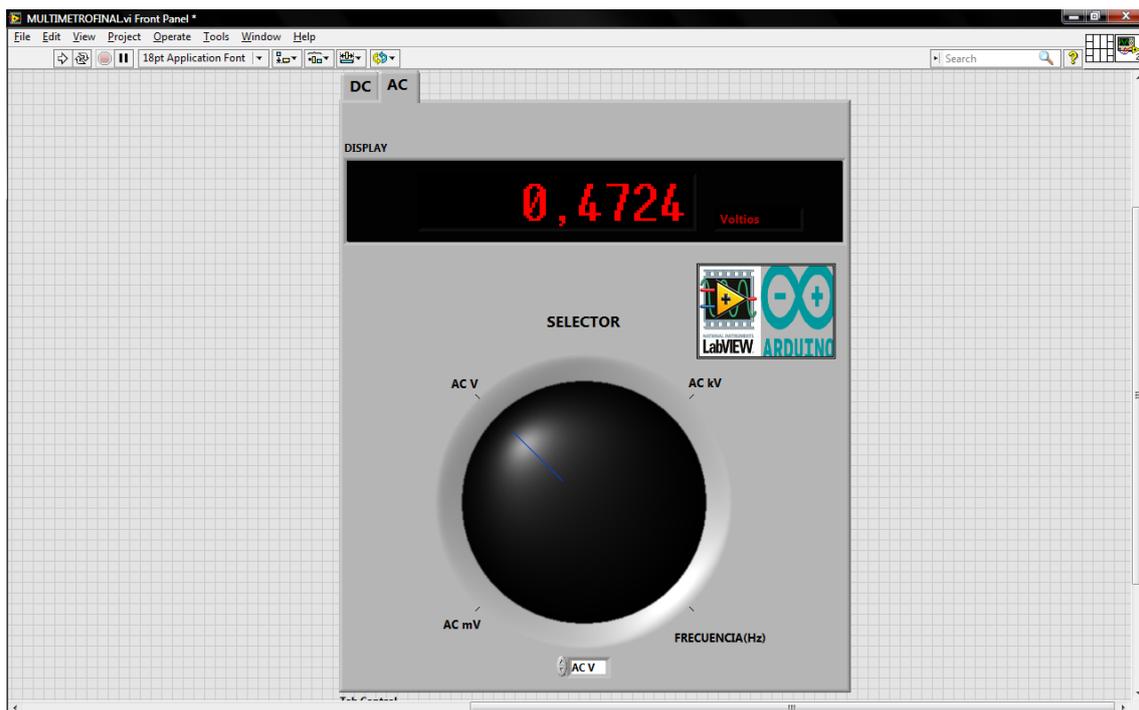


Figura 3.34. Panel Frontal Multímetro Virtual (Tensión Alterna)

## CONTROLES

**Selector:** Servirá para elegir la magnitud de medida de la señal.

## 3.2.4 MODULOS DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

En este apartado se expondrán diferentes módulos del diagrama de bloques, así como su función. Se diferenciará dos apartados. Uno que explicara los módulos necesarios para adquirir una tensión continua y otro que indicará los módulos necesarios para adquirir la señal alterna.

## Módulo Iniciar Comunicación Arduino y Concluir Comunicación Arduino

Serán comunes en las dos opciones (Continua y Alterna). Su función será la de comenzar y terminar la comunicación entre Arduino y Labview, respectivamente.

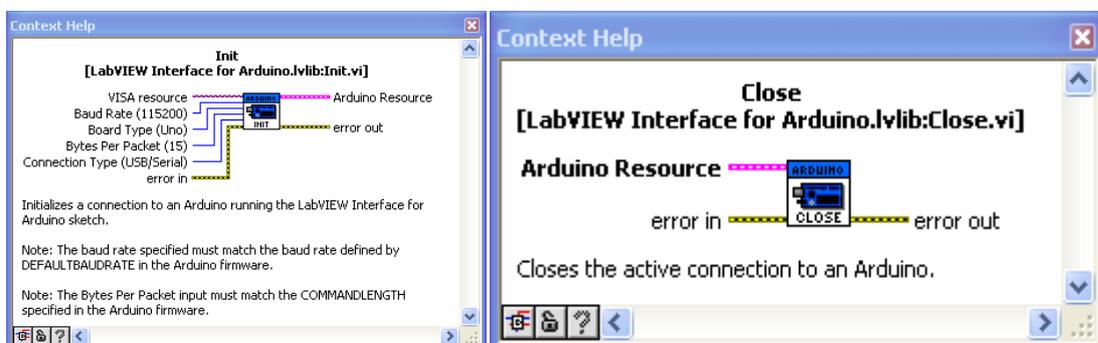


Figura 3.35. Modulo de Iniciar y terminar comunicación de Arduino

3.2.4.1 TENSION CONTINUA

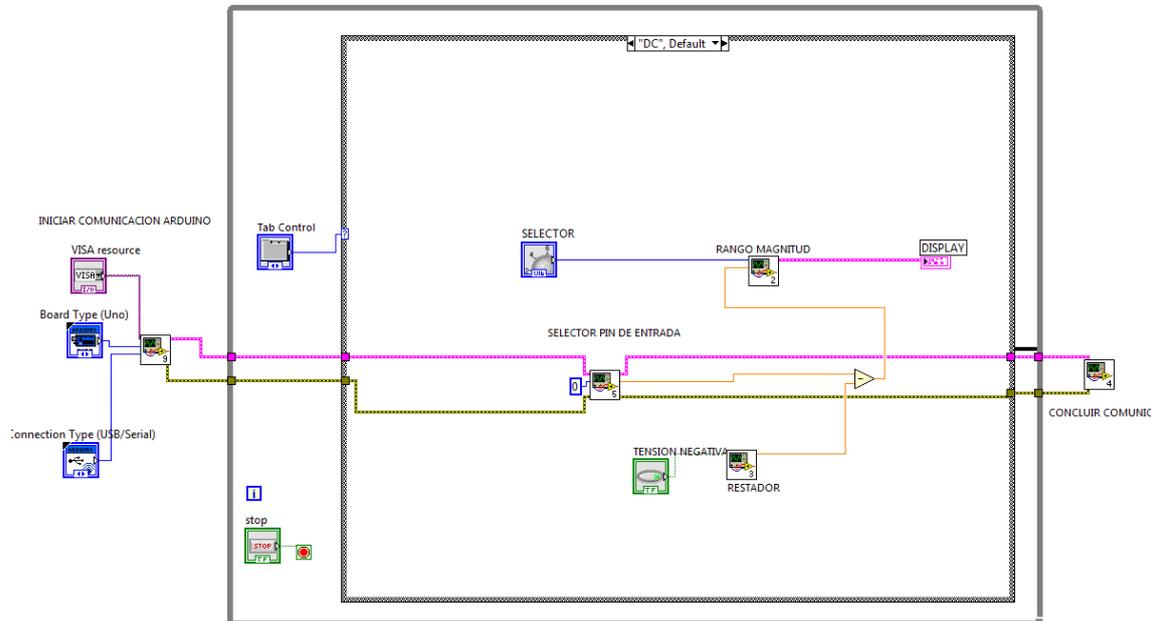


Figura 3.36. Diagrama de bloques completo (Tensión Continua)

Módulo Selector de pin de entrada de la señal obtenida

En este módulo se usará el subvi “Analog Read Pin” que tendrá la función de leer una entrada analógica de Arduino (Pin 0). Recoge de entrada el número de canal en formato INTEGER y devuelve de salida el valor leído en formato DBL.

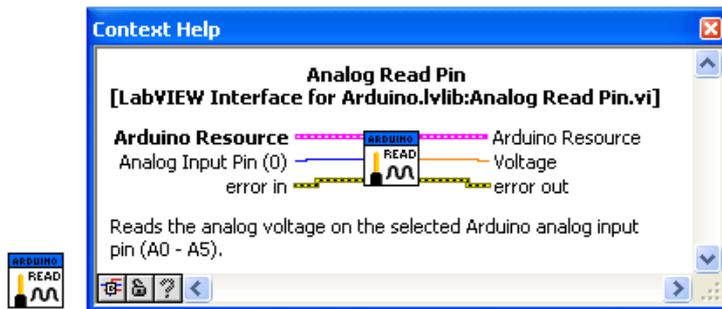


Figura 3.37. Subvi selector pin de entrada (Analog Read Pin)

### Módulo Selector de rango de la magnitud

En este módulo hay una “Estructura Case” donde aparecerán tres casos. Los casos serán:

- Caso 0: Aquí tendremos en la salida la medida obtenida en miliVoltios (mV). Se multiplicará la tensión recibida por 1000.
- Caso 1: En este caso tendremos en la salida la medida obtenida en Voltios (V). La tensión recibida son Voltios entonces no habrá que modificar nada.
- Caso 2: En la salida obtenemos la medida en KiloVoltios (KV). Se multiplicará la tensión recibida por 0,001.

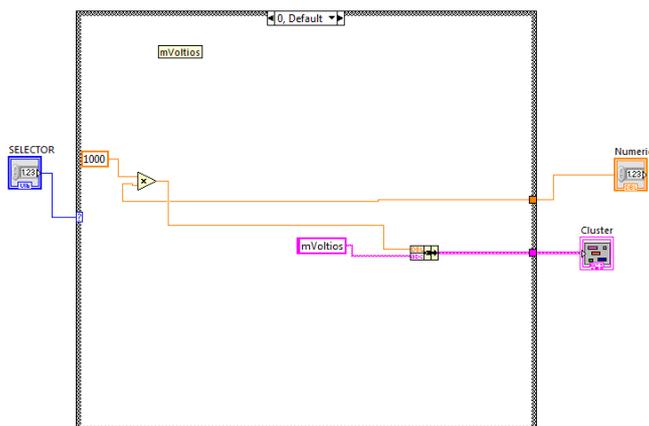


Figura 3.38. Diagrama de bloques caso 0 (mV)

### Módulo Tensión Negativa

Este módulo tendrá la función de restar la señal continua que se sumó anteriormente, en el caso de tener una señal negativa.

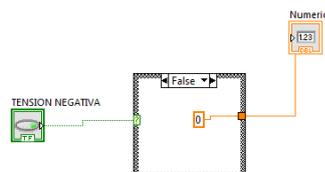


Figura 3.39. Diagrama de bloques modulo restador

### Módulo Display

Tras ejecutar el módulo anterior, aparecerá en la salida el valor de la tensión medida, que gracias a este modulo será representada a través de un display.

3.2.4.2 TENSION ALTERNA

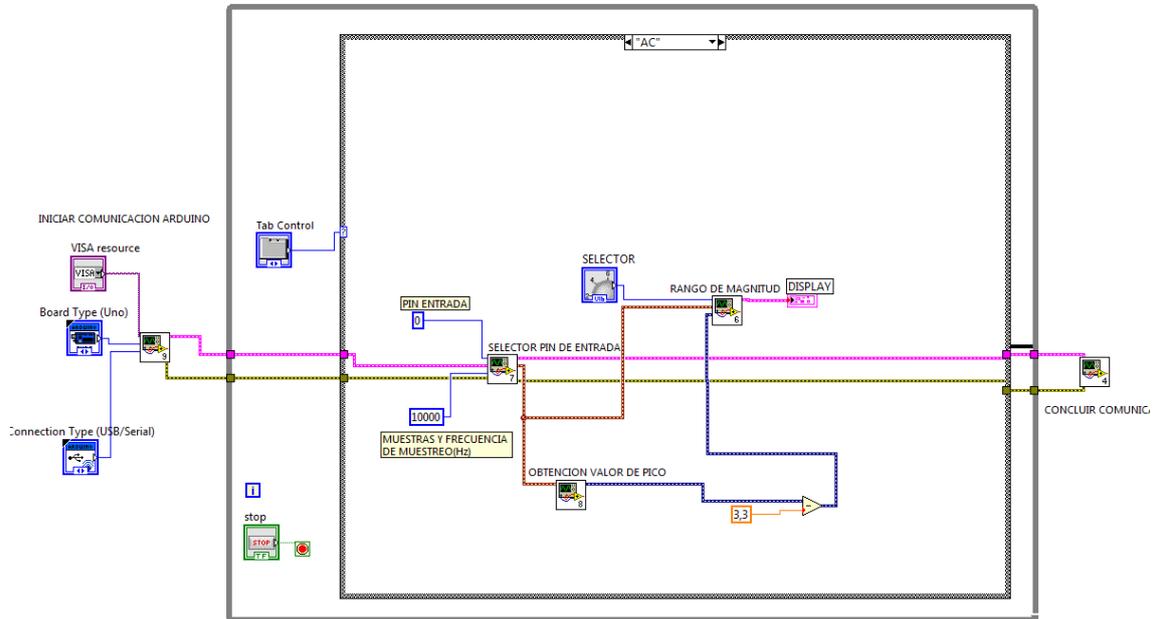


Figura 3.40. Diagrama de bloques Multímetro Virtual (Tensión Alterna)

**Módulo Selector de pin de entrada de la señal obtenida**

Para activar el pin de entrada y recibir la señal eléctrica alterna en este caso se usa el subvi Get Finite Analog Sample.

Con este subvi se obtendrá como entrada, unas muestras determinadas que en este caso serán 10000 ya que se consideran suficientes muestras como para representar una señal óptima. No obstante se probó con otro número de muestras siendo este caso el más favorable. Se seleccionará la velocidad con la que se muestrearán las muestras adquiridas (frecuencia de muestreo 10KHz). Como salida obtendremos el número de muestras adquiridas y la salida "data" donde obtendremos la amplitud de la señal recibida y tiempo.

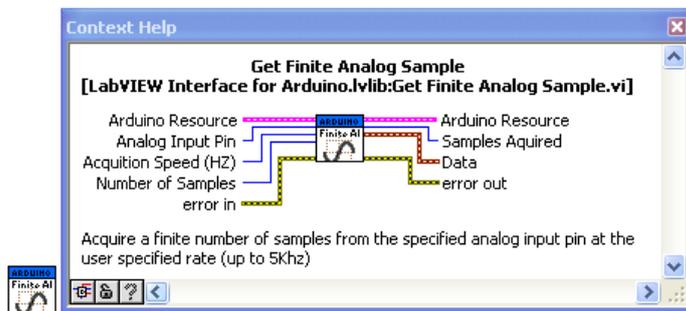


Figura 3.41. Subvi Get Finite Analog Sample.

### Módulo Selector de rango de la magnitud

En este modulo tendremos una “Estructura Case” donde habrá cuatro casos:

- Caso 0: Medida obtenida en miliVoltios (mV) en la salida.
- Caso 1: Medida obtenida en Voltios (V) en la salida.
- Caso 2: En este caso tendremos en la salida la medida obtenida en KiloVoltios (KV).
- Caso 3: Obtención de la frecuencia de la señal eléctrica recibida en Hercios (Hz).

