



SISTEMA AUTOMÁTICO DE CALIBRACIÓN DEL CALIBRADOR FLUKE 5500 A

Alberto Córcoles Castro

Tutor: José María Grima Palop

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2019-20

Valencia, 16 de noviembre de 2020



Resumen

Este proyecto trata sobre la automatización del proceso de calibración de un instrumento de medida, en este caso es el calibrador FLUKE 5500 A. Gracias al entorno de trabajo LabView, desarrollado por National Instruments, podemos programar el hardware directamente y obtener los valores de medida en el ordenador directamente y operar con dichos datos. El programa está desarrollado de modo que el calibrador dará el valor de la unidad a calibrar y mediante un multímetro obtendremos el valor que realmente está generando. Este proceso medirá tensión continua y alterna (V_{DC} y V_{AC}), corriente continua y alterna (I_{DC} y I_{AC}) hasta un amperio y resistencia (R), incluido valores de temperatura usando valores Pt100.

Resum

Aquest projecte tracta sobre l'automatització del procés de calibració d'un instrument de mesura, en aquest cas és el calibrador FLUKE 5500 A. Gràcies a l'entorn de treball LabView, desenvolupat per National Instruments, podem programar el hardware directament i obtindre els valors de mesura en l'ordinador directament i operar amb aqueixes dades. El programa està desenvolupat de manera que el calibrador donarà el valor de la unitat a calibrar i mitjançant un multímetre obtindrem el valor que realment s'està generant. Aquest procés mesurarà la tensió contínua i alterna (V_{DC} i V_{AC}), la corrent contínua i alterna (I_{DC} i I_{AC}) fins a un amperi de resistència (R), inclòs valors de temperatura utilitzant valors PT100.

Abstract

This project consists in the automation of the process of the calibration of a measure instrument, which in this case is calibrator FLUKE 5500 A. Owing to the work environment LabView, developed by National Instruments, it is possible to program the hardware directly, to obtain the measure values straight into the computer and to operate with that same data. The program is developed in order to enable the calibrator to provide the value of the unity to calibrate, also, by using a multimeter, we would obtain the value which is actually being generated. This process will measure the direct and alternating voltage (V_{DC} & V_{AC}), direct and alternating current (I_{DC} & I_{AC}) until one amp of resistance (R), including temperature values by using Pt100 values.



Índice

Capítulo 1.	Introducción	3
1.1	Palabras claves	3
1.2	Objetivo del proyecto	3
1.3	Trazabilidad.....	3
1.4	Proceso de calibración.....	3
1.5	LabView	5
1.6	Bus GPIB	5
Capítulo 2.	Metodología de trabajo.....	8
2.1	Gestión de proyecto.....	8
2.2	Distribución en tareas.....	8
2.3	Estructura LabView.....	8
2.3.1	Estructura principal	8
2.3.2	Programación	8
Capítulo 3.	Desarrollo y resultados.....	10
3.1	Fichero de configuración.....	10
3.2	Selector.....	11
3.2.1	Front Panel	11
3.2.2	Block Diagram	12
3.3	Medida de Tensión.....	15
3.3.1	Tensión continua (VDC)	15
3.3.2	Tensión alterna (VAC)	17
3.4	Medida de Tensión Auxiliar.....	18
3.4.1	Tensión continua (VDC)	19
3.4.2	Tensión alterna (VAC)	20
3.5	Medida de Corriente.....	22
3.5.1	Corriente continua (IDC)	22
3.5.2	Corriente alterna (IAC)	24
3.6	Medida de resistencia.....	25
3.6.1	4 terminales	27
3.6.2	2 terminales	27
3.7	Medida de Temperatura	28
3.7.1	Temperatura por pt100 (Ω)	30
3.7.2	Temperatura por termopar (nV)	32



3.8	Control de datos	33
Capítulo 4.	Conclusión.....	35
Capítulo 5.	Bibliografía.....	36



Capítulo 1. Introducción

1.1 Palabras claves

Medida, Calibración, Incertidumbre, LabView, GPIB.

1.2 Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es la automatización del proceso de calibración de un instrumento de Laboratorio de Instrumentación y Calidad de la Universidad Politécnica de Valencia.

El instrumento por calibrar es el calibrador FLUKE 5500 A y mediremos los valores que este genera con el multímetro Agilent 3458 A y el nano multímetro Agilent 34420. De este modo sabremos si los valores que genera el calibrador son precisos o no.

1.3 Trazabilidad

Según la Real Academia Española (RAE), la trazabilidad se define como: “*Serie de procedimientos que permiten seguir el proceso de evolución de un producto en cada una de sus etapas.*”. En términos de ingeniería, la trazabilidad es importante ya que si un determinado equipo tiene un fallo es necesario saber dónde ha sido generado. Por ejemplo, para un proyecto de electrónica cualquiera se ha utilizado un multímetro que por lo que fuese no está bien calibrado y gracias a los valores que este multímetro el proyecto de desarrolla en unas condiciones que aparentemente están bien. Cuando se detecta dicho error se descubre que es causado por el multímetro que en vez de medir 1V, medía 1.1V. Gracias a la trazabilidad se tendría acceso al organismo que ha calibrado ese multímetro y se podrían emprender las acciones oportunas.

Por otro lado, es una etiqueta de calidad, porque si un instrumental depende de un anterior y así reiteradamente, toda esa cadena depende de la calidad del miembro anterior, por lo que el resto de los instrumentos estarán amparados bajo el nombre del anterior garantizando así la calidad de la marca.

1.4 Proceso de calibración

El proceso de calibración sigue una metodología repetitiva, donde se invierte mucho tiempo, en la que se tiene que tomar varias veces el valor de una medida, en este caso generado con el calibrador FLUKE 5500 A, con esos resultados calculas la media y la desviación típica para calcular la incertidumbre de dicho valor generado. Llamamos incertidumbre al máximo error que toma el valor, es decir la exactitud con la que por ejemplo si estamos generando una resistencia con un valor de $1\text{ K}\Omega$, cual es la seguridad con la que ese es el valor exactamente. Suele representarse de la forma $1.00\text{ K}\Omega \pm 0.02$, lo que significa que el valor generado es como mucho $1020\ \Omega$ o como mínimo $980\ \Omega$.



La persona a cargo de la calibración debe anotar al menos diez medidas con la que calcular la incertidumbre para todos los rangos de una unidad, siguiendo con el ejemplo de la resistencia los rangos de medida son los siguientes:

$$11 \Omega = 1 \Omega \ 9 \Omega$$

$$33 \Omega = 11 \Omega \ 33 \Omega$$

$$110 \Omega = 33 \Omega \ 100 \Omega$$

$$330 \Omega = 110 \Omega \ 300 \Omega$$

$$1.1 \text{ K}\Omega = 0.33 \text{ K}\Omega \ 1 \text{ K}\Omega$$

$$3.3 \text{ K}\Omega = 1.1 \text{ K}\Omega \ 3 \text{ K}\Omega$$

$$11 \text{ K}\Omega = 3.3 \text{ K}\Omega \ 10 \text{ K}\Omega$$

$$33 \text{ K}\Omega = 11 \text{ K}\Omega \ 30 \text{ K}\Omega$$

$$110 \text{ K}\Omega = 33 \text{ K}\Omega \ 100 \text{ K}\Omega$$

$$330 \text{ K}\Omega = 110 \text{ K}\Omega \ 300 \text{ K}\Omega$$

$$1.1 \text{ M}\Omega = 0.33 \text{ M}\Omega \ 1 \text{ M}\Omega$$

$$3.3 \text{ M}\Omega = 1.1 \text{ M}\Omega \ 3 \text{ M}\Omega$$

$$11 \text{ M}\Omega = 3.3 \text{ M}\Omega \ 10 \text{ M}\Omega$$

$$33 \text{ M}\Omega = 11 \text{ M}\Omega \ 30 \text{ M}\Omega$$

$$110 \text{ M}\Omega = 33 \text{ M}\Omega \ 100 \text{ M}\Omega$$

$$330 \text{ M}\Omega = 110 \text{ M}\Omega \ 300 \text{ M}\Omega$$

Donde la parte izquierda de la igualdad hace referencia al rango que se va a generar y la parte de la derecha las unidades que se van a generar, estas una vez generadas se medirán diez veces cada una. En este caso son dieciséis casos con dos valores cada uno y diez medidas de cada valor, lo que son trescientos veinte valores los que hay que medir y anotar por lo que en resumen se gasta una gran cantidad de tiempo. Por último, para que la medida sea aceptada, el calibrador tendrá que estar operando en el rango oportuno durante 4 minutos para que el valor que es generado sea estable.



1.5 LabView

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un software, diseñado por National Instruments, diseñado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos.

LabView utiliza un lenguaje de programación desde un punto de vista gráfico, lo que facilita la visualización de las aplicaciones, incluyendo configuración del hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización del código simplifica la integración del hardware de medidas de cualquier proveedor, representa una lógica compleja en el diagrama, desarrolla algoritmos de análisis de datos y diseña interfaces de usuario de ingeniería personalizadas.

Los programas desarrollados con LabView se llaman Instrumentos Virtuales, o VI's, y su origen proviene del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no solo al control de instrumentación electrónica sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo y el 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 como de otros fabricantes.

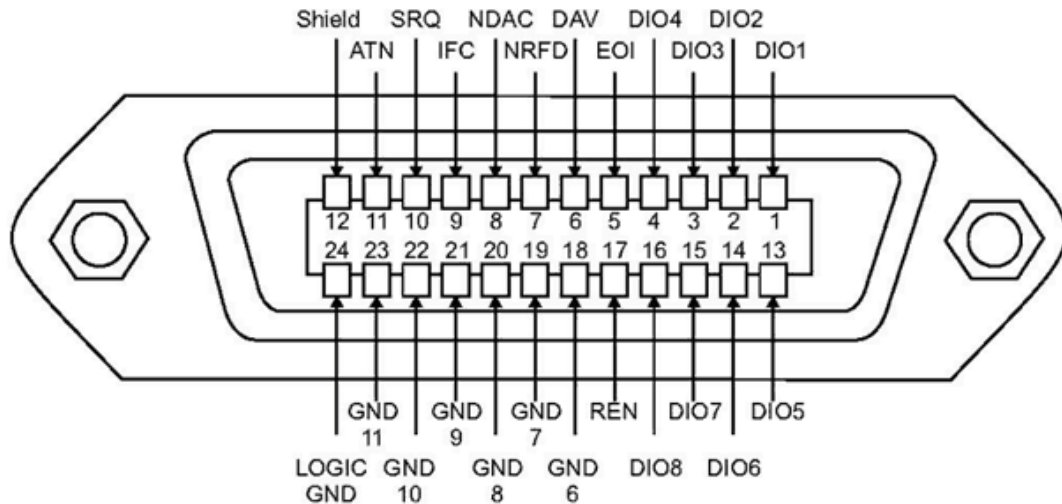
Su característica más llamativa es la facilidad de uso, ya que permite al usuario, independientemente de si es profesional o solo conoce las bases de programación realizar programas relativamente complejos, imposibles de hacer con lenguajes tradicionales como JAVA o C++. Al contar con una interfaz fácil e intuitiva, es muy rápido hacer programas con LabVIEW. Para programadores expertos, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc.