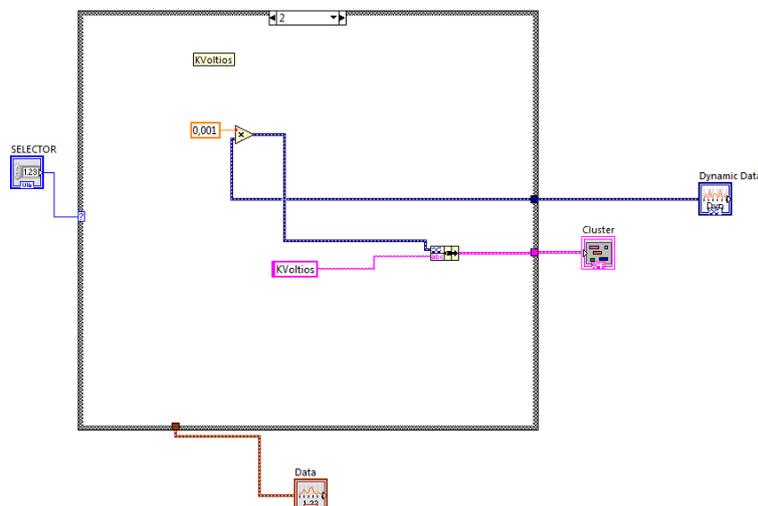


Figura 3.42. Diagrama de bloques caso 2 (KV)

La frecuencia se obtendrá gracias al subvi “Harmonic Distortion Analyzer”.

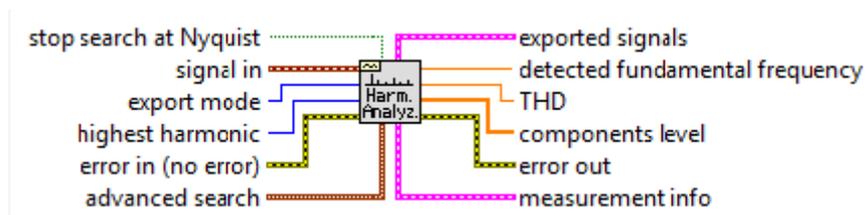


Figura 3.43. Subvi Harmonic Distortion Analyzer

### Módulo Obtención de Valor de Pico

La salida de este modulo será conectada al subvi “Amplitude and Level Measurements Express VI”. Tras llegar la señal a este subvi obtendremos a través de la salida “Positive Peak”, el valor de pico de la señal eléctrica medida.

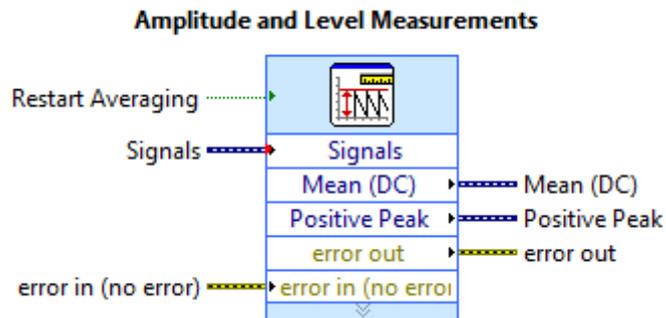


Figura 3.44. Subvi Amplitude and Level Measurements

### Módulo de tensión negativa

Aquí nos encontramos la función de restar la señal continua que se sumó anteriormente.

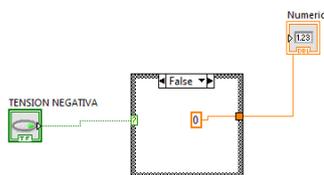


Figura 3.45. Diagrama de bloques modulo de tensión negativa

### Módulo display

Tras ejecutar el modulo anterior, tendremos en salida el valor de la medida, que gracias a este modulo será representada a través de un display.

### 3.2.5 LIMITACIONES

Las limitaciones serán las mismas que en el caso del osciloscopio virtual.

## CAPITULO 4

# DESCRIPCION DEL METODO RESOLUCION DEL PROBLEMA

---

**RESUMEN:** En este capítulo se detallara la metodología que se ha seguido para realizar este proyecto de investigación. Los pasos seguidos son los siguientes.

### 4.1 METODOLOGIA

**1. Estudio detallado de la bibliografía** relacionada con la instrumentación virtual, el hardware Arduino, el software Labview 2011 y por último, los osciloscopios y multímetros que hay en el mercado.

Como resultado del estudio se obtendrá, el estado del arte de la instrumentación virtual, las características como tarjeta de adquisición del Arduino Uno. También se obtendrá información sobre el software Labview 2011. Por último, se obtendrá información sobre los osciloscopios y multímetros que hay en el mercado.

También se realizara una encuesta entre los estudiantes ( 25 alumnos) del Grado Superior de Electrónica del Instituto de la Merced (Valladolid) sobre la implantación de instrumentos de medida virtuales.

Tras tener toda la información obtenida en el paso anterior, se pasara al diseño.

**2. Diseño:** Este paso consistirá en descomponer y organizar el sistema en elementos que puedan ser desarrollados por separado.

Se descompondrá el diseño del Osciloscopio Virtual y el Multímetro Virtual en diferentes módulos, que cada cual tendrá una función determinada dentro del proyecto.

Contribución: Se obtendrá el diseño del Software y Hardware que será una descripción de la estructura global del sistema.

Tras este paso, se pasara a programar los diferentes módulos definidos anteriormente y también se construirán los circuitos electrónicos necesarios (Circuito Sumador).

**3. Codificación del programa software y construcción circuito electrónico:** En esta fase se traduce el diseño a un lenguaje legible para el computador, en este caso se usara el software Labview 2011. También se harán las pruebas o ensayos necesarios para garantizar que dicho código funciona correctamente.

Por otra parte, se procederá a construir el circuito sumador necesario, para que funcione correctamente el Osciloscopio Virtual y el Multímetro Virtual, en algunos casos. También se harán pruebas del correcto funcionamiento de este circuito.

Contribución: La documentación de esta fase será el código fuente y el circuito sumador.

Tras este paso se paso de integrar todo el diseño completo.

**4. Integración:** Consiste en probar el sistema completo para garantizar el funcionamiento correcto del conjunto antes de ser puesto a prueba.

Contribución: Aquí tendremos el sistema Software ejecutable y el circuito sumador.

**5. Recopilación y análisis de los resultados:** Se recopilaran los resultados obtenidos de la experimentación, y se analizaran.

**6. Validación:** El objetivo es determinar la corrección del producto final respecto a las necesidades del usuario.

Para ello se validaran las medidas de los instrumentos virtuales diseñados, con respecto a las medidas obtenidas con los instrumentos de medida físicos, obtenidos en el paso anterior.

Contribución: Aquí tendremos el sistema Software y Hardware evaluado.

**7. Conclusiones:** Después de realizar el análisis de los resultados, se obtendrán las conclusiones del diseño, buscando una explicación o causa de las mismas.

**8. Mantenimiento:** Puede ocurrir que durante la explotación del sistema sea necesario realizar cambios para corregir errores que no han sido detectados en las fases anteriores o bien para introducir mejoras.

A continuación se muestra un esquema más ilustrativo de la metodología seguida.

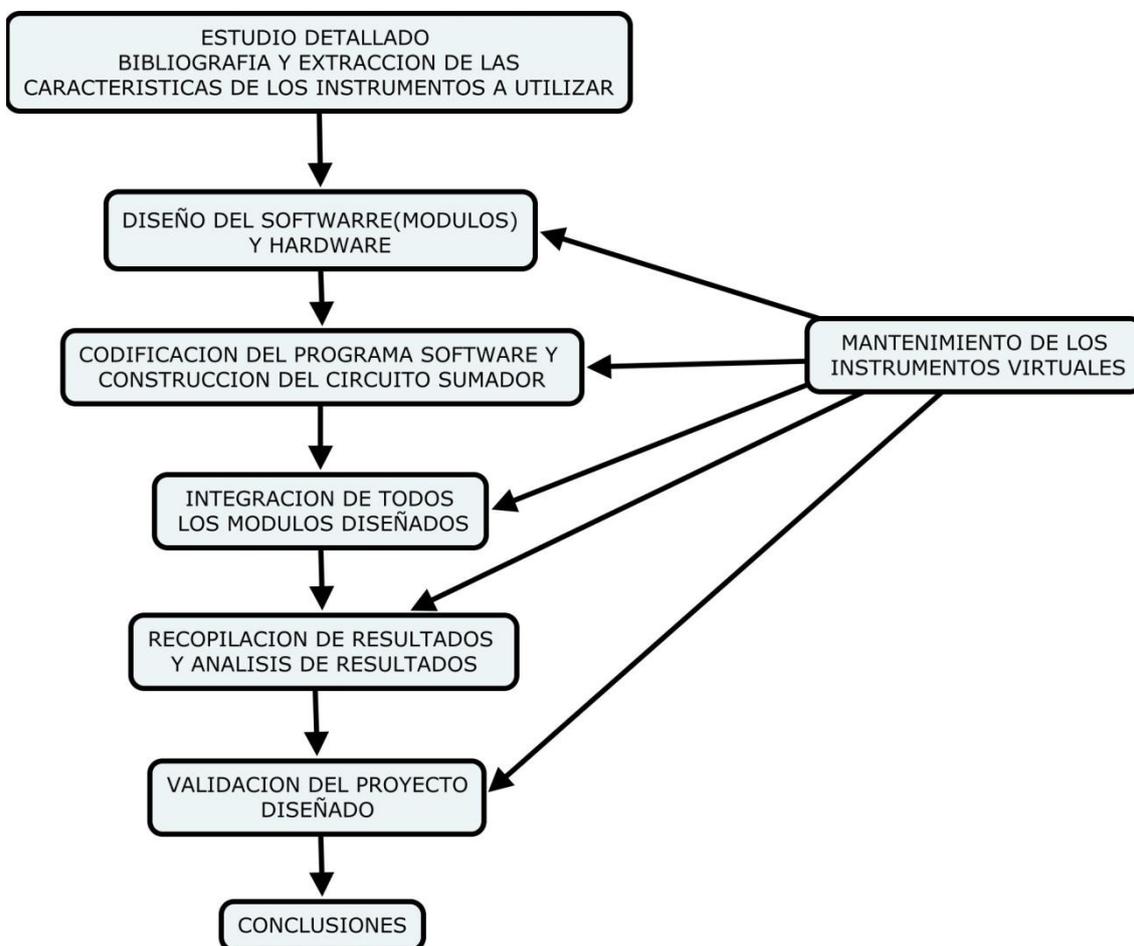


Figura 4.1. Esquema metodología usada

A lo largo del proceso de investigación, se han detectado varios posibles problemas de investigación emergentes, en los que se han dado pequeños pasos para intentar resolverlos, en la medida que el tiempo lo ha permitido. Esto muestra cómo el proceso de investigación no es lineal, y las fases se repiten de manera cíclica, influyendo unas fases sobre otras.

## 4.2 DIAGRAMA TEMPORAL REALIZACION DEL PROYECTO

En este apartado indicamos el diagrama temporal que se ha seguido en la realización del proyecto

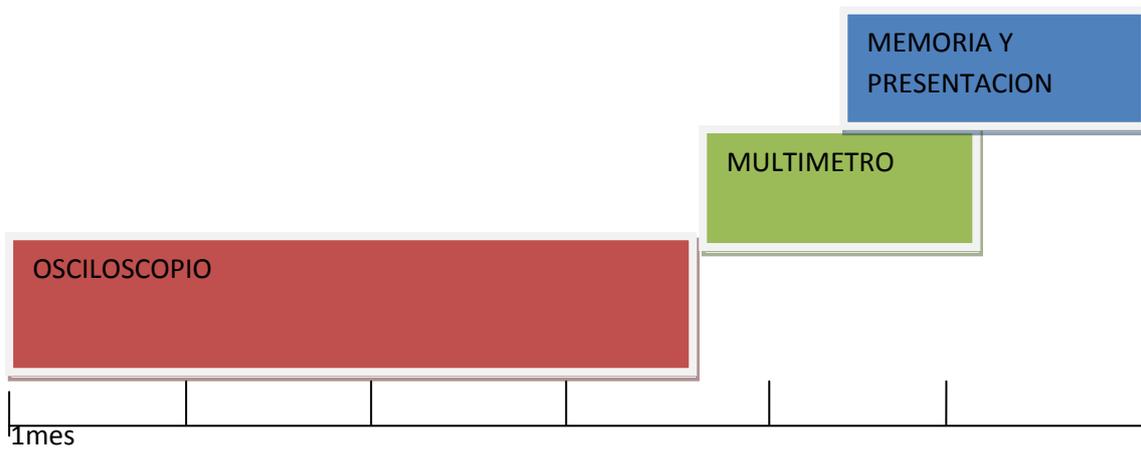


Figura 4.2. Diagrama Temporal realización del proyecto

## CAPITULO 5

### EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

**RESUMEN:** En el siguiente apartado se van a explicar los métodos que se han utilizado para verificar que las medidas que se han tomado con el osciloscopio virtual (OV) y el multímetro virtual (MV) son correctas. Para ello se compararan las medidas obtenidas, por dos modelos de osciloscopios físicos (uno usado en la docencia KENWOOD CS - 4125A y otro usado en laboratorios de investigación AGILENT DSO-X 3104A) y un multímetro físico (ISO-Tech IDM 203). El error de estos instrumentos se calculara con respecto a la fuente de estas señales eléctricas (generador de tensión alterna GW –GFG-8016G y continua Fac-662B Promax).

#### 5.1 CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA, EN RELACION A LA PRECISION DE REALIZAR LAS MEDIDAS

A la hora de realizar las medidas tendremos que tener en cuenta las siguientes consideraciones.

El ruido en el ambiente puede afectar gravemente a la precisión de las medidas que realiza la tarjeta de adquisición (Arduino Uno), si no se toma especial cuidado con el cableado que une la señal que queremos medir y el dispositivo.

Se tomarán una serie de consideraciones para que las medidas sean lo más precisas posibles.

- Usaremos pares de cables protegidos, para conectar la señal analógica al dispositivo. Este tipo de cableado es bueno si la señal atraviesa áreas con grandes campos electromagnéticos, o con grandes interferencias electromagnéticas.
- Los cables deben estar lo más lejos posible de fuentes de ruido. La fuente de ruido más común en este tipo de aplicaciones (tarjeta de adquisición conectada a PC) es el monitor. Por tanto, separaremos lo más posible el monitor de las señales analógicas que mediremos.

Dado que el sistema a realizar es una aplicación de laboratorio, se espera no encontrar fuentes de ruido ambiental o electromagnético tales como líneas de alto voltaje o cualquier otro tipo de sistema, como motores eléctricos, transformadores, etcétera, que puedan inducir corrientes o tensiones adicionales a las señales de la tarjeta, o a la propia tarjeta de adquisición. Por lo que es suficiente tomar las consideraciones anteriormente expuestas.

#### 5.2 MAGNITUDES A MEDIR

Las magnitudes que podremos obtener a través de un osciloscopio serán la frecuencia y amplitud de la señal recibida.

A través del multímetro podremos obtener las siguientes magnitudes, tensión de pico y frecuencia recibida (AC) y tensión (DC).

#### 5.3 PROCESO DE REALIZACION DE LAS MEDIDAS

Tras tener en cuenta las consideraciones explicadas en el apartado anterior, se procederá a explicar cómo se han realizado las mediciones.

Se realizaran medidas tanto en tensión continua como tensión alterna. Como indique anteriormente el Arduino Uno no acepta tensiones negativas, por lo tanto, se diseñara un

circuito sumador externo con el cual, sumaremos una tensión continua a las señales de tensión alterna y a las tensiones continuas negativas. Esta tensión continua sumada a la señal recibida, se restara dentro del software (Labview).Tras esto, se tomara medidas para validar el osciloscopio virtual y el multímetro virtual.

En el caso del osciloscopio virtual se seguirá el siguiente proceso. La señal eléctrica generada por el generador de tensión alterna o continua, se medirá con el Osciloscopio Virtual y con los dos modelos de osciloscopios físicos indicados anteriormente.

En el siguiente paso, se calcula el error con respecto al generador de tensión alterna o continua.

Una vez calculado el error, se comparan los errores obtenidos en cada uno de los instrumentos.

En el caso de validar las medidas del multímetro virtual se hará lo mismo pero con un multímetro físico.

El valor generado por la fuente de tensión alterna y continua será el que se tome como correcto.

En el caso del osciloscopio físico KENWOOD CS – 4125A las medidas se realizaran en dos osciloscopios diferentes pero del mismo modelo, se tomara las medidas en el peor caso .También se realizaran las medidas sin el circuito sumador para ver el efecto de este en las medidas.

Todas las medidas se repetirán en dos días diferentes, y se tomara los valores del peor caso.

La conexión que se realizara será la siguiente:

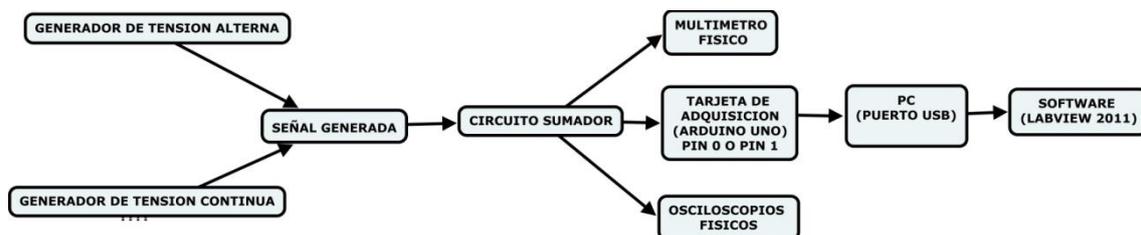


Figura 5.1. Conexión realizada en el proceso experimental

### 5.3.1 MEDICION DE TENSIONES ALTERNAS

En el caso de la medición de tensiones alternas se comparara la amplitud y frecuencia de la señal recibida.

Para realizar las medidas de señales eléctricas alternas, se medirán señales en baja frecuencia, media frecuencia y alta frecuencia. Tras tomar estas medidas, se analizara la señal representada, la frecuencia obtenida y la amplitud de la señal recibida.

La frecuencia obtenida se analizara de dos maneras diferentes en el OV:

- Frecuencia obtenida por el subvi Harmonic Distortion Analyzer VI.
- Frecuencia obtenida tras analizar en la pantalla la señal recibida. Para ello habrá que ver en qué posición tenemos el control de base de tiempos (Segundos/Div). Y con la siguiente formula obtendremos la frecuencia.

Tiempo total pantalla = Situación control Base de Tiempos X Número de divisiones (Eje X)

$$\text{Periodo de un pulso} = \frac{\text{Tiempo total pantalla}}{\text{numero de pulsos}}$$

$$\text{Frecuencia Recibida en pantalla} = \frac{1}{\text{Periodo de un pulso}}$$

En el caso del osciloscopio físico AGILENT DSO-X 3104A la frecuencia se obtendrá observando el display , donde nos indicara el valor de la frecuencia.

En el osciloscopio físico KENWOOD CS - 4125A , la frecuencia se obtendrá igual que en el Osciloscopio Virtual, observando la señal representada en la pantalla.

La amplitud en el OV se obtendrá mediante el subvi “Amplitude and Level Measurements” el cual tendrá como salida el valor de pico de la señal recibida.

En el osciloscopio físico AGILENT DSO-X 3104A la amplitud se obtendrá observando el display, donde se indicara el valor de pico de la señal.

En el osciloscopio físico KENWOOD CS - 4125A, la amplitud se obtendrá observando la señal recibida en la pantalla y comprobando en qué posición está el mando de Amplitud (Voltios/División).

### 5.3.2 MEDICION DE TENSIONES CONTINUAS

En el caso de la medición de tensión continua se comparara el voltaje de pico de la señal recibida.

Para realizar las medidas de señales eléctricas continuas, se medirán señales positivas y negativas. Tras tomar estas medidas, se analizara la señal representada.

El valor de la tensión continua se obtendrá mediante el subvi “Analog Read Pin” en el OV y MV, mientras que la tensión continua en los osciloscopios se obtendrá observando la posición de la señal y viendo en qué posición tenemos colocado en mando de Amplitud (Voltios/División).

5.4 RESULTADOS MEDIDAS

En este apartado se mostraran los resultados obtenidos y posteriormente se analizaran estos resultados obtenidos.

5.4.1 OSCILOSCOPIO VIRTUAL

5.4.1.1 TENSION ALTERNA

- BAJAS FRECUENCIAS

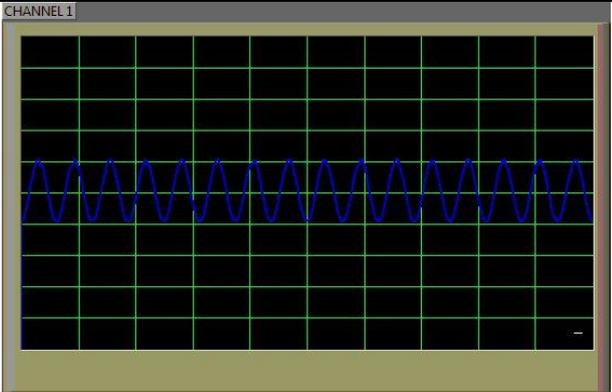
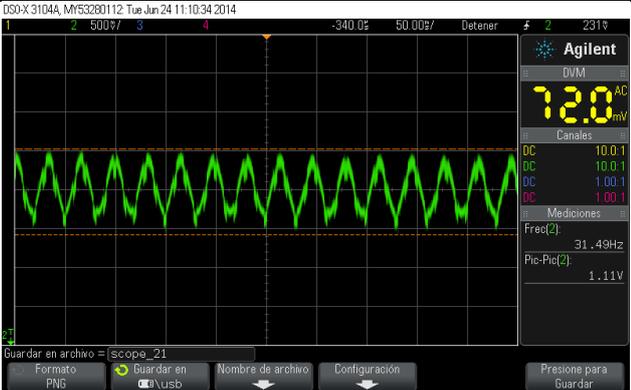
GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G		
FRECUENCIA (Hz)		AMPLITUD (Voltios pico)
30		0,5
OSCILOSCOPIO VIRTUAL		
FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)	31,9, Hz	
FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)	30,4Hz	
AMPLITUD RECIBIDA (Vp)	0,62 Voltios	
MANDO AMPLITUD	0,5 Voltios /División	
MANDO TIEMPO DIVISION	50 ms /División	
OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A		
FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)	31,4	
AMPLITUD RECIBIDA (Vp)	0,55	
MANDO AMPLITUD	0,5 Voltios /División	
MANDO TIEMPO DIVISION	20 ms /División	

Figura 5.2. Medida tensión alterna 30Hz

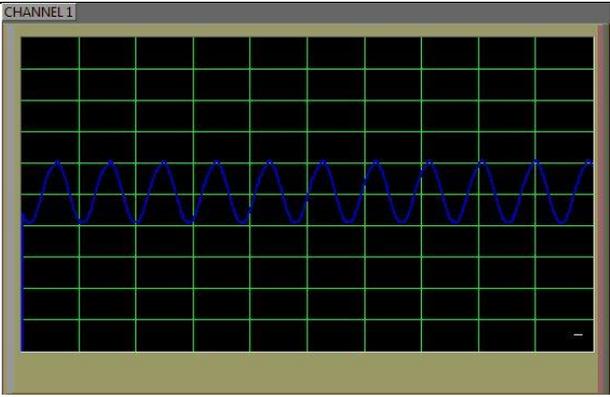
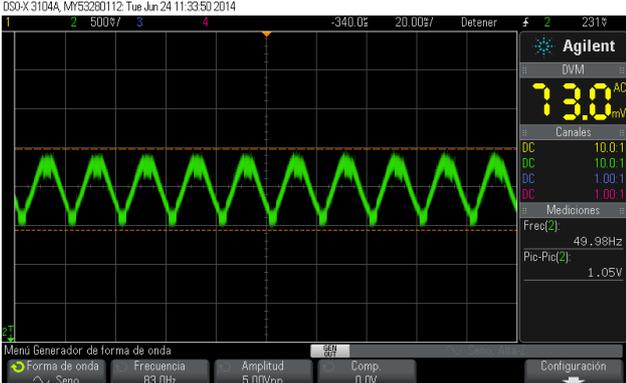
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>		
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>	
50	0,5	
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	53,66 Hz	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	51,5	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,62 Voltios	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	20 ms /División	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	49,9	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,5	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	20 ms /División	

Figura 5.3. Medida tensión alterna 50Hz

- FRECUENCIAS MEDIAS

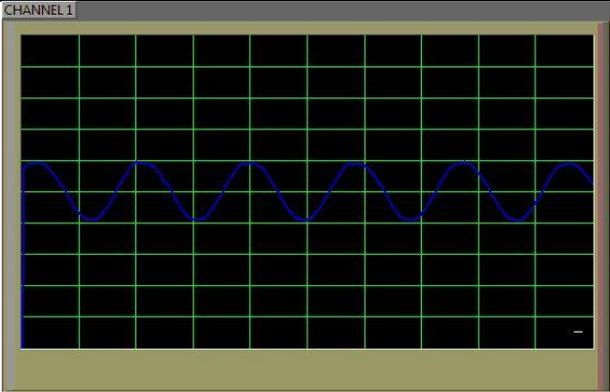
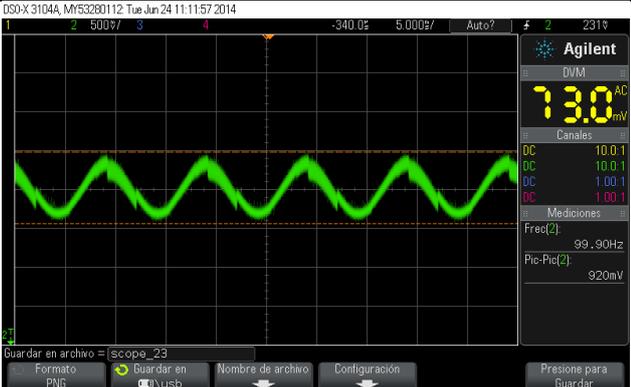
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>		
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>		<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>
100		0,5
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	107,33 Hz	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	106Hz	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,62 Voltios	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	5 ms /División	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	99,9	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,45	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	5 ms /División	

Figura 5.4. Medida tensión alterna 100Hz

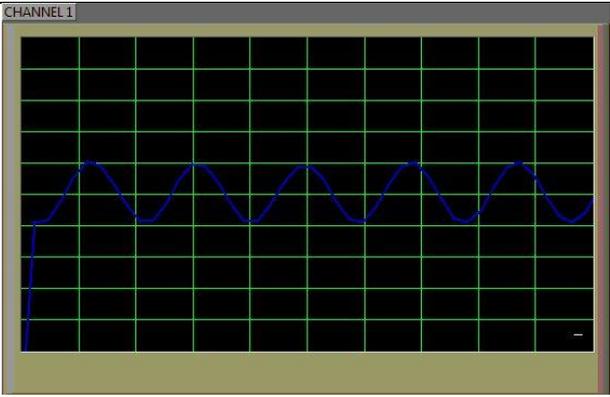
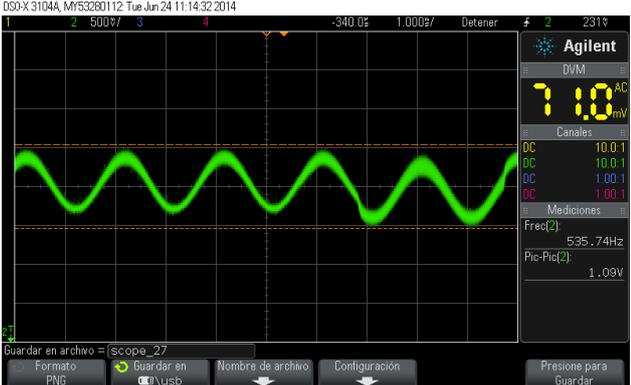
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>		
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>	
500	0,5	
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	537,41 Hz	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	530 Hz	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,62 Voltios	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	1 ms /División	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	535,74	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,5	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	20 ms /División	

Figura 5.5. Medida tensión alterna 500Hz

- FRECUENCIAS ALTAS

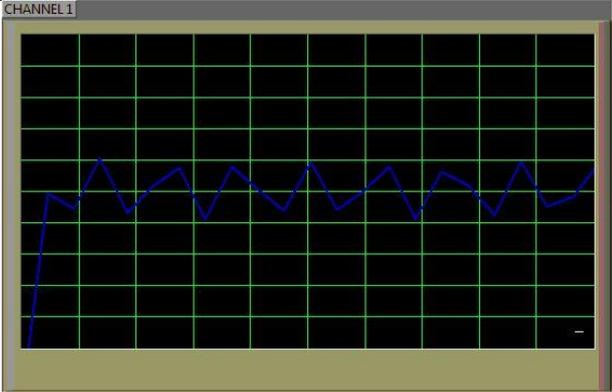
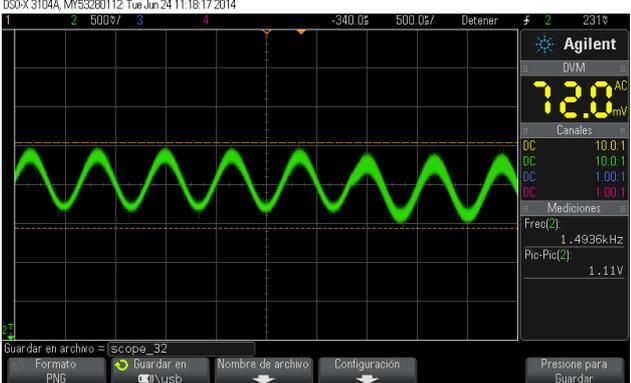
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>	
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>
1500	0,5
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	1620 Hz
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	1500 Hz
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,62 Voltios
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	500 us /División
	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	1490
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,55
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,5 Voltios /División
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	20 ms /División
	