1.6 Bus GPIB

El bus de instrumentos de Hewlett-Packard (HP-IB) es un estándar de bus de datos digitales de corto alcance desarrollado por Hewlett-Packard en la década de 1970 para conectar equipos de prueba y medición (por ejemplo, multímetros u osciloscopios) a computadoras. Otros fabricantes copiaron el HP-IB y lo llamaron General-Purpose Instrumentation Bus (GP-IB). En 1978, el bus fue estandarizado como IEEE-488 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

El IEEE-488 permite que hasta un máximo de 15 dispositivos inteligentes compartan un simple bus paralelo de 8 bits, mediante conexión en cadena, la velocidad de transferencia la determinará el dispositivo con la tasa de transferencia inferior. La máxima velocidad es 1 MB/s en el estándar original y en 8 MB/s con IEEE-488.1-2003.

Las 16 líneas que componen el bus están agrupadas en tres grupos de acuerdo con sus funciones: 8 de bus de datos, 3 de bus de control de transferencia de datos y 5 de bus general. Algunas de ellas tienen retornos de corrientes común y otras tienen un retorno propio, lo que provoca un aumento del número de líneas totales (8 masas) lo que hacen un total de 24 pines en el conector.



A finales de la década de 1960, Hewlett-Packard (HP) era un fabricante de equipos de prueba e instrumentos de medición (como multímetros digitales). HP desarrolló el bus de interfaz HP (HP-IB) para facilitar la conexión entre el instrumento y el controlador. Este bus utiliza un bus paralelo simple y varias líneas de control independientes, por lo que es fácil de implementar.

En 1975 el bus fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers como el IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, IEEE-488-1975 (actualmente 488.1). IEEE-488.1 define parámetros de protocolo GPIB mecánicos, eléctricos y básicos, pero no especifica el comando o formato de datos. El estándar IEEE-488.2 (junio de 1987) proporciona convenciones básicas de sintaxis y formato, así como comandos, estructuras de datos y protocolos de error independientes del dispositivo.

National Instruments introdujo una extensión compatible con versiones anteriores de IEEE-488.1, originalmente llamada HS-488. Aunque la velocidad disminuirá a medida que se conecten más dispositivos al bus, la velocidad máxima aumentará a 8 MB / s. Se incorporó al estándar como IEEE-488.1-2003 en 2003.

Aunque la velocidad del bus para estos fines ha aumentado a 10 MB, la falta de protocolos de comando estándar limita el desarrollo y la interoperabilidad de terceros y, posteriormente, los estándares abiertos más rápidos (como SCSI) eventualmente superan la velocidad de conexión de IEEE-488 para equipamiento periférico.



El estándar IEEE-488.2 dispone de un conjunto de órdenes básicas que realizan funciones comunes a todos los equipos, con independencia de su naturaleza.

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

Tabla 1 Comandos IEEE-488.2

Capítulo 2. Metodología de trabajo

El proyecto ha sido realizado en el Laboratorio de Instrumentación y Calidad de la Universitat Politècnica de València, bajo la supervisión del profesor José María Grima Palop

2.1 Gestión de proyecto

2.2 Distribución en tareas

El trabajo está subdividido en pequeñas tareas o subVI's, ya que el entorno de trabajo LabView permite la creación de estos subsistemas, los cuales luego se utilizan en un programa principal haciendo llamadas a estos cuando son necesarios.

2.3 Estructura LabView

Comentaremos ahora la estructura del Labview, como es el espacio de trabajo y algunas funcionalidades de programación que se repetirán a lo largo del código.

2.3.1 Estructura principal

LabView dispone de dos ventanas: el Front Panel y el Block Diagram. El Front Panel es la parte bonita, la parte que percibe el usuario y donde este podrá controlar el programa en ejecución, también cuenta con una cuadrícula para poder decorar con facilidad el programa y poner a la misma altura los diferentes controladores. Mientras tanto el Block Diagram es la ventana donde se realiza la programación y el desarrollo del proyecto.

Estas ventanas están vinculadas ya que crear un control en el Front Panel, como puede ser un botón on/off, significa que en el Block Diagram se nos creará de forma automática una variable booleana(true/false).

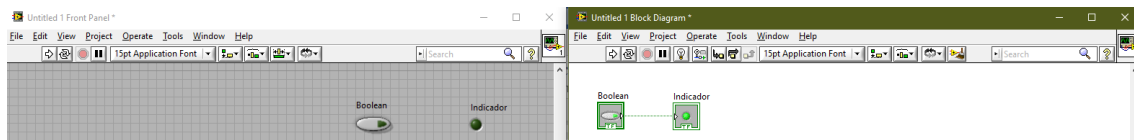


Ilustración 1 Front Panel y Block Diagram

Del mismo modo si creamos un indicador en el Front Panel, aparecerá también en el Block Diagram para ser conectado y reflejar así el valor del interruptor en este caso.

2.3.2 Programación

Las estructuras de programación que vamos a utilizar en este proyecto son bucles for, bucles while, estructuras case y Flat Sequence

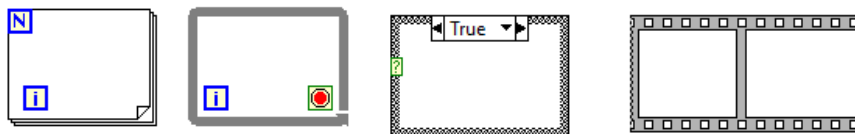


Ilustración 2 Estructuras de programación.

En el caso de los bucles for, controlaremos con N el número de iteraciones e "i" llevará la cuenta de esas iteraciones.

El bucle while en cambio, se estará repitiendo continuamente hasta que el botón rojo perciba una variable booleana true, y como en el bucle for la "i" llevará la cuenta de las iteraciones. El bucle se repetirá a la velocidad máxima que permita el dispositivo, así que es recomendable poner un pequeño delay de 100 milisegundos de esa forma obtenemos dos beneficios, primero que el programa no gaste más rendimiento del necesario y segundo nos aseguramos de que cuando pulsemos un control este haga la selección correctamente.



La estructura case, que puede ser utilizada como un “if else” siempre y cuando la entrada (el cuadrado con interrogación) sea un boolean. En caso de ser un número o un string el funcionamiento será como el de un “switch case”, al igual que en las estructuras “switch case” es necesario que cuente con una opción predeterminada o default.

Por último, la estructura flat sequence, representado como un carrete de película separado por fotogramas. Con esta estructura podemos secuenciar el código como si de una película se tratara y asegurarnos que no se ejecuta código en paralelo si no en serie, ya que hasta que una secuencia o “fotograma” no termina no empieza el siguiente.

Capítulo 3. Desarrollo y resultados

3.1 Fichero de configuración

El fichero de configuración permite configurar dentro de cada rango que valores se van a medir y otros parámetros como el tiempo de espera del calibrador (en milisegundos) antes de empezar a medir para que la generación del valor sea estable. De este modo el programa gana una gran versatilidad a la hora de cambiar los valores que hay que medir, ya que el estándar que se usa para la calibración puede cambiar en un futuro.

```
*Config: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
[Section Tiempos]
|
Tiempo Calibrador=5000

[Section VDC]
0.33V = +0.003V -0.003V +0.03V -0.03V +0.3V -0.3V
3.3V= +0.33V -0.33V +1.5V -1.5V +2.7V -2.7V
33V= +30V -30V
330V= +300V -300V
1020V= +900V -900V

[Section VAC]

0.033V= 0.002V,50Hz 0.002V,1000Hz 0.002V,20000Hz 0.03V,50Hz 0.03V,1000Hz 0.03V,20000Hz
0.33V= 0.3V,50Hz 0.3V,1000Hz 0.3V,20000Hz 0.3V,300000Hz
3.3V= 0.33V,50Hz 0.33V,1000Hz 0.33V,20000Hz 1.5V,1000Hz 3V,50Hz 3V,1000Hz 3V,20000Hz 3V,50000Hz 3V,300000Hz
33V= 30V,50Hz 30V,1000Hz 30V,20000Hz 30V,50000Hz 30V,100000Hz
330V= 300V,50Hz 300V,1000Hz
700V= 700V,50Hz 700V,1000Hz

[Section VDC AUX]
0.33V = +0.003V -0.003V +0.03V -0.03V +0.3V -0.3V
3.3V= +0.33V -0.33V +1.5V -1.5V +2.7V -2.7V

[Section VAC AUX]
0.33V= 0.3V,50Hz 0.3V,1000Hz 0.3V,20000Hz 0.3V,300000Hz
3.3V= 0.33V,50Hz 0.33V,1000Hz 0.33V,20000Hz 1.5V,1000Hz 3V,50Hz 3V,1000Hz 3V,20000Hz 3V,50000Hz 3V,300000Hz

[Section IDC]
0.0033A= +0.00003A -0.00003A +0.0003A -0.0003A +0.003A -0.003A
0.033A= +0.03A -0.03A
0.33A= +0.3A -0.3A
2.2A= +0.33A -0.33A +1A -1A

[Section IAC]
0.00033A= 0.00003A,50Hz 0.00003A,1000Hz 0.00003A,5000Hz 0.0003A,50Hz 0.0003A,1000Hz 0.0003A,5000Hz
0.0033A= 0.00033A,1000Hz 0.003A,50Hz 0.003A,1000Hz 0.003A,5000Hz 0.003A,10000Hz
0.033A= 0.0033A,1000Hz 0.03A,50Hz 0.03A,1000Hz 0.03A,5000Hz 0.03A,10000Hz
0.33A= 0.033A,1000Hz 0.3A,50Hz 0.3A,1000Hz 0.3A,5000Hz 0.3A,10000Hz
2.2A= 0.33A,1000Hz 1A,1000Hz
```

Ilustración 3 Archivo de configuración.

El archivo de configuración está dividido en secciones o “keys” en ellas podemos escribir unas palabras claves que luego el programa buscará para acceder a dicha sección. Para introducir los rangos solamente hay que escribirlos a la izquierda de la igualdad y a la derecha de esta escribimos los valores que se van a utilizar en cada rango.

Es importante mantener el formato que aparece en la imagen, el número y seguidamente la magnitud física de la señal. Por ejemplo en el rango de 3.3V si queremos cambiar la medida a 0.5 voltios habrá que escribir 0.5V, y si se tratase de alterna escribir los hercios del mismo modo pero separados por una coma.

3.2 Selector

Como hemos explicado antes, en LabView se trabaja con dos ventanas principales el Front Panel y el Block Diagram. Pasaremos a explicarlos a continuación con detalle.

3.2.1 Front Panel

El programa principal con el que se inicializa el programa se llama Selector, en él se indicará la dirección tanto del calibrador como de los multímetros necesarios. Posteriormente se podrá elegir que mediciones se quieren realizar. Dependiendo de esa selección se harán las llamadas necesarias al resto de subVI's para realizar la generación y medición de las unidades y rangos seleccionados.

Para seleccionar las direcciones de los aparatos hay que indicarlo justo al iniciar el programa, introduciremos las direcciones y le daremos a continuar. Como los instrumentos más utilizados serán el calibrador FLUKE 5500 A y el multímetro Agilent 3458 A, serán obligatorios tenerlos conectados y por tanto darles una dirección. En cambio, el nano multímetro Agilent 34420 A solo será necesario para medir temperatura con termopares, será opcional y cuenta con un botón para desactivar la verificación de este instrumento.

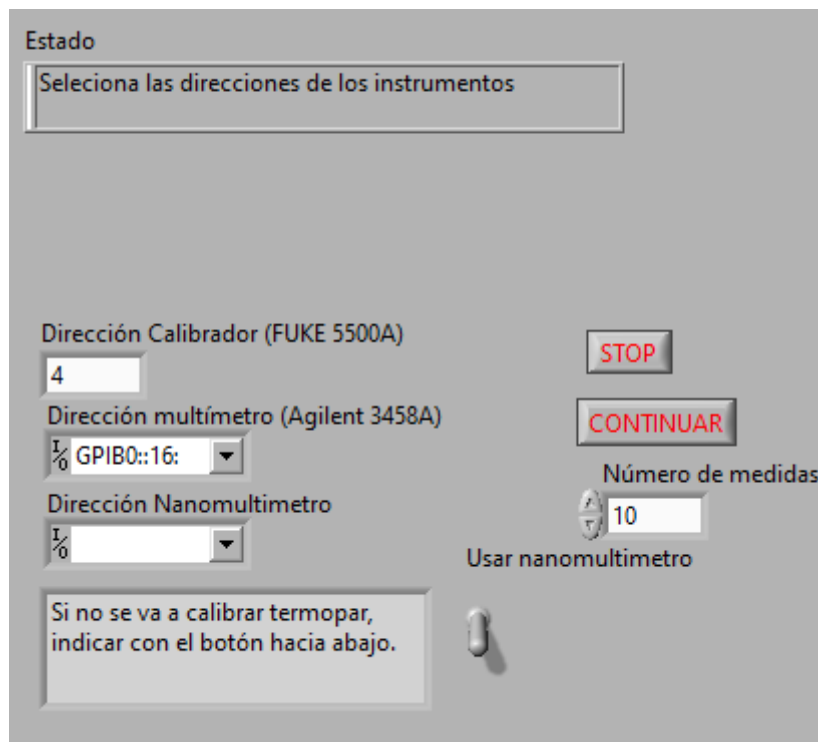


Ilustración 4 Menú de selección de direcciones.

Una vez introducidas las direcciones se hará click en el botón “CONTINUAR” y se hará una comprobación para verificar que los instrumentos conectados a esas direcciones son los indicados, en caso de ser errónea dicha verificación aparecerá un mensaje de error pidiendo que se comprueben las conexiones del bus GPIB, como vemos en la ilustración 5.

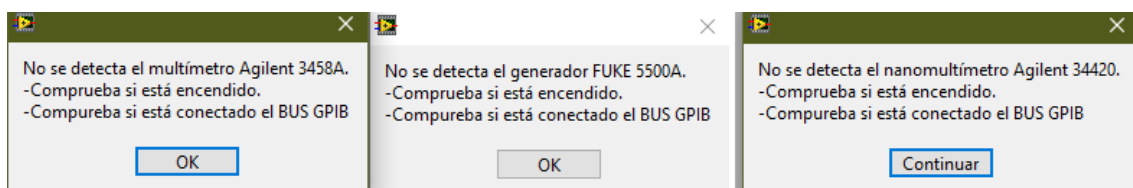


Ilustración 5 Mensajes de error en la detección de direcciones.

En la ilustración 5, podemos ver el menú donde seleccionar tanto la magnitud que vamos a medir como el rango, se puede hacer una selección individual como múltiple, con la ayuda de la tecla Ctrl + click izquierdo del ratón. También dispone de una variedad que permite seleccionar toda la magnitud a calibrar, por ejemplo, si se quiere calibrar tensión continua en todos sus rangos solo habrá que pulsar sobre VDC y de forma automática se seleccionaran los rangos: 0.33 V, 3.3V, 33V, 330V y 1020V. Una vez hecha la selección se le dará al botón de calibrar y empezará a mandar las ordenes pertinentes a los instrumentos necesarios.

El recuadro superior denominado “Estado”, informará de forma constante de las operaciones que se están realizando y hasta que el recuadro lo indique la única interacción posible del usuario será la de parar el programa.

El botón “STOP”, permite para la ejecución del programa en cualquier momento, y además antes de finalizar la ejecución mandará la orden al calibrador de detener la generación de la señal actual para evitar daño a los multímetros en caso de cualquier posible error.

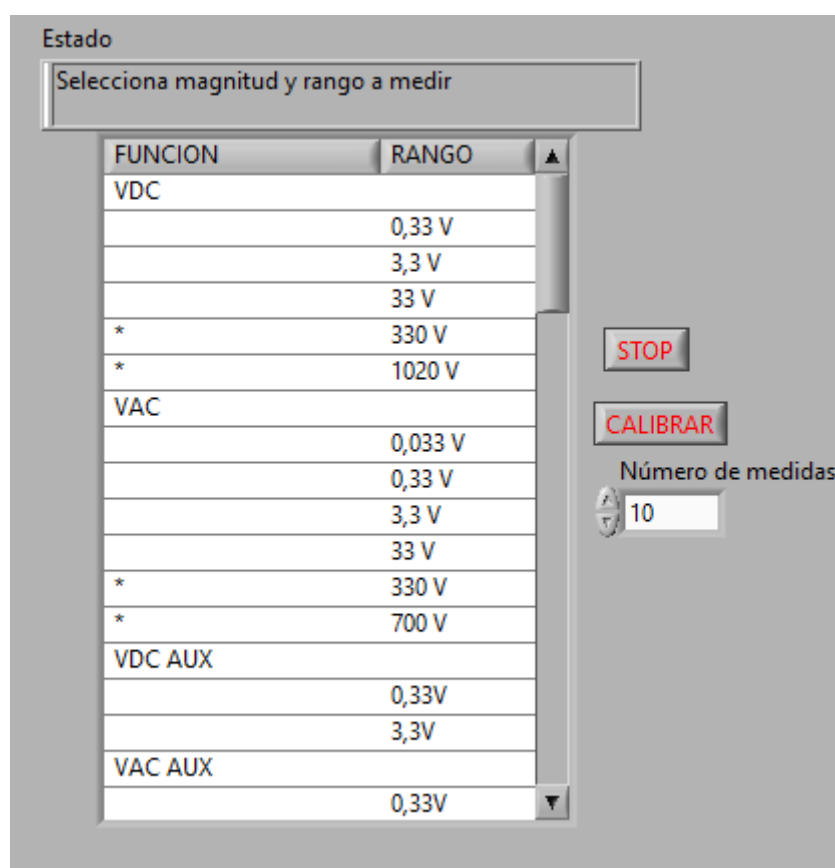


Ilustración 6 Menú principal de selección.

3.2.2 Block Diagram

A continuación, veremos los fragmentos más importantes del código y pasaremos a explicarlos uno por uno.

Quizás esta estructura (Ilustración 7) sea la más importante, ya que, en caso de cualquier tipo de error, ya sea por parte del usuario, del programa o de los instrumentos, el usuario puede parar el programa y dejar de generar la señal actual, de este modo el resto de los multímetros no sufrirían ningún daño. Esta secuencia al comenzar dejará sin pulsar el botón “STOP”, para que el programa pueda funcionar después de haberlo pulsado (ya que el último valor guardado sería true).

Después se ejecutaría en paralelo al programa principal un bucle infinito cada cien milisegundos donde evalúa el estado del botón “STOP” (en cualquier parte del programa). En caso de ser true mandará el comando “STBY” al calibrador para que no genere nada, en caso de ser false no hará nada y repetirá el bucle.

Aprovechando que se ejecuta en paralelo añadimos el recuadro de estado con una variable global, de forma que podemos recibir información en tiempo real de cada VI en ejecución.

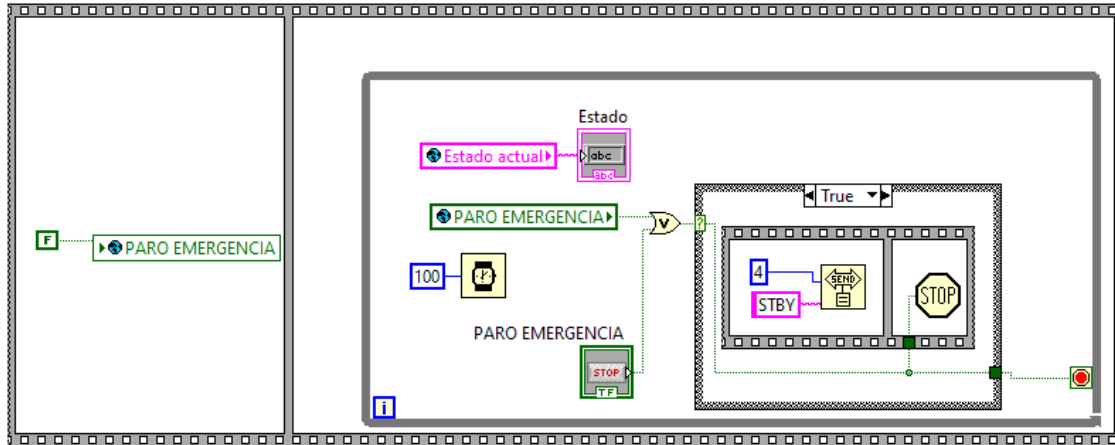


Ilustración 7 Paro de emergencia.

Para identificar los instrumentos, como hemos explicado antes el usuario debe introducir manualmente la dirección, luego con esta se preguntará al instrumento asociado a dicha dirección que instrumento es, con el comando *IDN? (en caso del multímetro el comando es ID?), después leeremos la respuesta del buffer de los instrumentos y comparemos la respuesta con el nombre del instrumento.

Poniendo al calibrador como ejemplo, el usuario pondrá la dirección en este caso 4, por lo que enviamos *IDN? a la dirección 4, leemos del buffer almacenando un máximo de de 100 bits y buscamos en la respuesta (que debería ser FLUKE 5500A entre otras cosas, ya que se incluyen otros datos como la versión) 5500A, posteriormente comparamos la expresión que ha encontrado con la clave (5500A) y si es verdadera el programa se ejecutará con normalidad y si es falsa saldrá uno de los errores explicados anteriormente en la ilustración 4.

Podemos encontrar la ejecución de ese código siguiendo las líneas superiores de la ilustración 8.

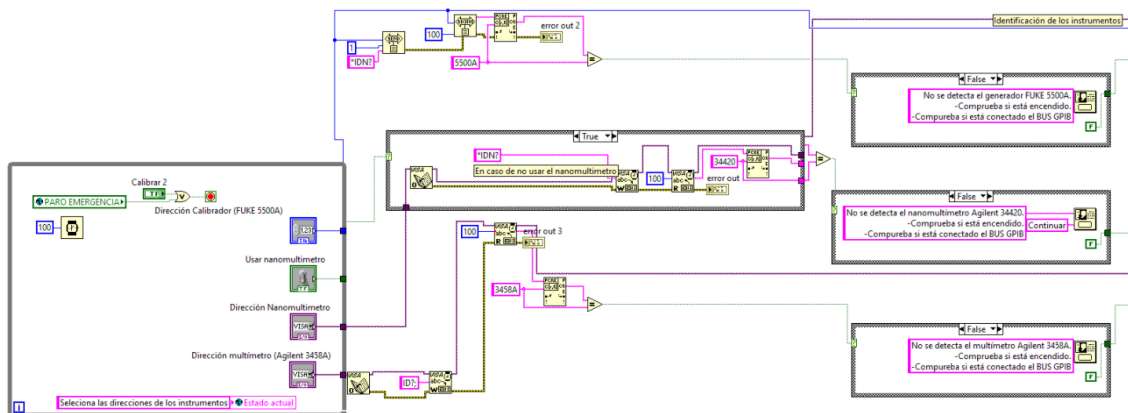


Ilustración 8 Identificación de los instrumentos.