Figura 5.6. Medida tensión alterna 1500Hz

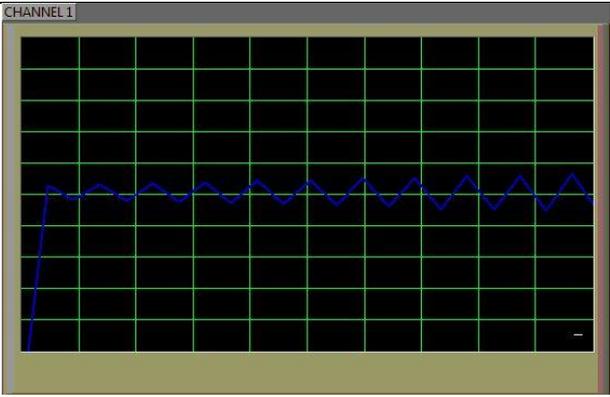
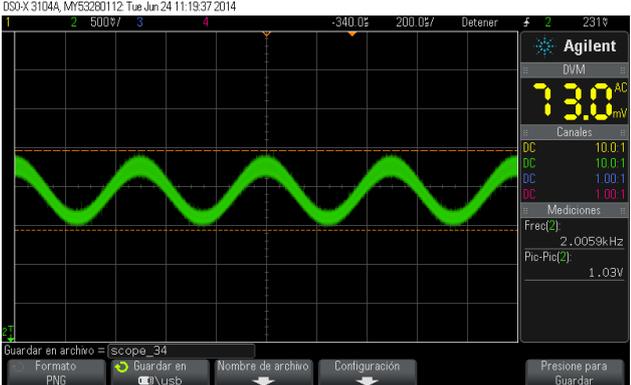
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>		
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>	
<b>2000</b>	<b>0,5</b>	
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	<b>2160</b>	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	<b>2000</b>	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	<b>0,62 Voltios</b>	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	<b>0,5 Voltios /División</b>	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	<b>500 us /División</b>	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	<b>2000</b>	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	<b>0,5</b>	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	<b>0,5 Voltios /División</b>	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	<b>20 ms /División</b>	

Figura 5.7. Medida tensión alterna 2000Hz

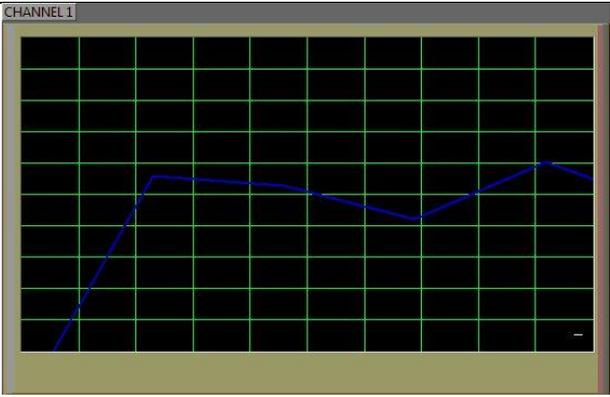
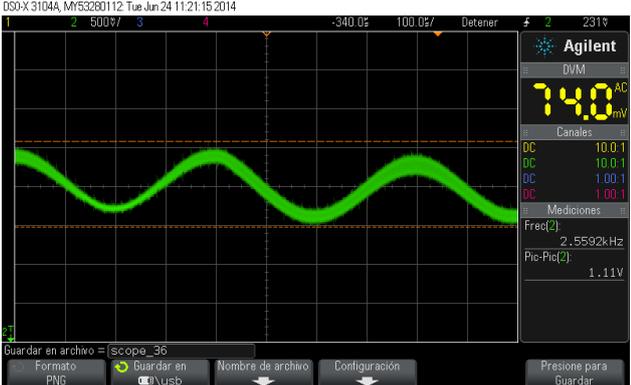
<b>GENERADOR DE TENSION ALTERNA GW –GFG-8016G</b>		
<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>AMPLITUD (Voltios pico)</b>	
<b>2500</b>	<b>0,5</b>	
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	<b>1630</b>	
<b>FRECUENCIA RECIBIDA PANTALLA (Hz)</b>	<b>1500</b>	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	<b>0,62 Voltios</b>	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	<b>0,5 Voltios /División</b>	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	<b>100 us /División</b>	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>FRECUENCIA RECIBIDA (Hz)</b>	<b>2550</b>	
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	<b>0,55</b>	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	<b>0,5 Voltios /División</b>	
<b>MANDO TIEMPO DIVISION</b>	<b>20 ms /División</b>	

Figura 5.8. Medida tensión alterna 2500Hz

5.4.1.2 TENSION CONTINUA

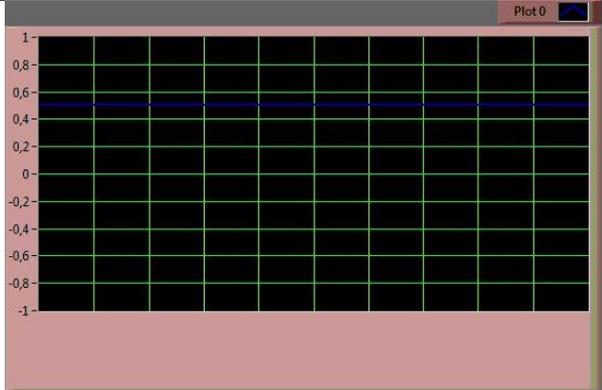
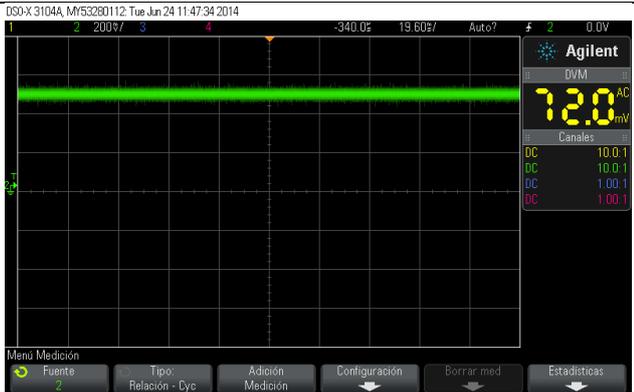
<b>GENERADOR DE TENSION CONTINUA</b>		
<b>AMPLITUD (Voltios )</b>		
0,5		
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Voltios)</b>	0,500 Voltios	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,2 Voltios /División	
		
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	0,5	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	0,2 Voltios /División	
		

Figura 5.9. Medida tensión continua 0,5V

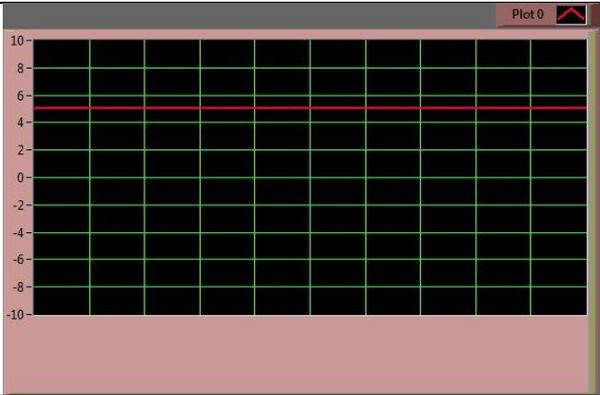
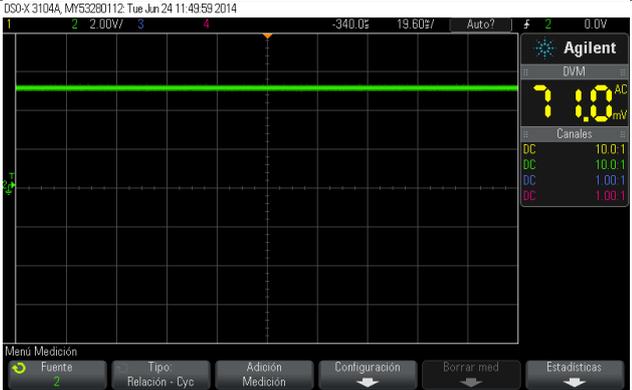
<b>GENERADOR DE TENSION CONTINUA</b>		
<b>AMPLITUD (Voltios )</b>		
5		
<b>OSCILOSCOPIO VIRTUAL</b>		
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Voltios)</b>	4,96 Voltios	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	2 Voltios /División	
<b>OSCILOSCOPIO FISICO AGILENT DSO-X 3104A</b>		
<b>AMPLITUD RECIBIDA (Vp)</b>	5	
<b>MANDO AMPLITUD</b>	2 Voltios /División	

Figura 5.10. Medida tensión continua 5V

## 5.5 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En este apartado analizaremos los resultados obtenidos tras las medidas indicadas en el apartado anterior.

### 5.5.1 TENSION ALTERNA

Primero se analizaran los resultados obtenidos con tensiones alternas en los diferentes instrumentos.

#### 5.5.1.1 OSCILOSCOPIO VIRTUAL

Se analizaran los resultados obtenidos con el osciloscopio virtual diseñado, para diferentes frecuencias y para dos valores de amplitud 0,5 Vp y 1 Vp.

El valor de la frecuencia se tomara mediante dos formas, una mediante el subvi " Harmonic Distortion Analyzer VI" y otra será interpretando la señal eléctrica que está representada en la pantalla (usuario).

Se va a analizar los resultados obtenidos comparando el osciloscopio virtual con respecto al generador de tensión alterna ( GW-GFC-8016G).

- **AMPLITUD 0,5 Vp**

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 0,5 Vp y la frecuencia se variara en cada caso.

En la siguiente grafica se analizara la frecuencia recibida mediante el subvi Harmonic Distortion Analyzer VI.

Como se ve en la grafica para frecuencias bajas el error es mínimo. Sin embargo, según vamos aumentando la frecuencia a través del generador de tensión alterna el error va aumentando. Cuando la frecuencia es 2500Hz el error toma el valor máximo. Este error puede venir provocado por la mala interpretación de la señal del subvi Harmonic Distortion Analyzer VI, y por la respuesta en frecuencia del circuito sumador (aunque el amplificador operacional tenga un ancho de banda de 0,437 a 1,5MHz [43].

### ERROR SUB VI

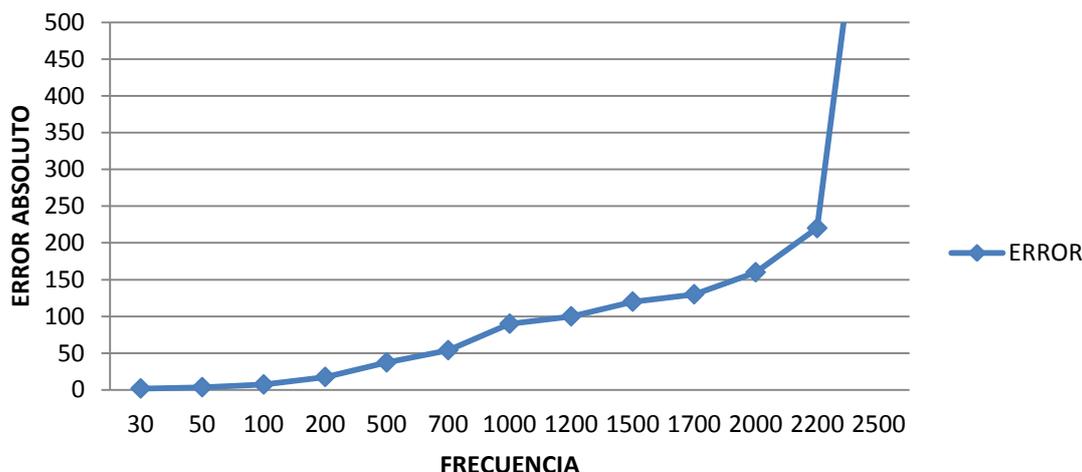


Figura 5.11. Error Absoluto de la frecuencia obtenida mediante subvi Harmonic Distortion Analyzer VI.

La siguiente figura mostrara el error de la frecuencia analizando la señal eléctrica que se muestra en pantalla.

El error desde 0Hz hasta 2000Hz es mínimo, encontrando un pico mayor en 190Hz. A partir de 2000Hz el error aumenta llegando a ser máximo para la frecuencia de 2500Hz. En este caso el error será menor que con el subvi anterior, ya que la interpretación de la señal se hará mediante la señal visualizada en la pantalla, y no influirá el subvi. Por lo tanto el error solo vendrá provocado por la mala respuesta en frecuencia del circuito sumador, cuando tenemos altas frecuencias.

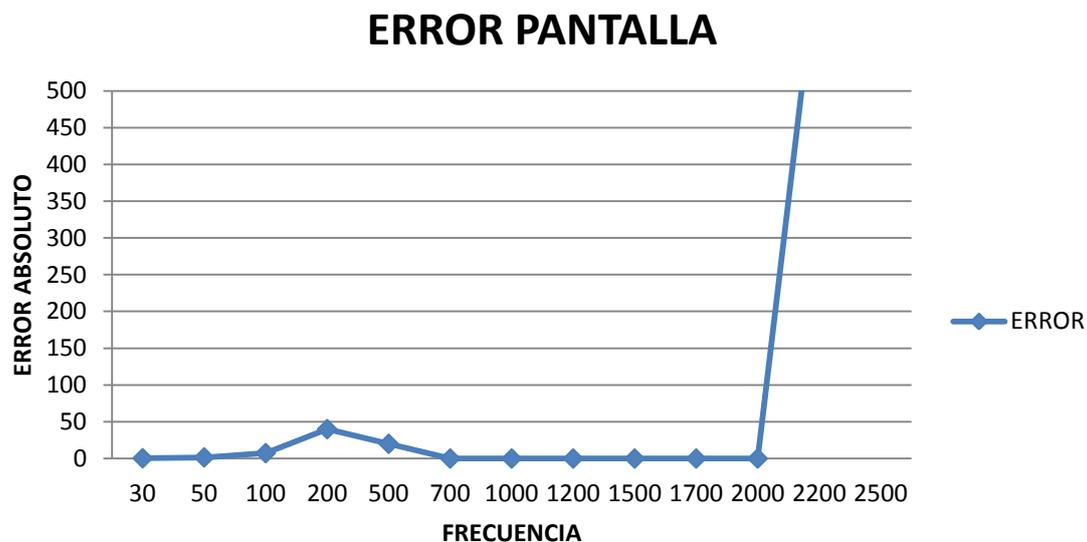


Figura 5.12. Error absoluto de la frecuencia analizando la señal eléctrica que se muestra en pantalla.

- **AMPLITUD DE 1Vp**

En otra etapa de la experimentación se varía la amplitud de la señal. Tras esto se analizará si el error aumenta o disminuye al aumentar la amplitud.