Por último, la selección de la magnitud, elegida por el usuario:

Tensión Continua (VDC)	Rangos 1-5
Tensión Alterna (VAC)	Rangos 7-12
Tensión Continua Auxiliar (VDC AUX)	Rangos 14-15
Tensión Alterna Auxiliar (VAC AUX)	Rangos 17-18
Corriente Continua (IDC)	Rangos 20-24
Corriente Alterna (IAC)	Rangos 26-31
Resistencia 4 terminales	Rangos 33-41
Resistencia 2 terminales	Rangos 42-48
Temperatura Pt100	Rangos 59-64
Temperatura Termopar	Rangos 66-73

Tabla 2 Magnitudes y rangos disponibles

Una vez hecha la selección por el usuario se almacenarán todos los rangos en un vector que irá descomponiéndose a través de un bucle for sacando el rango uno por uno e iniciando el programa necesario.

Antes de acceder al programa de medición, se detectará gracias a un registro, que la magnitud elegida es distinta a la anterior de forma que en el caso de que sea distinta el programa se parará y mostrará una imagen con la configuración entre el calibrador y el multímetro para que el usuario haga el montaje correctamente, una vez todos los cables estén bien puestos, el usuario le dará a continuar en la ventana emergente y se ejecutará el subVI pertinente.

En la ilustración 9 vemos un ejemplo de lo explicado anteriormente, es el caso de tensión continua.

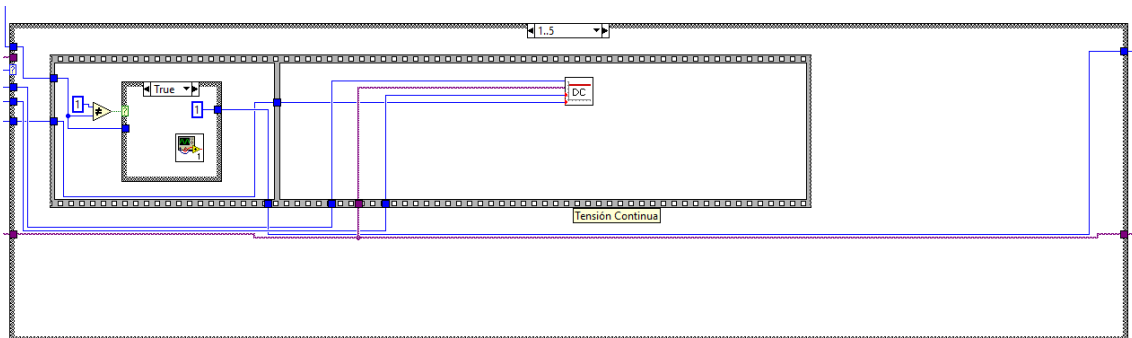


Ilustración 9 Selección de tensión continua.

3.3 Medida de Tensión

Para medir tensión el usuario deberá indicarlo en el panel de selección en los rangos explicados anteriormente en la tabla 2. El programa accederá a la sección determinada y antes de empezar indicará la disposición del cableado entre el calibrador y el multímetro, y estará esperando hasta que el usuario haga click en continuar. Esta disposición es la misma tanto para tensión continua como alterna.

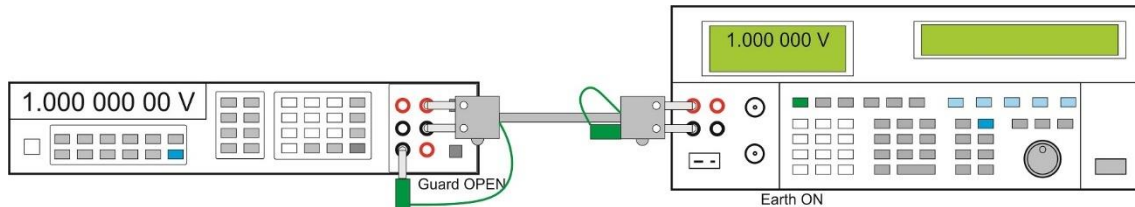


Ilustración 10 Disposición del cableado para medir tensión.

3.3.1 Tensión continua (VDC)

Empezaremos describiendo el icono, que es representado con una línea recta horizontal y las iniciales DC (Direct Current). Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

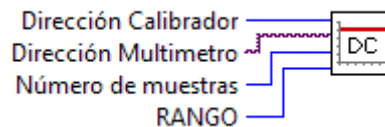


Ilustración 11 Icono VDC.

Como es un programa que se ejecuta en segundo plano, no se verá un Front Panel de este, solo en el caso de desarrollo para facilitar la entra de datos. Por lo que hablaremos directamente del Block Diagram y como se comporta el programa.

Lo primero es configurar el multímetro para que antes de que el calibrador genere la señal de continua este esté preparado y no sufra daños por estar midiendo otra magnitud. Con la resolución a 8.5 para mostrar el número máximo de dígitos en el display y obtener así la medida más precisa posible.

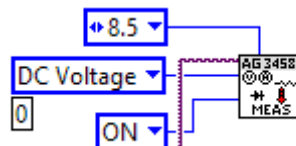


Ilustración 12 Configuración del multímetro.

Esta parte del programa busca en la sección de tensión continua la clave “Section VDC” y empieza a leer el fichero de configuración únicamente en esa sección y obtiene los valores dependiendo del rango elegido por el usuario.

Es importante darle al calibrador la orden de generar cero hercios por si anteriormente se ha generado tensión alterna, nos aseguramos de que ahora genere tensión continua.

Una vez leído el fichero obtiene un string con toda la parte izquierda de la igualdad y la introduce en un bucle for, que está automatizado para ejecutarse las tantas veces como medidas haya dentro de un rango en el fichero. Como la frase está dividida en palabras con espacios, gracias a un registro podemos extraer esas palabra para hacer las mediciones de forma individual, llegando así las instrucciones al calibrador.

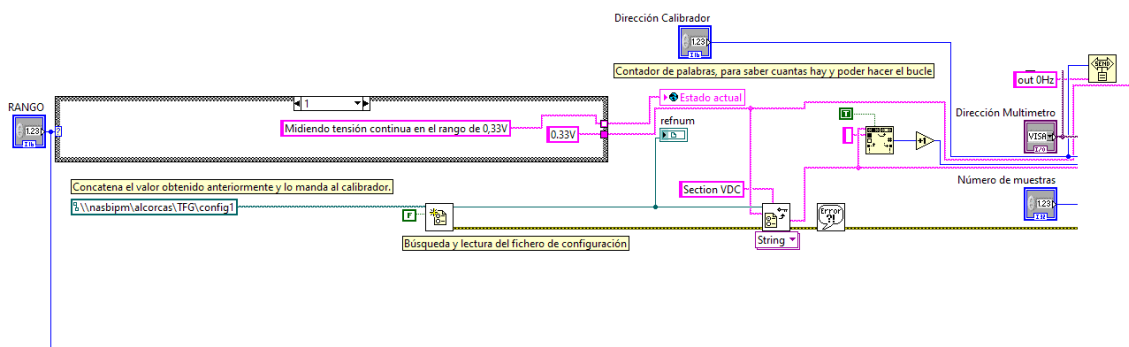


Ilustración 13 Búsqueda de las palabras clave en el archivo config.

Ahora que el multímetro está configurado para la medida y el calibrador está preparado para generar la señal, mandamos la orden de operar y el calibrador genera la señal. El calibrador está configurado para no poder generar desde el ordenador valores de tensión altos, por lo que para los rangos mas altos (que corresponden con los rangos 4 y 5) entorno a los 300 voltios o más, el usuario deberá darle de forma manual al botón OPER del calibrador.

Por motivos de seguridad, primero se hará una medida previa, una medida que no será guardada y sirve solo para asegurar que el valor no dañará el multímetro. En caso de ser un valor elevado el multímetro no medirá nada después de esa medida de seguridad y el programa mandará al calibrador que deje de generar la señal, evitando así daños mayores.

Si la señal es la esperada, el calibrador estará generando la señal el tiempo establecido para que la señal sea estable, ese tiempo se puede configurar en el fichero de configuración.

Una vez esperado el tiempo necesario se mide con el multímetro las veces que se ha indicado anteriormente, aunque para que el proceso sea válido se recomienda hacer 10 medidas de cada valor.

El resultado se almacena en un vector y el calibrador deja de generar la señal.

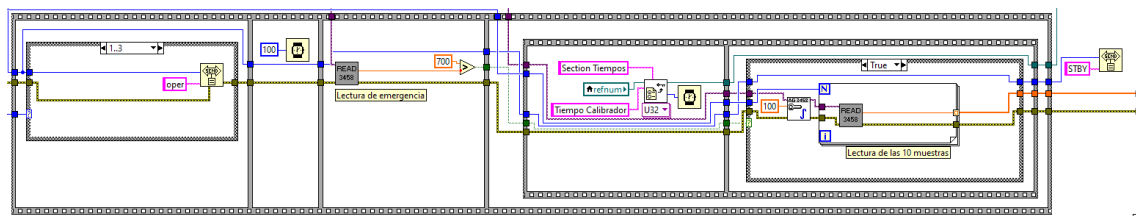


Ilustración 14 Puesta en marcha y medida.

Este proceso se repetirá hasta que los rangos de tensión continua elegidos por el usuario estén medidos.

Es importante destacar, que el usuario puede parar el proceso en cualquier momento desde el botón “STOP” del Front Panel del selector.

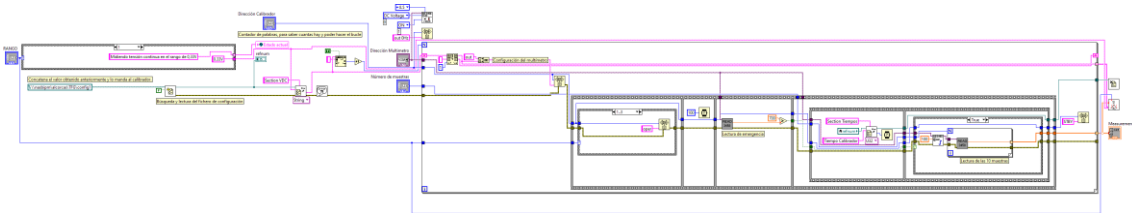


Ilustración 15 Vista del programa completa.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

$$0.33V = +0.003V -0.003V +0.03V -0.03V +0.3V -0.3V$$

$$3.3V = +0.33V -0.33V +1.5V -1.5V +2.7V -2.7V$$

$$33V = +30V -30V$$

$$330V = +300V -300V$$

$$1020V = +900V -900V$$

3.3.2 Tensión alterna (VAC)

El icono de tensión alterna representado por una senoidal y las iniciales AC (Altern Current). Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

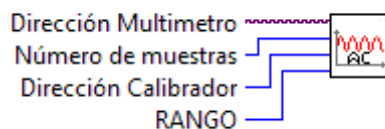


Ilustración 16 Icono VAC.

El comportamiento del programa es muy similar al anterior pero ahora la calibración del multímetro será ligeramente distinta y por supuesto las secciones del archivo de configuración pasarán a ser las de tensión alterna. Seguimos teniendo la misma resolución, pero le damos al orden al multímetro de que mida tensión alterna.

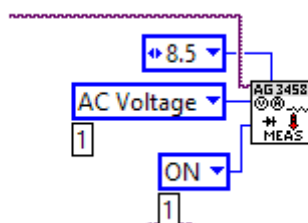


Ilustración 17 Calibración del multímetro.

Como en el anterior programa, primero se configurará el multímetro, luego leerá el archivo configuración para saber qué medidas hay que hacer en función a los rangos elegidos por el usuario, desglosará con el registro de memoria las palabras par obtener de forma individual los rangos, el multímetro generará una señal que será medida de forma inmediata para que en caso de error el multímetro no sufra ningún daño.

Por último, si la medida de seguridad no es dañina el sistema quedará en reposo con el calibrador generando el valor para estabilizar la medida y finalmente se medirá las veces indicadas por el usuario.

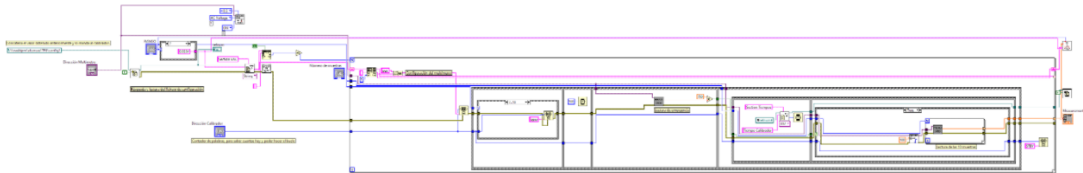


Ilustración 18 Vista del programa completa.

Al igual que en el programa anterior es necesario darle de forma manual al botón OPER del calibrador para los valores altos de tensión, siendo avisado con un mensaje en la pantalla y el programa suspendido a la espera de que el botón sea pulsado, una vez hecho se dará en continuar y la ejecución del programa seguirá con normalidad.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

0.033V= 0.002V,50Hz 0.002V,1000Hz 0.002V,20000Hz 0.03V,50Hz 0.03V,1000Hz
0.03V,20000Hz

0.33V= 0.3V,50Hz 0.3V,1000Hz 0.3V,20000Hz 0.3V,300000Hz

3.3V= 0.33V,50Hz 0.33V,1000Hz 0.33V,20000Hz 1.5V,1000Hz 3V,50Hz 3V,1000Hz
3V,20000Hz 3V,50000Hz 3V,300000Hz

33V= 30V,50Hz 30V,1000Hz 30V,20000Hz 30V,50000Hz 30V,100000Hz

330V= 300V,50Hz 300V,1000Hz

700V= 700V,50Hz 700V,1000Hz

3.4 Medida de Tensión Auxiliar

El calibrador cuenta con dos terminales auxiliares para la tensión, también son los que usa para medir la corriente y la resistencia cuando se usan 4 terminales. En estos terminales la tensión que se ha de generar es muy inferior y los rangos son menores. Al ser programas que se ejecutan en segundo plano, no contarán con un Front Panel, solo explicaremos el Diagram Block. El programa quedará en “Stand By” hasta que el usuario haya completado al disposición y pulse en continuar.

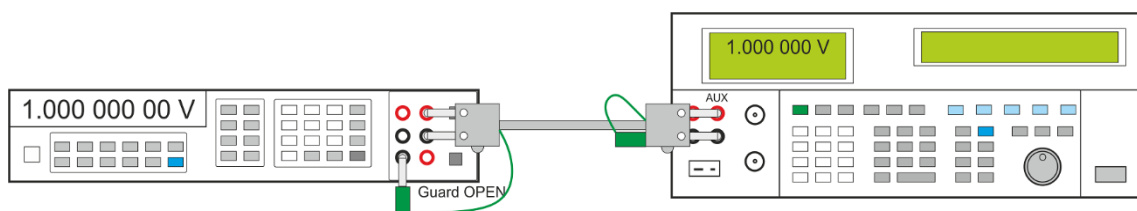


Ilustración 19 Disposición de los cables usando los terminales auxiliares.

3.4.1 Tensión continua (VDC)

El icono de tensión continua auxiliar representado por una línea horizontal y las iniciales DC (Direct Current) y la palabra AUX, que indica que se utilizan los terminales auxiliares del calibrador. Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

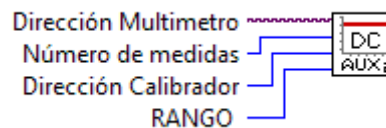


Ilustración 20 Icono VDC AUX.

Como hemos visto antes, es esencial programar en primer lugar el multímetro de forma que esté preparado antes de que se genere la señal. En cuanto a la configuración de este es igual que cuando se usan los terminales normales, ya que para el multímetro es indiferente si la señal es generada en los terminales auxiliares o en los normales.

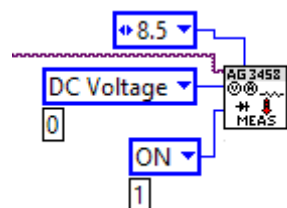


Ilustración 21 Configuración del multímetro

Para mandar las ordenes al calibrador la secuencia es la misma, se lee el archivo de configuración se obtienen las medidas a partir de la clave de los rangos y se envía al calibrador con la ayuda de un registro de memoria y un bucle for. La única diferencia es que para usar los terminales auxiliares hay que decirle con anterioridad al multímetro que genere una señal primaria, esta será una señal mínima que generará a la par en los terminales normales, pero al no estar conectados a nada no interferirán en la medida. Vemos en la imagen 22 como se envía primero el comando “out 0.0001V,” y luego el valor obtenido del registro con la palabra que contiene el valor que generar.

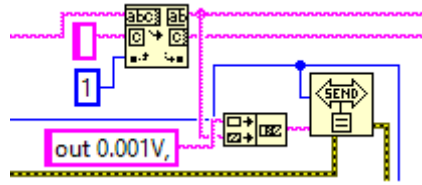


Ilustración 22 Envío previo de la señal principal.

El resto del programa se ejecutará con normalidad, de forma similar a los explicados anteriormente. El calibrador generará la señal una vez el multímetro esté configurado, se procederá a hacer una medida de seguridad y si los valores no son peligrosos, el calibrador se quedará generando el tiempo especificado para asegurar una buena función de la señal generada. Pasado ese tiempo, el multímetro medirá el número de muestras indicado por el usuario y el programa finalizará una vez obtenido los datos en forma de vector.

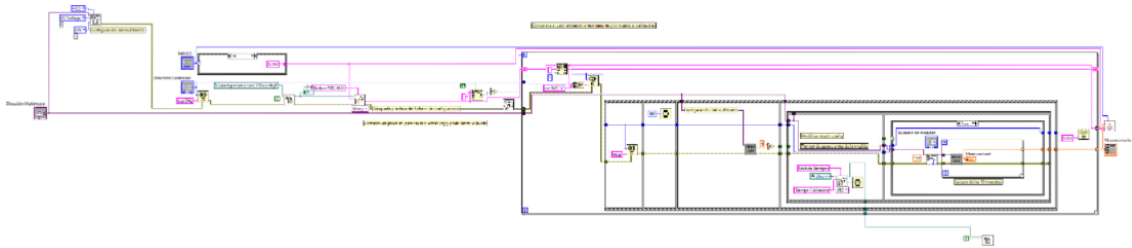


Ilustración 23 Vista del programa completa.

Al utilizar bajos niveles de tensión no requerirá ninguna acción del usuario con el botón del calibrador OPER.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

$$0.33V = +0.003V -0.003V +0.03V -0.03V +0.3V -0.3V$$

$$3.3V = +0.33V -0.33V +1.5V -1.5V +2.7V -2.7V$$

3.4.2 Tensión alterna (VAC)

El icono de tensión alterna representado por una senoidal y las iniciales AC (Altern Current) y la palabra AUX, que indica que se utilizan los terminales auxiliares del calibrador. Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

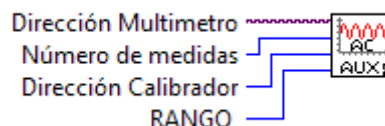


Ilustración 24 Icono AC AUX.

La configuración del multímetro es exactamente la misma que en el caso de tensión alterna en los terminales principales, ya que como se ha explicado anteriormente el multímetro obtendrá una señal igualmente ya sea usando los terminales auxiliares o los principales.

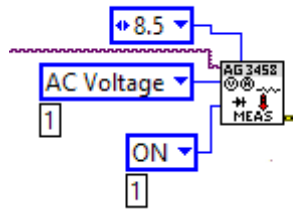


Ilustración 25 Configuración del multímetro.

La secuencia de obtención de medidas es igual que en los programas anteriores, se busca la clave en el documento de configuración y se separa por palabras para mandar al calibrador las medidas de una en una, utilizando un registro y un bucle for.

Del mismo modo que en tensión continua, tenemos que indicar al calibrador que tiene que generar la señal por los terminales auxiliares. La forma de hacerlo será la misma, generaremos una pequeña señal de tensión continua por el terminal principal y por el auxiliar saldrá la tensión alterna con la configuración correspondiente.

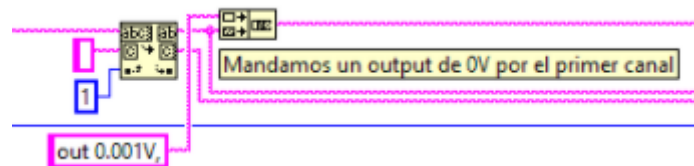


Ilustración 26 Envío previo de la señal principal.

El resto del programa se ejecutará con normalidad, de forma similar a los descritos anteriormente. Una vez configurado el multímetro, el calibrador generará una señal y se implementarán las medidas de seguridad, si el valor no es peligroso, el calibrador seguirá generando por el tiempo especificado para asegurar la buena funcionalidad de la señal generada. Posteriormente, el multímetro medirá la cantidad de muestras indicadas por el usuario, y una vez que se obtengan los datos en forma vectorial, el programa finalizará.

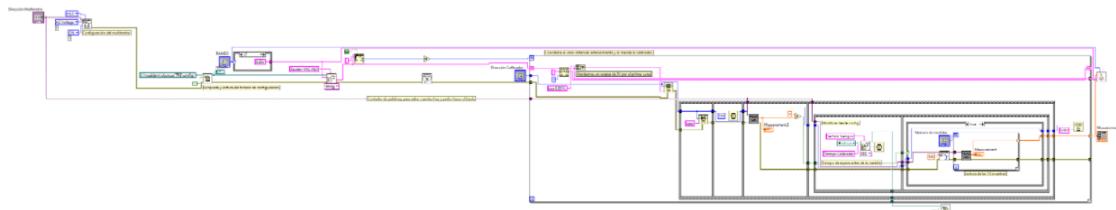


Ilustración 27 Vista del programa completa.

Al utilizar bajos niveles de tensión no requerirá ninguna acción del usuario con el botón del calibrador OPER.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

0.33V= 0.3V,50Hz 0.3V,1000Hz 0.3V,20000Hz 0.3V,300000Hz
 3.3V= 0.33V,50Hz 0.33V,1000Hz 0.33V,20000Hz 1.5V,1000Hz 3V,50Hz 3V,1000Hz
 3V,20000Hz 3V,50000Hz 3V,300000Hz

3.5 Medida de Corriente

Para medir corriente el usuario deberá indicarlo en el panel de selección en los rangos explicados anteriormente en la tabla 2. El programa accederá a la sección determinada y antes de empezar indicará la disposición del cableado entre el calibrador y el multímetro, y estará esperando hasta que el usuario haga click en continuar. Esta disposición es la misma tanto para tensión continua como alterna.