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 1 Vp y la frecuencia se variara en cada caso.

Los resultados obtenidos son equivalentes a los obtenidos con amplitud 0,5 Voltios de pico, como se ve en la siguiente figura.

### ERROR SUBVI

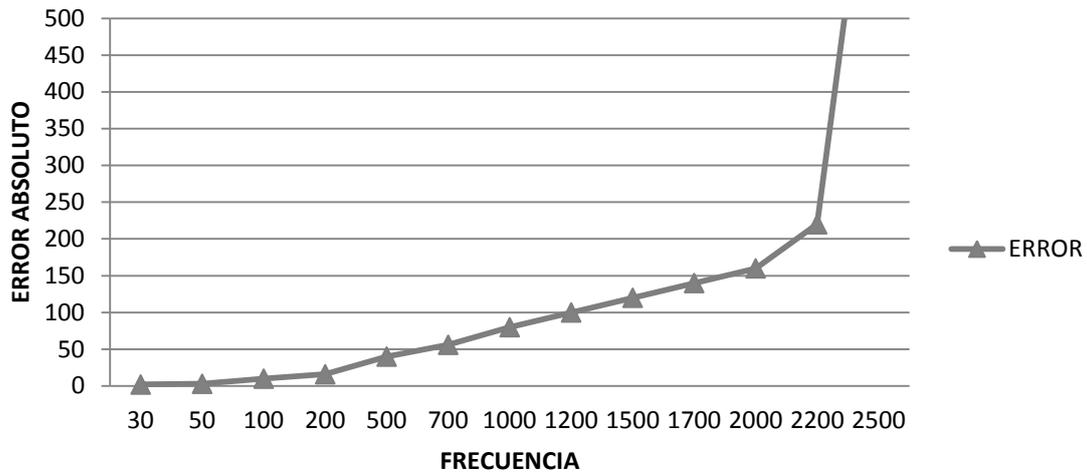


Figura 5.13. Error Absoluto de la frecuencia obtenida mediante subvi Harmonic Distortion Analyzer VI.

En la siguiente grafica se verá el error en frecuencia observando la señal en pantalla. Cuando recibimos señales con frecuencias bajas, el error es mínimo, sin embargo en 1200 Hz se tiene un valor alto del error, volviendo a funcionar correctamente en las frecuencias siguientes. El valor máximo de error se tendrá en 2500Hz. En esa zona, el Arduino será donde peor reconocerá la señal eléctrica recibida. Limitando su zona de trabajo hasta 2200Hz. Por lo tanto, al aumentar la amplitud de la señal, aumentara el error.

### ERROR PANTALLA

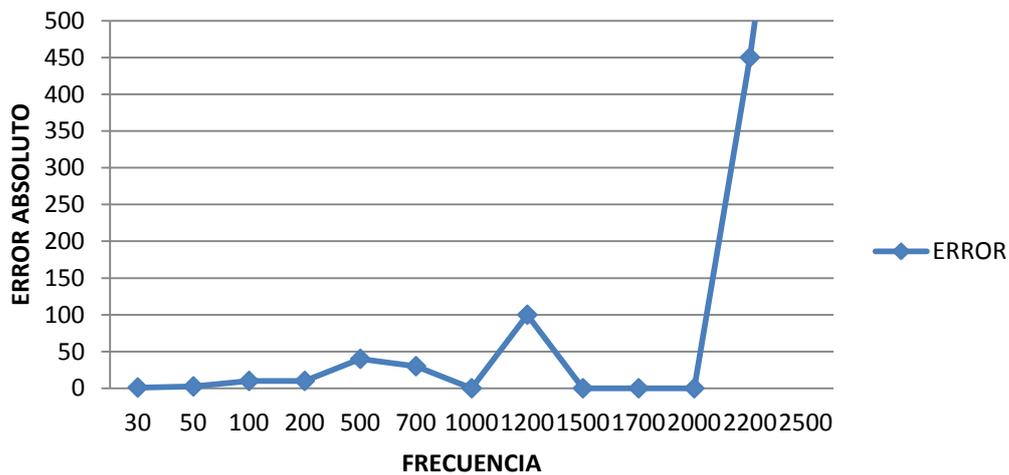


Figura 5.14. Error absoluto de la frecuencia analizando la señal eléctrica que se muestra en pantalla.

### 5.5.1.2 OSCILOSCOPIO AGILENT DSO-X 3104A

Se va a analizar los resultados obtenidos comparando el osciloscopio AGILENT DSO-X 3104A con respecto al generador de tensión alterna (GW-GFC-8016G). Estos se analizaran para amplitudes de 0,5 Vp y 1 Vp.

- **AMPLITUD 0,5 Vp**

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 0,5 Vp y la frecuencia se variara en cada caso.

Como se ve en la figura, el error obtenido es mínimo. Cuando tenemos 2200Hz el error obtiene su valor máximo. Estos son los resultados que se esperaban, ya que, es un osciloscopio de gran precisión. El error en frecuencias altas vendrá provocado por el circuito sumador, ya que, si realizamos las mismas medidas sin el circuito sumador, el error disminuirá.

### ERROR OSCILOSCOPIO

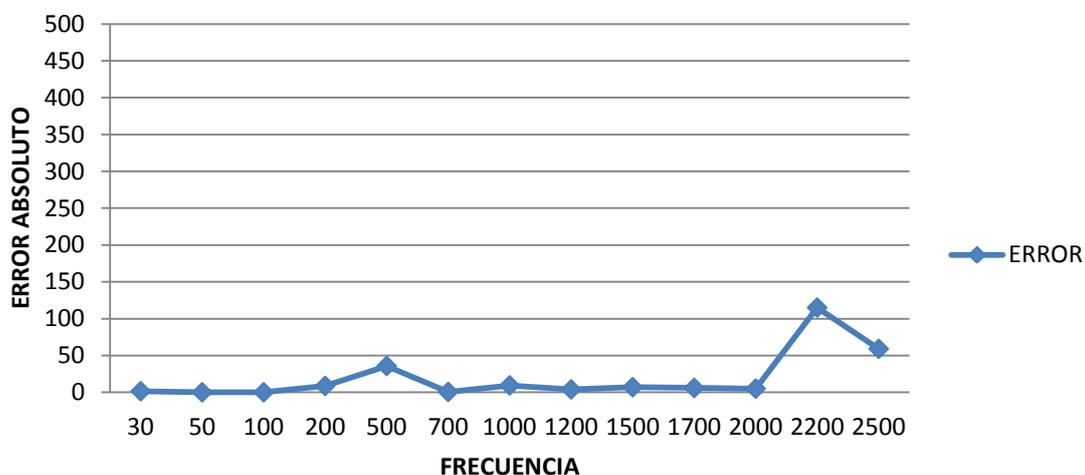


Figura 5.15. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 0,5Vp.

- **AMPLITUD DE 1Vp**

En otra etapa de la experimentación se varía la amplitud de la señal. Tras esto se analizara si el error aumenta o disminuye al aumentar la amplitud.

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 1 Vp y la frecuencia se variara en cada caso.

En los resultados obtenidos se ve que el error disminuye claramente. Siendo mínimo en todo el rango de frecuencias.

## ERROR OSCILOSCOPIO

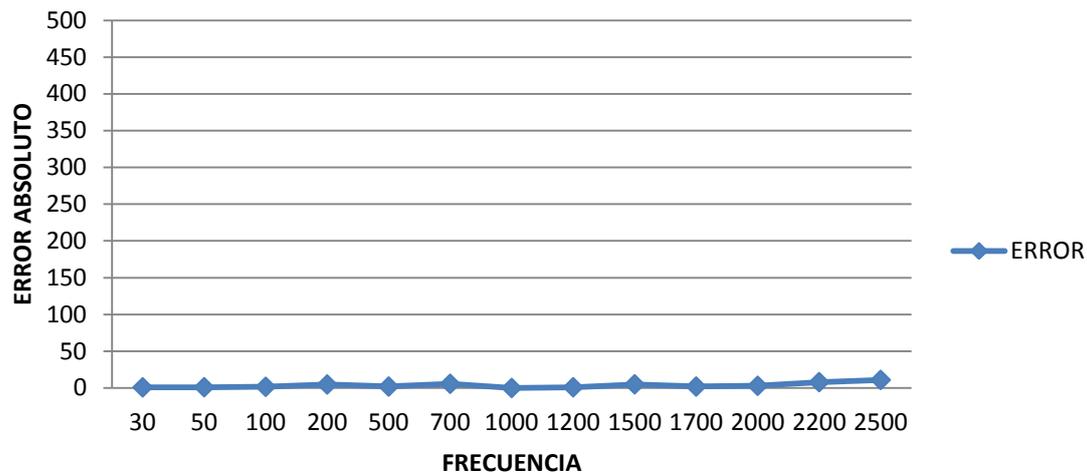


Figura 5.16. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto al generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp.

### 5.5.1.3 OSCILOSCOPIO KENWOOD CS – 4125A

Se va a analizar los resultados obtenidos comparando el osciloscopio KENWOOD CS-4125 con respecto al generador de tensión alterna (GW-GFC-8016G). Estos se analizarán para amplitudes de 0,5 Vp y 1 Vp.

Además en este apartado en la figura 5.19 se mostrarán las medidas realizadas excluyendo el circuito sumador.

- **AMPLITUD 0,5 Vp**

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 0,5 Vp y la frecuencia se variará en cada caso.

En la siguiente gráfica se puede ver que tenemos un error muy alto, a partir de 250Hz. Este resultado no era el esperado, ya que se suponía que tendríamos mejores resultados. El problema vendrá generado por los siguientes motivos, que no esté calibrado correctamente, que no funcione correctamente con amplitudes bajas y por la mala respuesta en frecuencia del circuito sumador, ya que, si hacemos las mediciones sin el circuito sumador el error bajará sustancialmente como se ve en la figura 5.19.

### ERROR PANTALLA

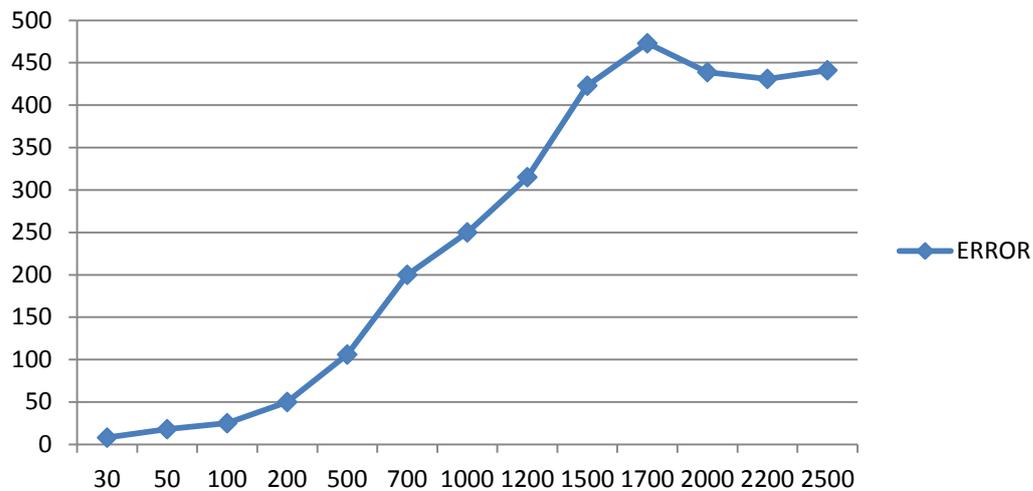


Figura 5.17. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 0,5Vp.

- **AMPLITUD DE 1Vp**

Datos de configuración:

- Amplitud constante de 1 Vp y la frecuencia se variara en cada caso.

Sin embargo, al subir la amplitud a 1Vp el error disminuye respecto al caso anterior de 0,5Vp. Pero aun así el error es muy alto. Esto puede ser que para amplitudes bajas no funcione correctamente.

### ERROR PANTALLA

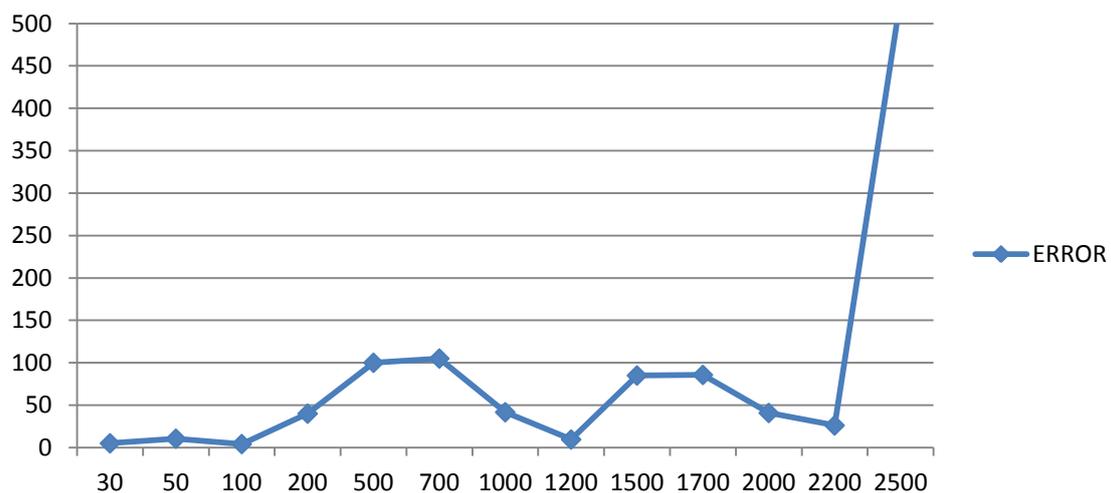


Figura 5.18. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp.

En la siguiente figura se han realizado las medidas sin el circuito sumador con una amplitud de 1Vp, para poder ver los efectos de este en las medidas y como se puede apreciar si tiene un efecto produciendo un error mayor cuando este circuito sumador está presente. Solucionar esto sería un posible futuro trabajo

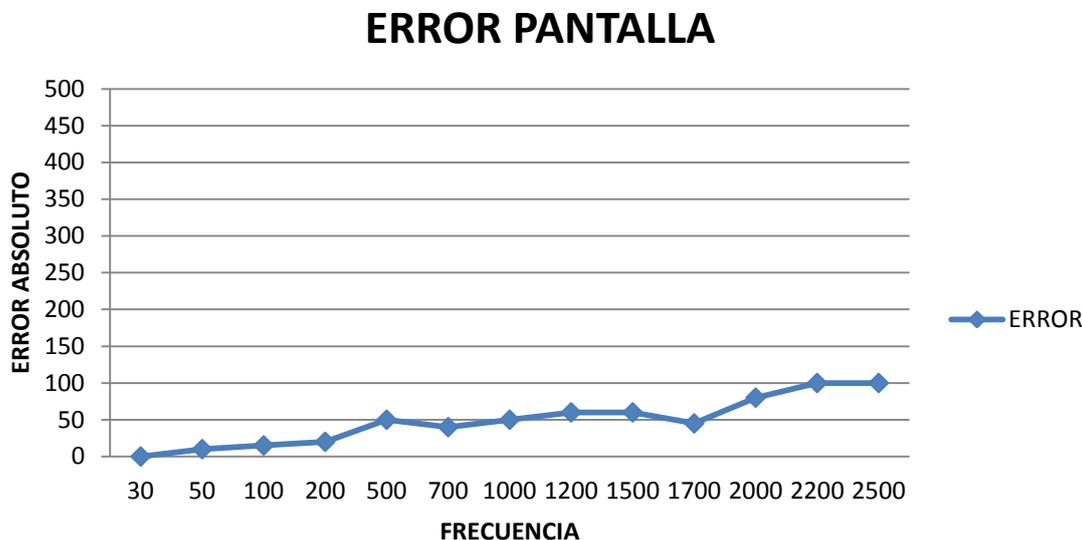


Figura 5.19. Error absoluto de la frecuencia obtenido con respecto el generador de tensión alterna con una amplitud de 1Vp sin circuito sumador.