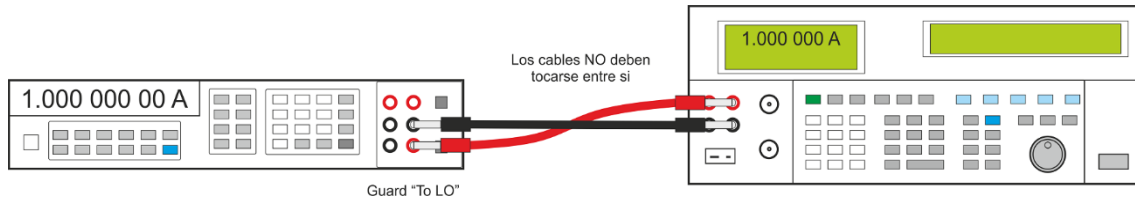


Ilustración 28 Disposición del cableado para medir tensión.

3.5.1 Corriente continua (IDC)

El icono de corriente continua representado por una línea horizontal y las iniciales DC (Direct Current) y la letra I indican que se medirá la corriente. Para que el VI funcione correctamente, se debe obtener la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Estas direcciones serán correctas porque la primera parte del programa maneja la identificación de estas direcciones. Durante la ejecución del programa, el número de muestras se puede ingresar en cualquier momento, excepto durante la medición. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

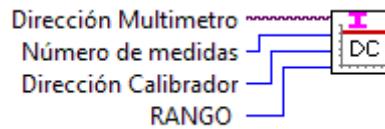


Ilustración 29 Icono IDC.

La configuración del multímetro será la primera tarea que realizar, para evitar que el multímetro lea valores incorrectos y pueda llegar a dañarse. Seguimos usando una resolución de 8.5 dígitos y mandamos la orden de que las medidas serán de corriente continua. Aprovechamos para mandar la orden al calibrador "out 0Hz" para asegurar que la corriente será continua.

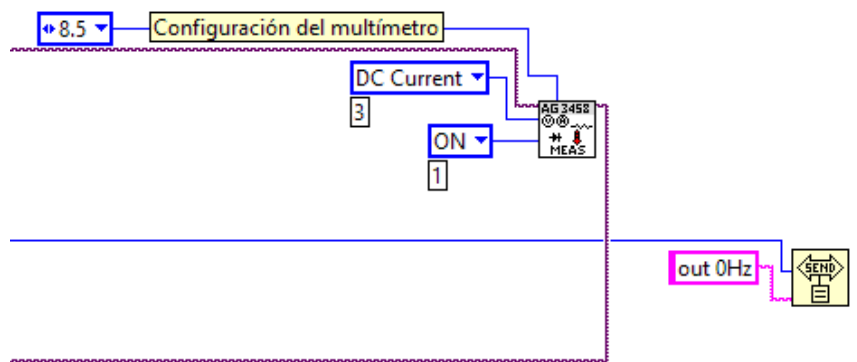


Ilustración 30 Calibración del multímetro.

Después de que el multímetro esté correctamente configurado, el programa leerá del fichero de configuración a partir de las palabras claves de corriente continua y hallará los rangos con sus medidas correspondientes. Estas quedarán en una sola frase y divididas por espacios, de modo que para recuperar cada medida solo hay que separar la frase por palabras con un registro de memoria y con un bucle for ejecutar las veces necesarias la sección de medidas, de esa forma cada medida se hará de forma individual aún estando en el mismo rango.

Una vez generada la señal de corriente dada por el fichero de configuración, se hará una medida de seguridad, esta no contabilizará como dato, ya que es una medida rápida y sin estabilizar. Su propósito es comprobar que el valor generado no dañará el multímetro y está dentro del rango de la medida, si por algún error el valor es muy alto, el programa detendrá al calibrador protegiendo así al multímetro.

En caso de ser un valor seguro y aceptado, el calibrador se quedará generando durante un tiempo para asegurar que la señal es estable. Pasado este tiempo se realizarán las medidas que usuario ha marcado al principio del programa, que deben ser diez para que esté dentro de la norma del laboratorio de calibración. Los datos final mente salen en forma de vector.

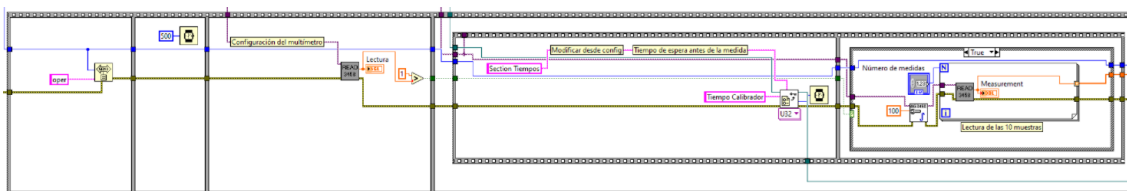


Ilustración 31 Sección de medida del programa.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

$$0.0033A = +0.00003A -0.00003A +0.0003A -0.0003A +0.003A -0.003A$$

$$0.033A = +0.03A -0.03A$$

$$0.33A = +0.3A -0.3A$$

$$2.2A = +0.33A -0.33A +1A -1A$$

Como en el resto del programa, el usuario puede detener en cualquier momento el programa, pulsando el botón “STOP” del selector.

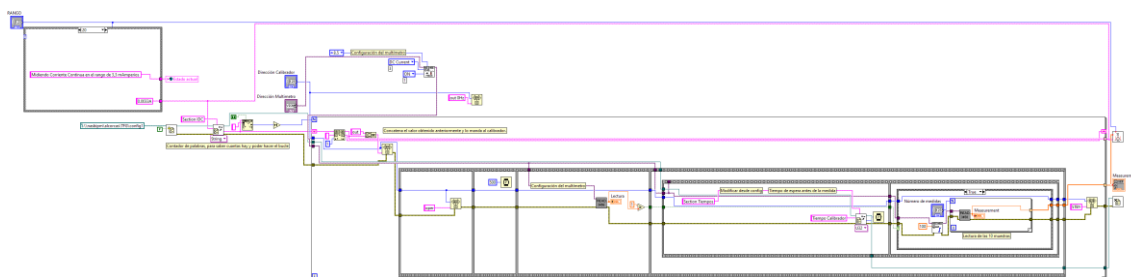


Ilustración 32 Vista del programa completa.

3.5.2 Corriente alterna (IAC)

El icono de corriente continua representado por una línea horizontal y las iniciales AC (Altern Current) y la letra I indican que se medirá la corriente. Para que el VI funcione correctamente, se debe obtener la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Estas direcciones serán correctas porque la primera parte del programa maneja la identificación de estas direcciones. Durante la ejecución del programa, el número de muestras se puede ingresar en cualquier momento, excepto durante la medición. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

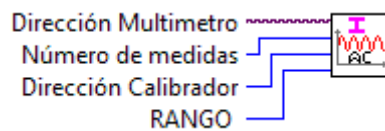


Ilustración 33 Icono IDC.

La configuración del multímetro será igual que en el caso anterior, pero indicando que se medirá corriente alterna. En este caso no vamos a indicar cero hercios, ya que vamos a medir corriente alterna.

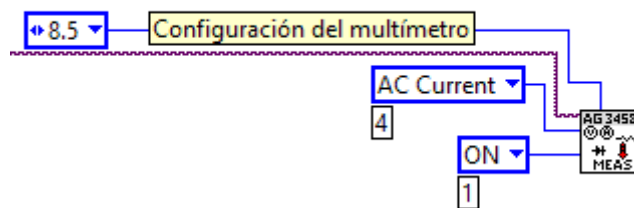


Ilustración 34 Configuración del multímetro.

Al igual que en el caso anterior, una vez configurado el multímetro se obtendrán las medidas del archivo de configuración de forma individual, se mandarán al calibrador que generará dicha medida y será inmediatamente leído por el multímetro como norma de seguridad. Si la medida de prueba no es dañina para el multímetro, empezará la fase de espera, donde el calibrador estará generando, pero el multímetro no medirá nada. De esta forma nos aseguramos de que se ha generado un calor estable.

Una vez este tiempo ha transcurrido, se mide la señal las veces que el usuario ha indicado anteriormente, siendo diez veces las necesarias según la norma con la que trabajamos. Una vez hechas las medidas se almacenarán en forma de vector.

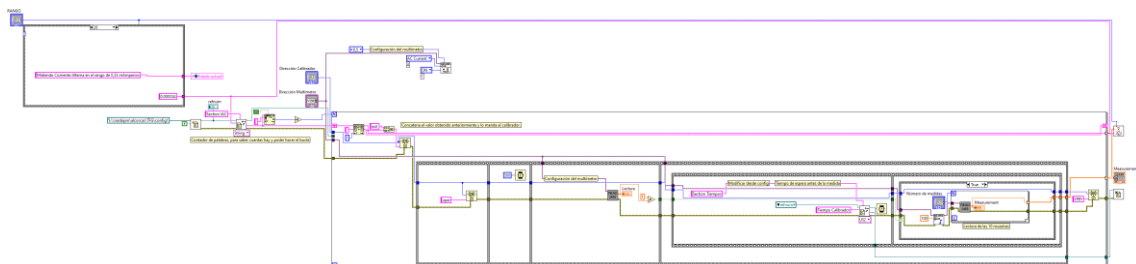


Ilustración 35 Vista del programa completa.

Como en el resto del programa, el usuario puede detener en cualquier momento el programa, pulsando el botón “STOP” del selector.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

0.00033A= 0.00003A,50Hz 0.00003A,1000Hz 0.00003A,5000Hz 0.0003A,50Hz
0.0003A,1000Hz 0.0003A,5000Hz

0.0033A= 0.00033A,1000Hz 0.003A,50Hz 0.003A,1000Hz 0.003A,5000Hz 0.003A,10000Hz

0.033A= 0.0033A,1000Hz 0.03A,50Hz 0.03A,1000Hz 0.03A,5000Hz 0.03A,10000Hz

0.33A= 0.033A,1000Hz 0.3A,50Hz 0.3A,1000Hz 0.3A,5000Hz 0.3A,10000Hz

2.2A= 0.33A,1000Hz 1A,1000Hz

3.6 Medida de resistencia

Para medir resistencia hay que tener en cuenta que para tener una buena precisión con los valores más pequeños hay que usar una disposición en cuatro terminales, mientras que con los valores más altos solo hará falta usar dos terminales.

El icono, que es común para las dos configuraciones de resistencia, es representado por el esquemático de la resistencia y la inicial R (Resistencia). Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

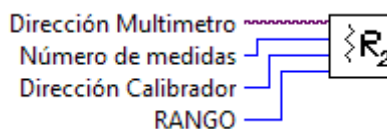


Ilustración 36 Icono Resistencia.

A la hora de configurar los multímetros será de forma diferente dependiendo del rango de la medida, por lo que se explicará en los siguientes puntos, en cambio la ejecución del programa después de la configuración del multímetro es la misma.

Una vez configurado el multímetro (puntos 3.6.1 y 3.6.2) el programa sigue con su ejecución de forma normal. Generando la señal correspondiente y midiendo al instante por seguridad, si hubiera habido algún error a la hora de generar el valor y este fuera perjudicial para el multímetro, el programa se detendría, no sin mandar antes el comando “STB”, que indica al calibrador que deje de generar la señal, así el multímetro queda protegido. Si la medida de seguridad representa un valor seguro para el multímetro el programa esperará un tiempo mientras el calibrador está generando la señal para que esta sea estable.