#### 5.5.1.4 COMPARACION DE RESULTADOS OSCILOSCOPIOS

En este apartado se analizaran los resultados obtenidos en los diferentes instrumentos en dos casos para una amplitud de 0,5Vp y para una amplitud 1Vp.

- **AMPLITUD 0,5 Vp**

En la siguiente grafico veremos los errores de los osciloscopios evaluados. Se puede ver claramente que el osciloscopio con mayor precisión es el Agilent DSO-X 3104A (Osciloscopio Lab.) en todo el rango de frecuencias. Por otra parte le seguirá, el osciloscopio virtual pero cuando adquirimos la frecuencia recibida analizando la señal por pantalla. Por último, queda claro que el osciloscopio que peor funciona en este rango será el Kenwood CS – 4125A (Osciloscopio Doc.)

Los distintos errores pueden ser motivo de las siguientes razones:

En el osciloscopio virtual el error vendrá provocado por el subvi que calcula la frecuencia recibida, el motivo es que para que funcione bien este subvi le tiene que llegar una señal sin ningún tipo de distorsión, que en este caso no ocurre. Para altas frecuencias se añadirá el error del circuito sumador, ya que este no responde correctamente en frecuencias altas.

El motivo de que el osciloscopio AGILENT DSO-X 3104A tenga un error mínimo es que su analizador de frecuencias es más eficiente, y aunque llegue una señal distorsionada calculara correctamente la frecuencia. Sin embargo, el problema del circuito sumador en altas frecuencias, también lo notara, pero en menor medida.

El motivo de que el osciloscopio Kenwood CS – 4125A tenga un error en las medidas será, como dije anteriormente por la calibración errónea del instrumento de medida, el

funcionamiento erróneo en amplitudes bajas y por la mala respuesta en frecuencia del circuito sumador.

### ERROR ABSOLUTO OSCILOSCOPIOS COMPARATIVA AC

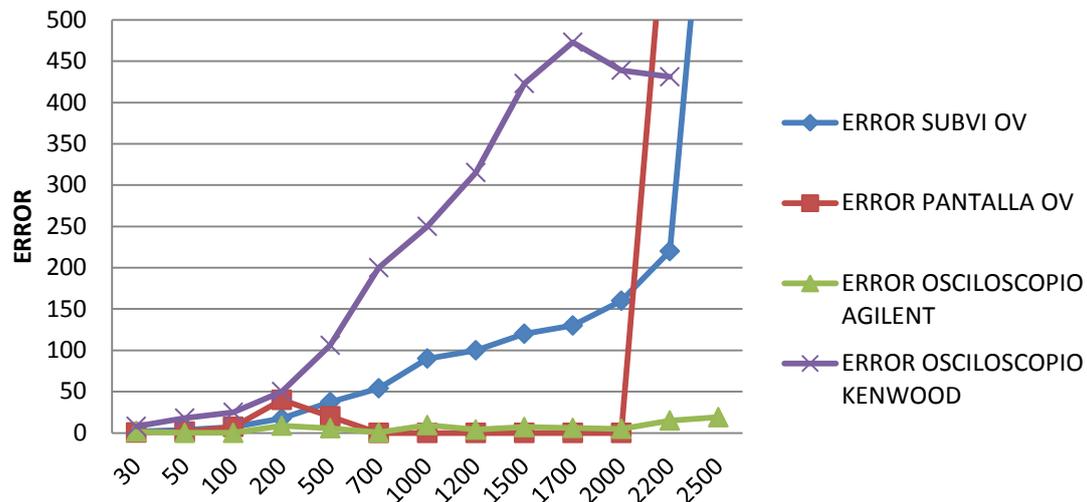


Figura 5.20. Error absoluto de la frecuencia obtenido por los diferentes osciloscopios con una amplitud de 0,5Vp.

- **AMPLITUD DE 1Vp**

En este caso tras aumentar la amplitud de la señal, el osciloscopio que mejor funciona en este rango el Agilent DSO-X 3104A (Osciloscopio Lab.).

Sin embargo, se ve un cambio importante en el osciloscopio Kenwood CS – 4125A (Osciloscopio Doc.) reduciendo su error. El osciloscopio virtual notara este aumento de amplitud, teniendo un mayor error. Los posibles motivos de estos errores serán los mismos que los explicados en el apartado anterior.

### ERROR ABSOLUTO OSCILOSCOPIOS COMPARATIVA AC

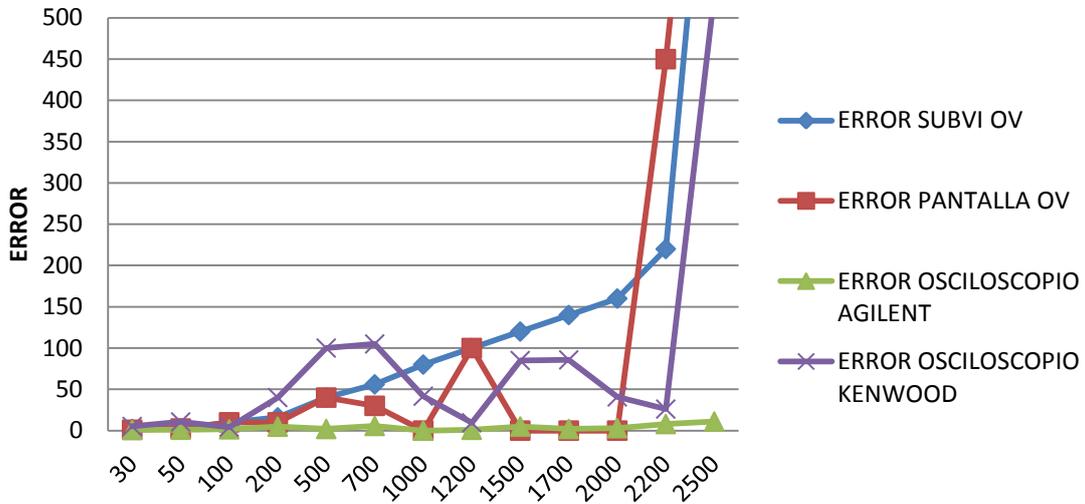


Figura 5.21. Error absoluto de la frecuencia obtenido por los diferentes osciloscopios con una amplitud de 1Vp.

#### 5.5.1.5 MULTIMETRO VIRTUAL

En este apartado se analizara el error cometido de un multímetro virtual (MV) con respecto a la señal generada por la fuente de tensión alterna.

Datos de configuración:

- Para ello se variara la amplitud desde 0,1 Vp hasta 1Vp con una frecuencia constante de valor 200Hz.

Como vemos en la figura el error será alto es amplitudes pequeñas (por debajo de 0,7Vp).

### ERROR MV

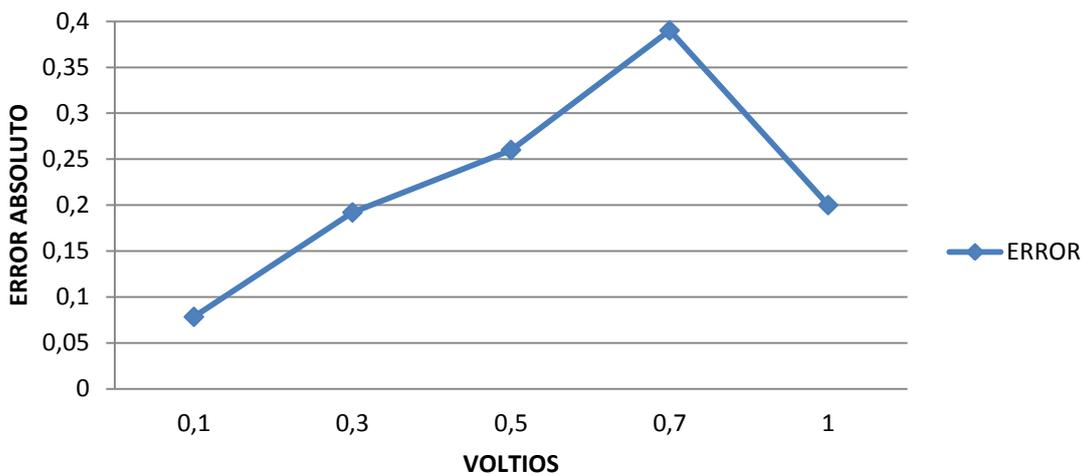


Figura 5.22. Error absoluto de la amplitud (Vp) del MV con respecto el generador de tensión alterna

### 5.5.1.6 MULTIMETRO FISICO ISO- TECH IDM 203

En este apartado se analizara el error cometido de un multímetro físico ISO- TECH IDM 203 con respecto a la señal generada por la fuente de tensión alterna.

Datos de configuración:

- Para ello se variara la amplitud desde 0,1 Vp hasta 1Vp con una frecuencia constante de valor 200Hz.

Como se ve en la figura el error será mínimo en todo el rango de amplitudes evaluadas. Este resultado era el esperado, por el grado de precisión del modelo estudiado.

### ERROR MULTIMETRO ISO-TECH IDM 203

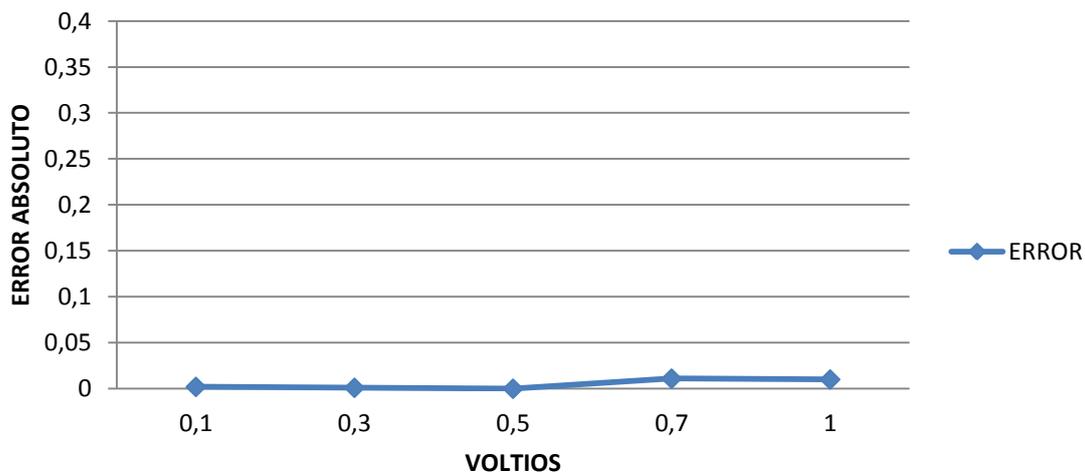


Figura 5.23. Error absoluto de la amplitud (Vp) del multímetro físico ISO- TECH IDM 203 con respecto al generador de tensión alterna.

### 5.5.1.7 COMPARACION DE RESULTADOS MULTIMETROS

A la hora de comparar los dos multímetros estudiados, se ve claramente que el modelo físico funciona mucho mejor que el Multímetro Virtual. En este caso el error obtenido en el Multímetro Virtual vendrá dado por la poca exactitud respecto a la amplitud del Arduino Uno.

## ERROR ABSOLUTO MULTIMETROS COMPARACION AC

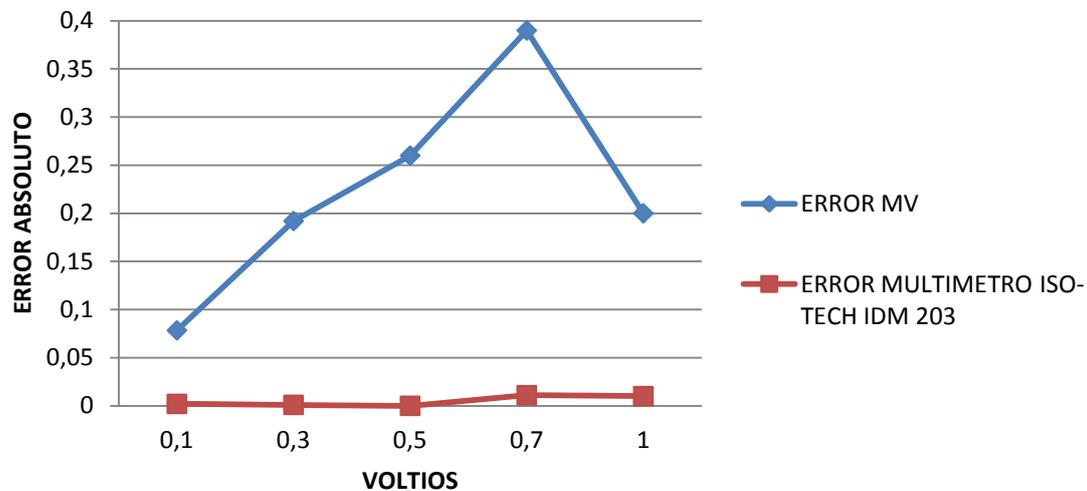


Figura 5.24. Error absoluto de la frecuencia obtenido por los diferentes multímetros

### 5.5.2 CONTINUA

En este apartado, se analizarán los resultados obtenidos con tensión continua. Este caso se hace con los siguientes datos. Se variará la tensión continua desde valores negativos hasta valores positivos. El rango será desde -5V hasta +5V, este será el rango por las limitaciones de Arduino Uno. Se analizarán los valores en los diferentes instrumentos.

#### 5.5.2.1 OSCILOSCOPIO VIRTUAL

En la siguiente gráfica, se puede ver que en todo el rango el error es mínimo, aun así hay que destacar que para señales negativas el error será más alto que en señales positivas.