Pasado ese tiempo, que puede ser cambiado en el archivo de configuración, el multímetro hará las diez medidas (o las que el usuario decida) y serán almacenadas en un vector, que más tarde será utilizado.

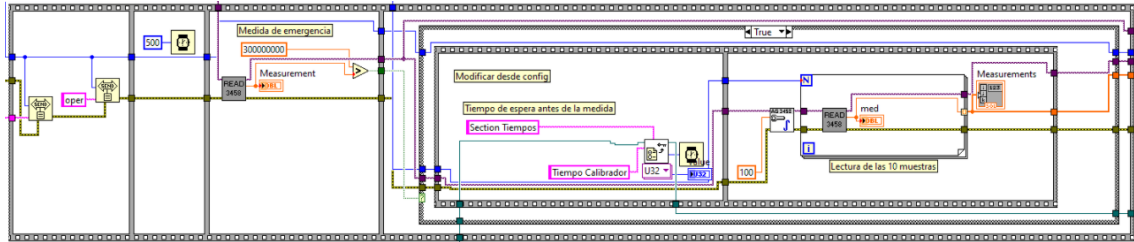


Ilustración 37 Sección de medida.

Como en el resto del programa, el usuario puede detener en cualquier momento el programa, pulsando el botón “STOP” del selector.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

Medir a 4 terminales.

110OHM= 10OHM 90OHM

330OHM= 110OHM 330OHM

1100OHM= 330OHM 1000OHM

3300OHM= 1100OHM 3000OHM

1.1KOHM= 0.33KOHM 1KOHM

3.3KOHM= 1.1KOHM 3KOHM

11KOHM= 3.3KOHM 10KOHM

Medir a 2 terminales.

33KOHM= 11KOHM 30KOHM

110KOHM= 33KOHM 100KOHM

330KOHM= 110KOHM 300KOHM

1.1MOHM= 0.33MOHM 1MOHM

3.3MOHM= 1.1MOHM 3MOHM

11MOHM= 3.3MOHM 10MOHM

33MOHM= 11MOHM 30MOHM

110MOHM= 33MOHM 100MOHM

330MOHM= 110MOHM 300MOHM

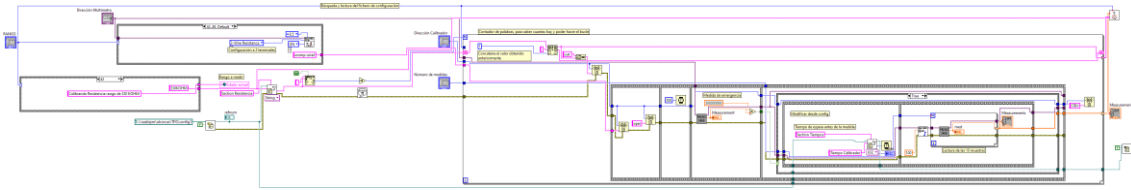


Ilustración 38 Vista del programa completa.

3.6.1 4 terminales

Empezando por la medida a cuatro terminales, el usuario tendrá que colocar la disposición que se muestra en la imagen 39, de esta forma podremos medir valores pequeños de resistencia.

Una vez puestos los cables de forma correcta, el usuario pulsará sobre el botón de continuar y el VI empezará a ejecutarse en segundo plano, por lo que no será necesario hablar sobre el Front Panel ya que este no se verá, solo se utilizará como modo de depuración para ahorrar tiempo a la hora de introducir datos.

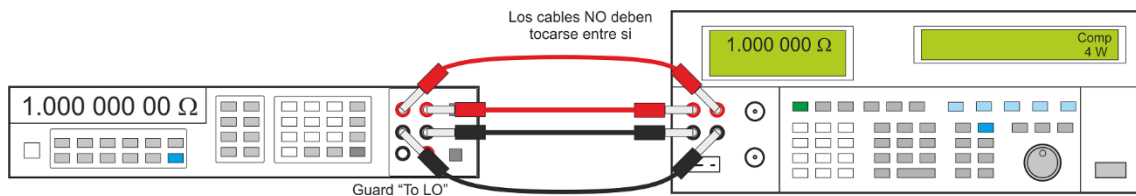


Ilustración 39 Distribución del cableado a 4 terminales

En la configuración del multímetro hay que indicar los terminales en los que hay que hacer la medida, esto depende directamente del rango seleccionado por el usuario que podemos ver en la tabla 2, si se escogen los rangos entre 33 y 41, la medida será a 4 terminales.

Aprovechamos para indicar a la misma vez al calibrador que tiene que usar una configuración a 4 terminales con el comando “zcomp wire4”.

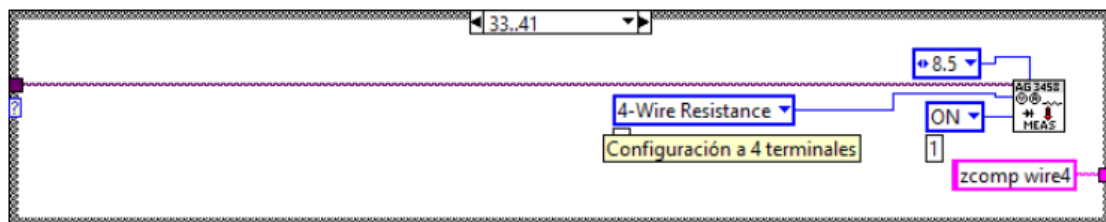


Ilustración 40 Configuración del multímetro y calibrador (4 terminales).

3.6.2 2 terminales

En la medida a dos terminales, el usuario tendrá que colocar la disposición que se muestra en la imagen 41, de esta forma podremos medir los valores más altos de las resistencias.

Una vez puestos los cables de forma correcta, el usuario pulsará sobre el botón de continuar y el VI empezará a ejecutarse en segundo plano, por lo que no será necesario hablar sobre el Front Panel ya que este no se verá, solo se utilizará como modo de depuración para ahorrar tiempo a la hora de introducir datos.

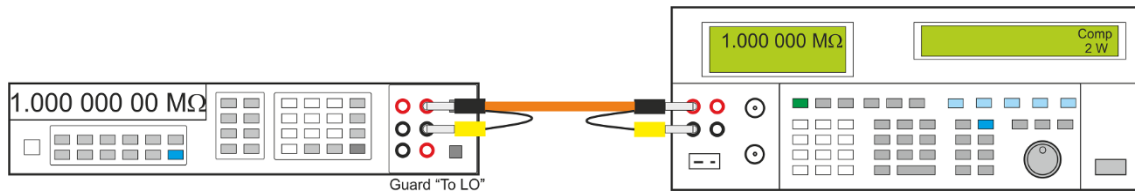


Ilustración 41 Distribución del cableado a 2 terminales

En la configuración del multímetro hay que indicar los terminales en los que hay que hacer la medida, esto depende directamente del rango seleccionado por el usuario que podemos ver en la tabla 2, si se escogen los rangos entre 42 y 48, la medida será a 2 terminales.

Aprovechamos para indicar a la misma vez al calibrador que tiene que usar una configuración a 4 terminales con el comando “zcomp wire2”.

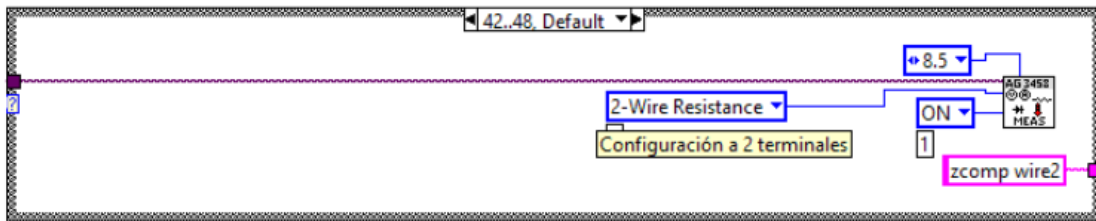


Ilustración 42 Configuración del multímetro y calibrador (2 terminales).

3.7 Medida de Temperatura

A la hora de generar y medir temperatura hay dos métodos, dependiendo de cual se use.

El sensor Pt100 es el sensor RTD más común en la industria de procesamiento y proporciona una resistencia de 100 ohmios a 0 ° C (32 ° F). La resistencia a altas temperaturas depende de la versión del sensor Pt100, porque existen diferentes versiones del Pt100, y proporcionan coeficientes de temperatura ligeramente diferentes. A nivel mundial, la versión más común es "385", con el que vamos a trabajar. La variación del valor de resistencia respecto la temperatura se rige por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100^{\circ}C}$$

Ecuación 1 Fórmula Pt100

Donde:

α = coeficiente de temperatura

R100 = Resistencia a 100 °C (138,51 Ohmios)

R0 = Resistencia a 0 °C (0 Ohmios)

Al final, a la hora de medir hay que tener en cuenta que es un valor bajo de resistencia, entonces utilizaremos el multímetro con una configuración a cuatro terminales, como si fuera una resistencia normal.

El calibrador en cambio tiene la función de generar en ohmios el equivalente en temperatura, por ejemplo, si le dices que genere -80°C el calibrador automáticamente hará el cálculo y generará 69 Ohmios, como si de una resistencia real se tratara.



Ilustración 43 Resistencia Pt100 comercial.

Con los sensores termopar o thermocuple en inglés, no se mide una resistencia que varía según la temperatura como en el caso anterior, se mide una pequeña tensión generada por el efecto termopar. Un termopar está compuesto por dos metales diferentes conectados en un extremo. Cuando la combinación de dos metales se calienta o enfría, se genera un voltaje proporcional a la temperatura.

Esto significa que un termopar no mide la temperatura absoluta sino la temperatura diferencial entre: T1 junta caliente (hot junction) y T2 junta fría (cold junction). Dado que las medidas de tensión eléctrica se suele realizar a temperatura ambiente, el valor de tensión es un valor demasiado bajo ya que hay que contar con que se resta la temperatura ambiente.

El efecto termopar se rige por esta ecuación:

$$R_t = R_0 * e^{\beta * (\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0})}$$

Ecuación 2 Efecto termopar.

Donde:

R_t = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t.

R₀ = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T₀.

β = Constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

Para mantener el valor para la temperatura absoluta se aplica la “compensación de la junta fría”. En el pasado, se efectuaba esta compensación mediante la inmersión de la punta fría en un baño de agua con hielo para que esta esté a 0°C. En los instrumentos modernos con entrada de termopares se incorpora una compensación electrónica de la junta fría.

El voltaje que obtendremos es del orden de nanovolios, por lo que tendremos que utilizar un multímetro auxiliar, el Agilent 34420 A para obtener la resolución deseada.



Ilustración 44 Varios tipos de termopares comerciales.

3.7.1 Temperatura por pt100 (Ω)

A la hora de calibrar la función de temperatura Pt100 del calibrador habrá que volver a montar la disposición de 4 terminales para medir resistencia. Una vez montada por el usuario y halla hecho click en continuar, el programa empezará con su ejecución.