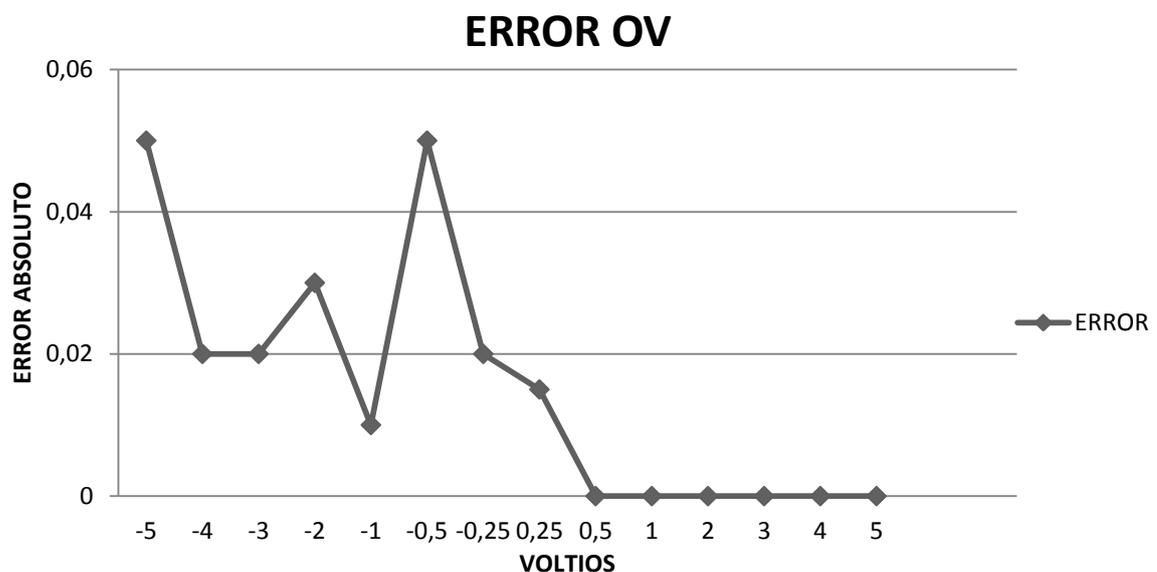


Figura 5.25. Error absoluto del voltaje del OV con respecto al generador de tensión continua.

### 5.5.2.2 OSCILOSCOPIO AGILENT DSO-X 3104A

En la siguiente grafica se analizan los resultados obtenidos, en el osciloscopio AGILENT DSO-X 3104A, como se puede observar, el error absoluto es cero. Por lo que se concluye que el instrumento tiene una gran precisión.

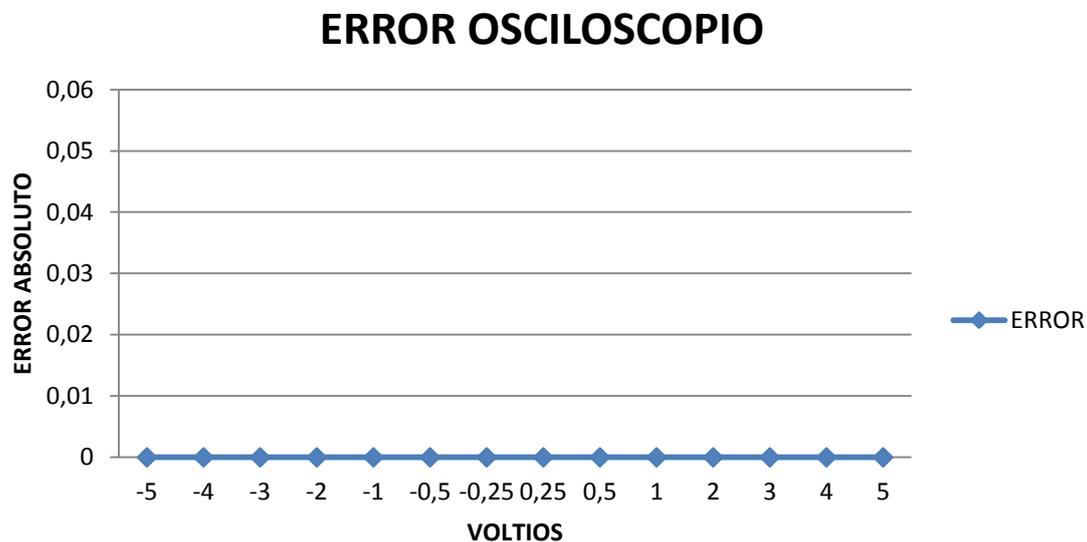


Figura 5.26. Error absoluto del voltaje del osciloscopio Agilent con respecto el generador de tensión continúa.

### 5.5.2.3 OSCILOSCOPIO KENWOOD CS - 4125A

En la siguiente grafica se analizan los resultados obtenidos, en el osciloscopio KENWOOD CS - 4125A, y como vemos en la figura los resultados son los mismos obtenidos en el apartado anterior.

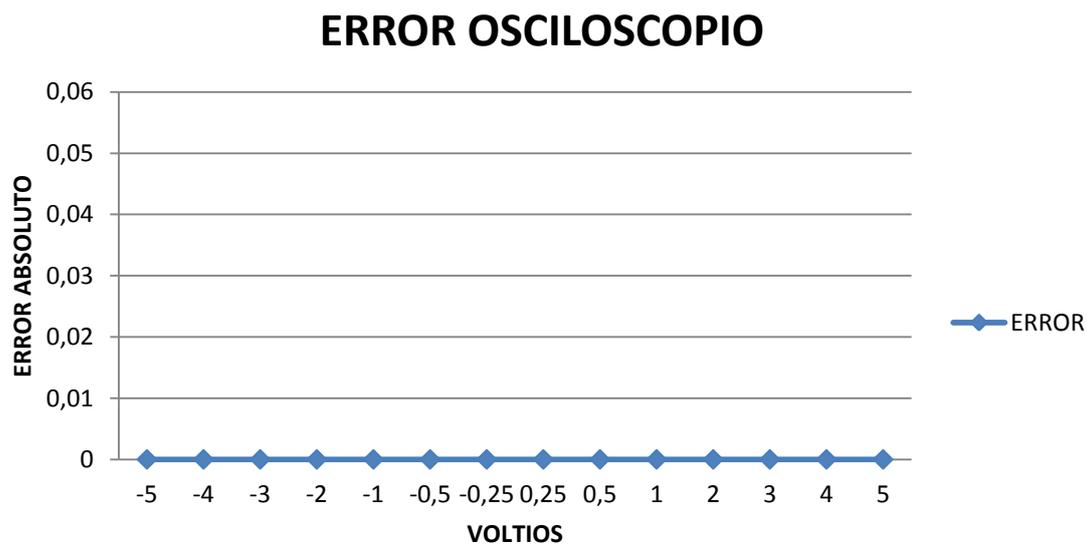


Figura 5.27. Error absoluto del voltaje del osciloscopio Kenwood con respecto el generador de tensión continúa.

5.5.2.4 COMPARACION RESULTADO DE OSCILOSCOPIOS

En este apartado evaluamos los errores de los diferentes instrumentos en tensión continua. Como podemos ver en la figura, tanto el osciloscopio AGILENT DSO-X 3104A y KENWOOD CS – 4125A tiene un error aproximadamente cero. Sin embargo en el Osciloscopio Virtual se observa que el error mayor se obtendrá con tensiones negativas, siendo despreciable el error con tensiones positivas. Este error vendrá provocado por la limitación de Arduino Uno.

**ERROR ABSOLUTO OSCILOSCOPIOS  
COMPARACION DC**

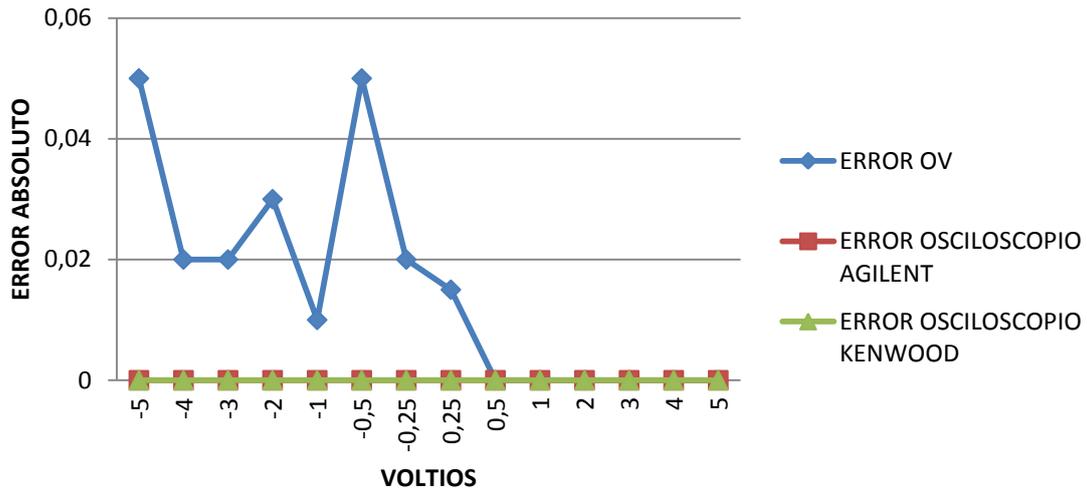


Figura 5.28. Error absoluto del voltaje obtenido por los diferentes osciloscopios.

5.5.2.5 MULTIMETRO VIRTUAL

En la siguiente grafica, se puede ver que en todo el rango el error es mínimo, aun así hay que destacar que para señales negativas el error será más alto que en señales positivas.

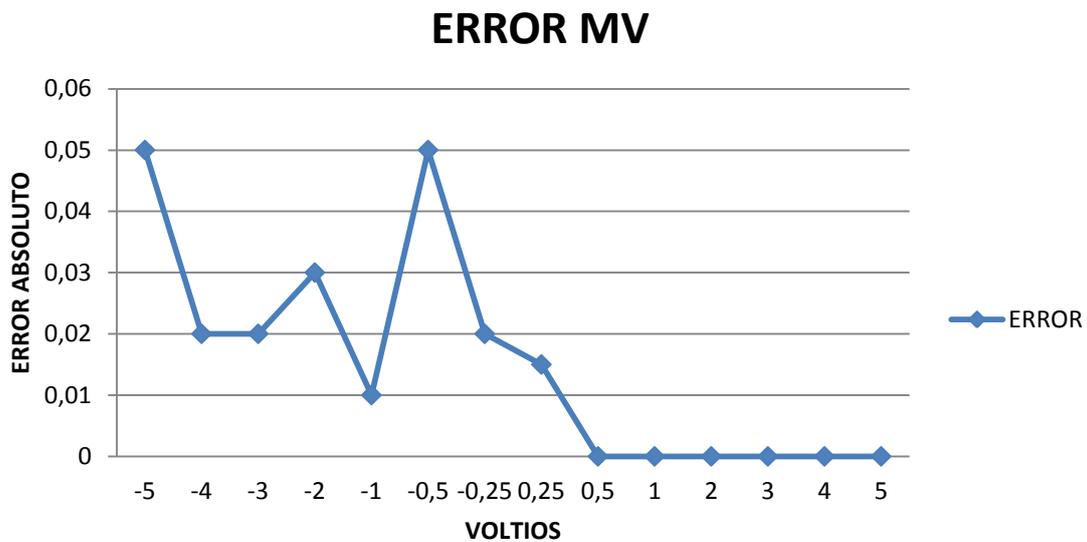


Figura 5.29. Error absoluto del voltaje del MV con respecto el generador de tensión continúa

## 5.5.1.6 MULTIMETRO ISO-TECH IDM 203

Los errores obtenidos en todo el rango son mínimos.

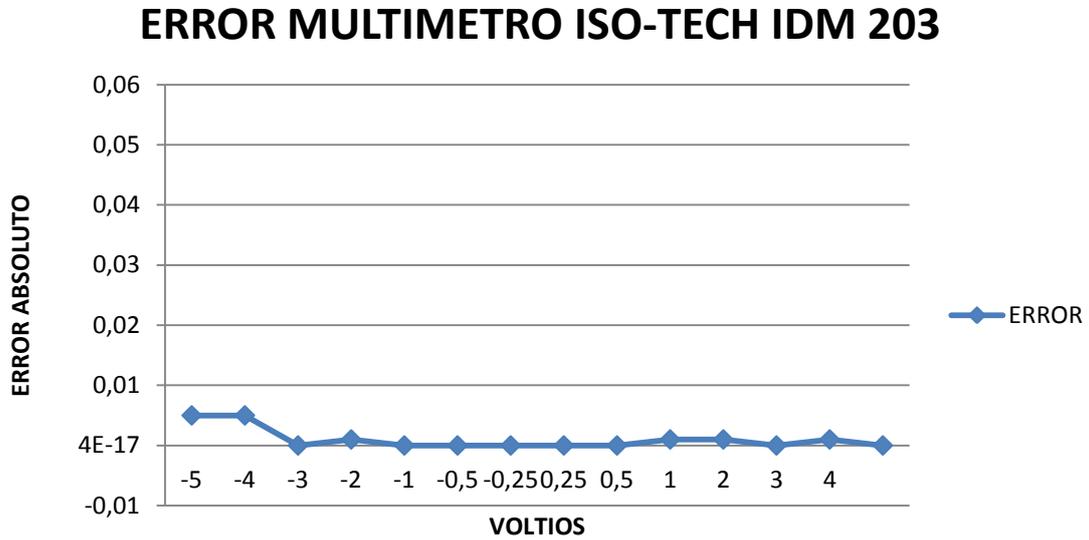


Figura 5.30. Error absoluto del voltaje del multmetro ISO- TECH IDM 203 con respecto al generador de tensión continúa

## 5.5.1.7 COMPARACION DE RESULTADOS EN MULTIMETROS

A la hora de comparar los dos multímetros estudiados, se ve claramente que el modelo físico funciona mucho mejor que el multímetro virtual. Sobre todo cuando tenemos tensiones negativas. Este error vendrá producido por la falta de exactitud del Arduino Uno con tensiones negativas.

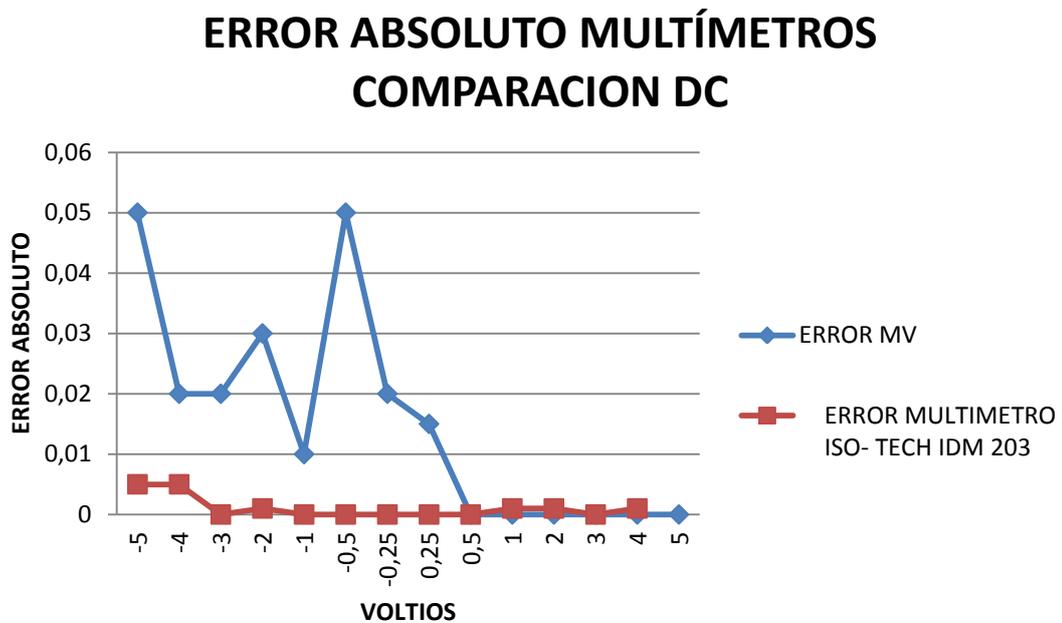


Figura 5.31. Error absoluto del voltaje obtenido por los diferentes multímetros

## CAPITULO 6

### PLANIFICACION DE COSTES

---

**RESUMEN:** En este capítulo se va a hacer una comparativa de costes entre los instrumentos de medida físicos y el diseño y construcción de instrumentos de medida virtuales. Solo se valorara el Hardware y Software y no la mano de obra humana.

#### 6.1 INTRODUCCION

Una de las ventajas que se propuso para la posible sustitución de los instrumentos físicos por los instrumentos virtuales, fue el bajo coste de estos segundos. En este apartado vamos a razonar esta ventaja.

#### 6.2 COSTE DE INSTRUMENTOS FISICOS

- **AGILENT DSO-X 3104A**

Este osciloscopio se usa en laboratorios de investigación. El precio de venta es de 3.500 € en la página web de Agilent. [44]

- **KENWOOD CS – 4125A**

Este osciloscopio se usa docencia. El precio de venta es de 200€. Al ser un producto descatalogado este precio será de un osciloscopio de segunda mano, ya que, actualmente no se vende.

- **ISO- TECH IDM 203**

Este multímetro será usado en laboratorios de investigación y también en la docencia. El precio de este producto es 300€. El precio se ha comprobado en la página de RS.[42]

#### 6.3 COSTE DE INSTRUMENTOS VIRTUALES

Ahora se estudiara el gasto a la hora de diseñar y construir un instrumento de medida virtual, se evaluara el gasto para diseñar un osciloscopio y un multímetro.

- **SOFTWARE**

Lo primero será comprar la licencia del software utilizado, en este caso será Labview 2011. Se podrán elegir entre diferentes paquetes de licencias por un lado para empresas y por otro lado para estudiantes e investigadores.

National Instruments ofrece los siguientes paquetes software para empresas. Cada paquete ofrece una serie de librerías, las cuales están disponibles para explotación de las empresas que paguen la licencia, por un total de un año, dos años, cinco años o diez años. Los precios de licencia por un año de todos los paquetes software que ofrece National Instruments se presentan a continuación:



Figura 6.1. Licencias disponibles Labview empresas

Si elegimos el paquete básico nos costara 1299€.

La licencia para fines de educación e investigación tendrá un descuento respecto a la licencia para empresas. En este caso también habrá varios paquetes:

- Licencia para educación primaria o secundaria [45].  
1 año 132€, 2 años 195€, 3 años 225€.
- Licencia para universidades y fines de investigación

#### Compare las Opciones del Software LabVIEW para Estudiantes



Figura 6.2. Licencias disponibles de Labview estudiantes (universidades)

- **HARDWARE**

Tras adquirir la licencia del software se calculara el gasto del hardware usado.

Los componentes usados serán:

Arduino Uno precio 40€. [16]

Circuito Sumador (Resistencias y amplificador operacional 741) coste aproximado 1€.[46]

Precio total 41€.

## 6.4 COMPARATIVA

Tras indicar el coste de los diferentes productos, se puede concluir que el coste de los instrumentos de medida virtuales será una ventaja en comparación con el precio de los instrumentos de medida físicos. Aunque la licencia del software Labview suponga un gran desembolso, esta se podrá reutilizar, generando beneficios en un periodo, dependiendo del número de instrumentos virtuales diseñados.

## PARTE 3. FINALIZACION

### CAPITULO 7

## CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

En este trabajo se realiza un estudio detallado sobre la posible sustitución en los laboratorios de investigación y en la docencia de los instrumentos de medida físicos por instrumentos de medida virtuales.

Tras las experimentaciones realizadas y el posterior análisis de los resultados obtenidos se deducen una serie de conclusiones.

Conclusiones de los instrumentos de medida virtuales diseñados:

- El osciloscopio virtual diseñado tendrá un funcionamiento correcto para amplitudes de 1 Vp y su ancho de banda de funcionamiento será de 0Hz hasta 2200Hz, en el caso de tensiones alternas. Sin embargo, para tensiones continuas el rango de funcionamiento será desde -5V hasta 5V. (No se ha experimentado con tensiones más altas por las limitaciones de tensión de entrada del Arduino Uno explicadas en el apartado 3.1.5).
- Los rangos de funcionamiento del multímetro virtual diseñado serán los mismos que en el caso del osciloscopio virtual.
- El error en la medida de la frecuencia (AC) vendrá producido en parte por el circuito sumador, por lo tanto se valoraran diferentes posibilidades en futuros trabajos.

Conclusiones sobre la posible sustitución de instrumentos de medida físicos por instrumentos de medida virtuales:

Tras el análisis de los resultados obtenidos concluimos que la sustitución de los instrumentos de medida usados en los laboratorios de investigación, de momento no será apta, ya que la precisión obtenida con los instrumentos virtuales es deficiente. Siendo este un motivo importante, ya que, en los laboratorios dedicados a la investigación se requerirá la mayor precisión posible.

Sin embargo, en el caso de la sustitución de los instrumentos de medida usados en la docencia, se considera que si podría ser apta la sustitución.

Esto podrá ser posible, ya que, en este caso la precisión no tendrá que ser alta, y además tendremos las ventajas de los instrumentos virtuales que se indicaron en el capítulo 1.

### 7.1 CONTRIBUCIONES

La principal contribución de este trabajo es el reemplazo de instrumentos de medida físicos por instrumentos de medida virtuales.

Además tendremos otra serie de contribuciones:

- Estudio sobre la conectividad del Arduino Uno como tarjeta de adquisición con el software Labview 2011. Donde se han mostrado los puntos fuertes y las limitaciones de esta unión Arduino-Labview.
- Plantear e implementar un entorno gráfico que mejore el uso del instrumento virtual respecto al instrumento de medida físico.

### 7.2 FUTUROS TRABAJOS

Los resultados obtenidos justifican y muestran la necesidad de ampliar este estudio preliminar.

Nuestros trabajos futuros en esta línea se encuentran orientados a:

1. Comparar este trabajo para diferentes tarjetas de adquisición y ver sus resultados.
2. Estudiar cómo mejorar la exactitud y el rango de frecuencias de funcionamiento del instrumento virtual.
3. Añadir las siguientes opciones al osciloscopio virtual:
  - a. Añadir mayor número de canales
  - b. Añadir control de disparo de sincronismo trigger.
  - c. Modo XY (Canal 1 en función del canal 2)
4. Suministrar a un grupo de usuarios, los instrumentos virtuales diseñados para que sean evaluados.
5. Construir sondas de medida para el osciloscopio virtual y el multímetro virtual.
6. Ampliar el número de instrumentos virtuales.
7. Diseño y construcción de un circuito rectificador de doble onda de precisión y comparador analógico como sustitución del circuito sumador.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Newsletter Instrumentation 2009.([http://download.ni.com/pub/devzone/tut/abril-junio\\_2009.pdf](http://download.ni.com/pub/devzone/tut/abril-junio_2009.pdf)) [Fecha de consulta 16/4/2014]
- [2] J., Svetlana. "The Father Of Labview." *IEE Review* 49.9: 30-33. 2003
- [3] F. A. , F. Torres, P. Gil, F. Ortiz, S. Puente, J. Pomares. "Laboratorio Virtual Remoto Para Robótica y Evaluación de su Impacto en la Docencia". Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol.1, Num.2, Julio 2004.
- [4] B.C. Andrés Ibarra , S. Medina , N.Álvaro Bernal."Implementación de un Laboratorio Virtual Para el Estudio de Dispositivos Electrónicos". Revista TE & ET; Núm. 2, 2007.
- [5] J. Silvio." La Virtualización De La Educación Superior: Alcances, Posibilidades y Limitaciones". Educación Superior y Sociedad VOL 9 Núm. 1:27-50, 1998
- [6] J. Monge-Nájera, M. Rivas Rossi , V. Hugo Méndez-Estrada. "La Evolución De Los Laboratorios Virtuales Durante Una Experiencia De Cuatro Años Con Estudiantes a Distancia". Centro para el Mejoramiento de los Procesos Académicos (CEMPA), UNED.
- [7] R. Chacón Rugeles."La Instrumentación Virtual En La Enseñanza De La Ingeniería Electrónica". Acción Pedagógica, Vol. 11, Num.1:74-84 ,2002.
- [8] J. Travis, J. Kring." LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun" (National Instruments Virtual Instrumentation Series). Prentice Hall PTR, 2006.
- [9] G. W Johnson. "LabVIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control". McGraw-Hill School Education Group, 1997.
- [10] Licencia de desarrollo Labview (National Instruments) (<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/13751>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [11] Licencia de Sitio Académica (National Instruments) (<http://www.ni.com/white-paper/14972/es/>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [12] Tarjetas de adquisición de datos DAQ (National Instruments) (<http://www.ni.com/data-acquisition/esa/>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [13] J .González-Domínguez . "Monitoreo de Potencia Eléctrica y Temperatura en un Módulo Fotovoltaico Usando Labview y Arduino."
- [14] A. Hanggoro. "Green House Monitoring and Controlling Using Android Mobile Application." *QiR (Quality in Research), 2013 International Conference on. IEEE*, 2013.
- [15] L. Ruiz Peñalver. "Development Of An Electronic Device Using Pluviometer And Modbus Communication."
- [16] Arduino . (<http://www.arduino.cc/es/>) [Fecha de consulta 15/3/2014]

- [17] N. Toalombo, C. Geovanny, G. J. Urquizo Buenaño. "Diseño e Implementación de un Módulo de Pruebas Mediante Labview Para la Medición de Parámetros en Calentadores Solares." 2014.
- [18] J. Sarik , I. Kymissis. "Lab Kits Using the Arduino Prototyping Platform." *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*. IEEE, 2010.
- [19] J. Diaz. "Open Source and Low Cost Virtual Instrumentation System for Teaching of Electronics in Technical Education." *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAE), 2012. IEEE, 2012.*
- [20] R.Martínez. "Instrumentación Virtual Industrial Para Uso Educativo". Tesis Universidad de Santiago; 1999.
- [21] I.Alvarado ."Simulación y Control de Procesos con Programación Grafica";BS ME, Kansas State University.
- [22] "Data acquisition (DAQ) Fundamentals; Application Note 007; National Instruments (<http://www.ni.com/latam>) [Fecha de consulta 2/3/2014]
- [23] J.Oxer,H. Blemings, 2009. "Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware" (1ª edición). Apress. p. 500.ISBN 1430224770,2009.
- [24] J.Noble. "Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino, and openFramework" (1ª edición). O'Reilly Media. p. 768. ISBN 0596154143,2009.
- [25] M.Banzi. "Getting Started with Arduino "(1ª edición). Make Books. p. 128. ISBN 0596155514,2009.
- [26] H.Barragán. "¿ Que es Wiring?" *DEARQ: Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes* 8, 156-158,2011.
- [27] J.R.Lajara Vizcaíno."LabVIEW: Entorno Gráfico de Programación",Barcelona Marcombo , 2011.
- [28] J.del Río Fernández. " LabVIEW : Programación Para Sistemas de Instrumentación" Madrid : Ibergarceta, 2011.
- [29] R. H. Bishop."LabVIEW 2009 : Student Edition" Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, cop. 2010
- [30] J.M Ruiz Gutiérrez. "Utilización de Labview Para la Visualización y Control de la Plataforma Open Hardware Arduino.Version 1.0,2010.
- [31] El XYZ de los osciloscopios. (Tektronix). ([www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)) [Fecha de consulta 15/3/2014]

- [32] R.V.Erk .“Osciloscopios : Funcionamiento y Ejemplos de Medición” Madrid : Paraninfo, 1990.
- [33] P.E.Klein ” El Osciloscopio : Introducción a la Técnica de Circuitos de los Osciloscopios y su Aplicación Práctica” Barcelona, Marcombo, 1980
- [34] N.Braga ” Cómo Usar el Osciloscopio”. En *Saber Electrónica, Volumen 3, Nº 11, 1991.*
- [35] A. Castejon . “Tecnología Eléctrica”. Madrid: McGraw-Hill, 1993.
- [36] E.Harper.” Fundamentos de Electricidad. Dispositivos y Circuitos en Corriente Continua”. Volumen 2. México: Limusa,1994.
- [37] Tektronix,” Operación Básica del Osciloscopio”. En *Electrónica fácil* Nº 10 Medellín: Divulgación Técnica Electrónica,1990.
- [38] Osciloscopio Agilent Infiivision 3000 serie X. Guia de Usuario.pdf (<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/75019-97072.pdf>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [39] Osciloscopio Agilent Infiivision 3000 serie X. Hoja de datos.pdf (<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-6619ESE.pdf>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [40] Catalogo productos tequipment .(<http://www.tequipment.net/KenwoodCS-4125A.html>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [41] Polímetro Manual del Laboratorio de Física de la ETSIT de Madrid, España. (<http://www-app.etsit.upm.es/departamentos/fis/assignaturas/Guiones/3-1%20%20EL%20POLIMETRO%20DIDACTICO.pdf>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [42] Catalogo RS(Multímetros).(<http://es.rs-online.com/web/p/multimetros-digitales/0212900/>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [43] Datasheet Texas Instruments Amplificador Operacional LM741. ([www.ti.com](http://www.ti.com)) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [44] Catalogo productos Agilent(<http://www.home.agilent.com/en/pd-1947865-pn-DSOX3014A/oscilloscope-100-mhz-4-channels?nid=-33573.970761&cc=ES&lc=eng>) [Fecha de consulta 15/3/2014]
- [45] Licencia Labview para la Educación(National Instruments) (<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/204940>) [Fecha de consulta 15/3/2014]

- [46] Catalogo RS(Componentes electrónicos)(<http://es.rs-online.com/web/c/semiconductores/amplificadores-y-comparadores/amplificadores-operacionales/?searchTerm=741> ) [Fecha de consulta 15/3/2014]