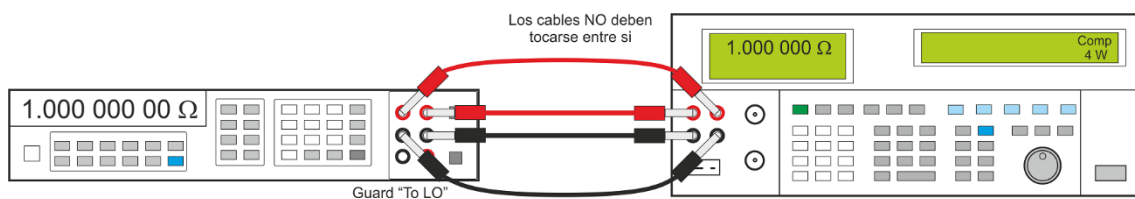


Ilustración 45 Distribución del cableado a 4 terminales.

El icono del Pt100 es representado por las letras Pt385, ya que es una resistencia de platino modelo 385. Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

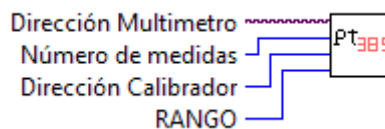


Ilustración 46 Icono Pt100.

Primero configuramos el multímetro de forma que esté preparado para medir resistencia a cuatro terminales, así no recibirá una señal equivocada cuando mida la se señal generada por el calibrador.

Una vez configurado el multímetro enviamos las órdenes de configuración al calibrador, para que este genere las señales. Esto lo hacemos por una parte fija que mande los comandos: "TSENS_TYPE RTD" y "zcomp wire4". Estos comandos configurarán el calibrador para simular un sensor de temperatura del tipo RTD y le decimos que la salida será en disposición de cuatro

terminales. Por otra parte, los valores que tendrá que generar se obtendrán del fichero de configuración, y serán desglosados como en el resto de funciones anteriores.

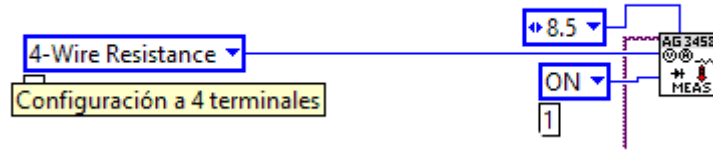


Ilustración 47 Configuración del multímetro.

Una vez el multímetro y el calibrador están configurados, se hará una primera medida de prueba, en la cual se analizará el valor dado, como en el resto de las funciones si este valor fuera dañino para el multímetro, el programa mandaría al calibrador dejar de generar la señal y acabaría la ejecución del VI en cuestión.

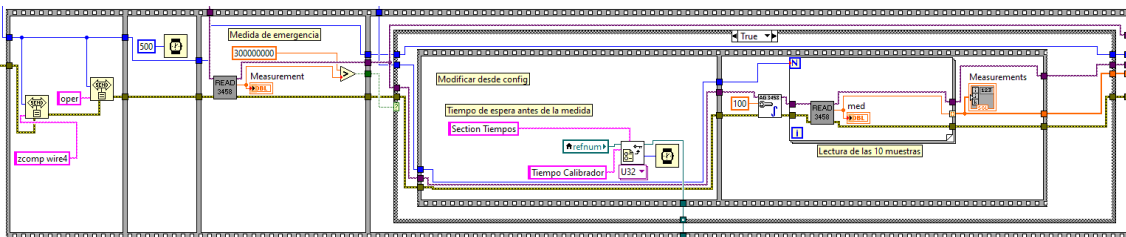


Ilustración 48 Ejecución de la sección de medidas.

Si la validación de la medida de protección es satisfactoria, el programa mandaría al multímetro medir el número de veces indicado, esperando antes el tiempo necesario para que la señal sea estable en el calibrador. Este tiempo podrá ser cambiado en el archivo de configuración.

Como en el resto del programa, el usuario puede detener en cualquier momento el programa, pulsando el botón “STOP” del selector.

Estos son los rangos y valores que generar siguiendo la norma de calibración del laboratorio.

$$-200^{\circ}\text{C} = -200\text{CEL}$$

$$-80^{\circ}\text{C} = -80\text{CEL}$$

$$0^{\circ}\text{C} = 0\text{CEL}$$

$$100^{\circ}\text{C} = 100\text{CEL}$$

$$400^{\circ}\text{C} = 400\text{CEL}$$

$$800^{\circ}\text{C} = 800\text{CEL}$$

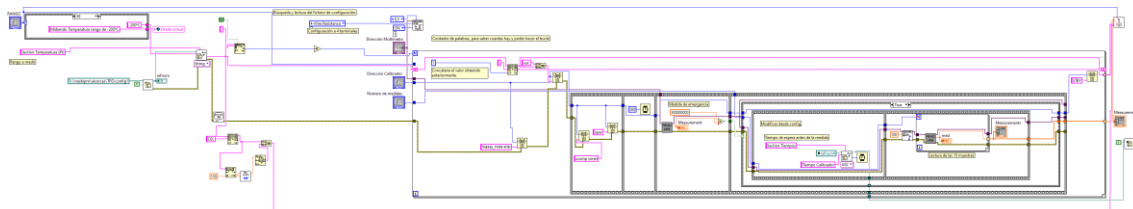


Ilustración 49 Vista del programa completa.

3.7.2 Temperatura por termopar (nV)

En esta medida de temperatura mediremos la diferencia de potencial de un termopar, lo que se traduce en una tensión pequeña del orden de nanvoltios, por lo que tendremos que usar un nano multímetro para obtener una buena resolución. A la hora de establecer la configuración de los cables, hay que tener en cuenta que el nano multímetro tiene que partir de un valor de 0 voltios, para eso usamos la función null. El proceso será el siguiente:

Primero cortocircuitamos los terminales del nano multímetro.

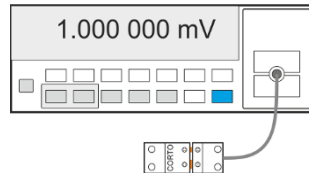


Ilustración 50 Corto del nano multímetro.

Hacemos una medida, con la que aplicaremos un null y así empezar con un valor de 0 voltios.

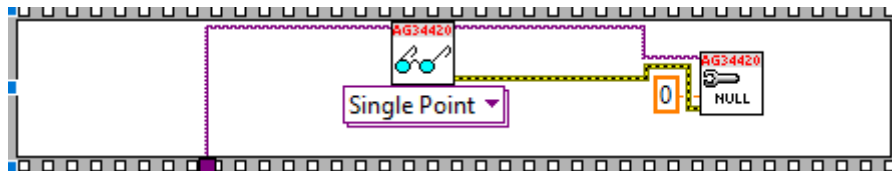


Ilustración 51 Medida previa y puesta a cero.

Una vez se ha realizado la puesta a cero o null, podemos acabar con la configuración, conectando al salida termopar del calibrador al nano multímetro.

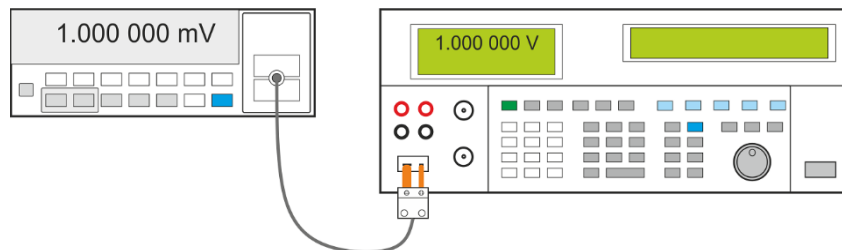


Ilustración 52 Configuración final termopar.

Una vez finalizada la configuración el programa pasará a ejecutarse con normalidad.

El icono del termopar es representado por el esquemático de un sensor termopar. Para que el VI funcione es necesario que este obtenga la dirección del calibrador, la dirección del multímetro, el número de muestras a medir y el rango. Las direcciones serán correctas ya que la primera parte del programa se encarga de la identificación de estos. El número de muestras se puede introducir en cualquier momento del funcionamiento del programa, excepto cuando se están haciendo las mediciones. Por último, el rango es un único número de los rangos expuestos en la tabla 2, descompuesta por un bucle for, de forma que el programa se iniciará tantas veces como rangos haya que medir.

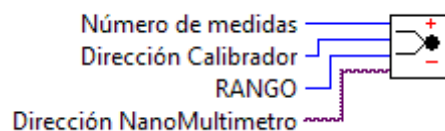


Ilustración 53 Icono Termopar.

Configuramos ante todo el nano multímetro para obtener las medidas, deseadas. En este caso, estamos midiendo tensión continua (DC Volts) con una resolución de 8.5 dígitos. Configuraremos el calibrador para que simule un termopar de tipo K con una referencia externa de 0 Celsius.

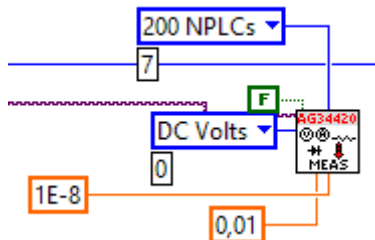


Ilustración 54 Configuración del multímetro.

Una vez configurado el calibrador obtendrá los datos de las medidas del archivo de configuración y pasará a generarlos. Antes de medir definitivamente se hará una medida de prueba, con la cual se evaluará si es seguro seguir ya que el nano multímetro es muy sensible y un valor más alto de lo normal puede acarrearle serios daños. Si el valor es correcto, el multímetro esperará el tiempo necesario para que el calibrador pueda generar una señal estable antes de realizar las diez medidas necesarias.

3.8 Control de datos

Una vez obtenido el vector resultado de las diez medidas, este entrará en el último subIV del programa, el cual ordena los datos, calcula la media y la desviación típica y los guarda en un fichero con el formato adecuado para ser introducidos en el documento de calibración final.

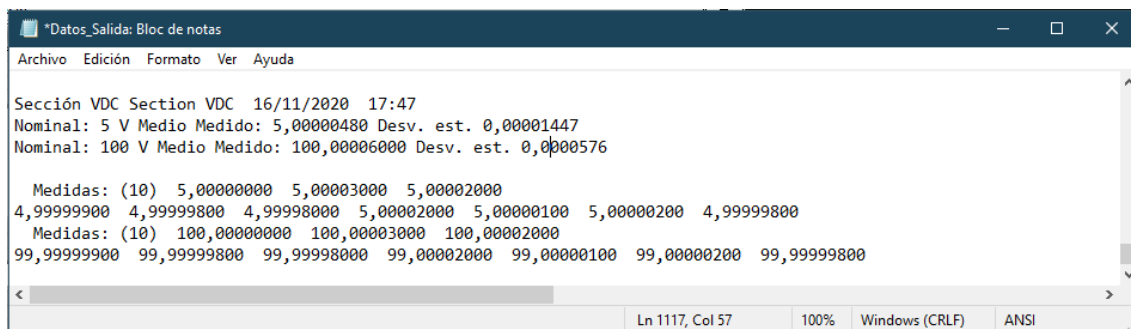


Ilustración 55 Formato de salida.

El icono es una curva de Gauss (por la aplicación estadística del VI) y el símbolo de media y desviación típica. La ejecución del programa es sencilla, necesita como entradas el rango elegido por el usuario, las medidas para calcular la media y la desviación típica y guardarlas dichas medidas, el valor nominal, que se obtiene de la medida y la sección que es la palabra clave obtenida del archivo de configuración.

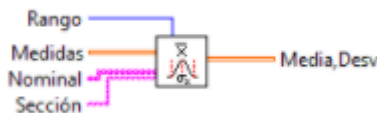


Ilustración 56 Icono VI media,desv_típica.

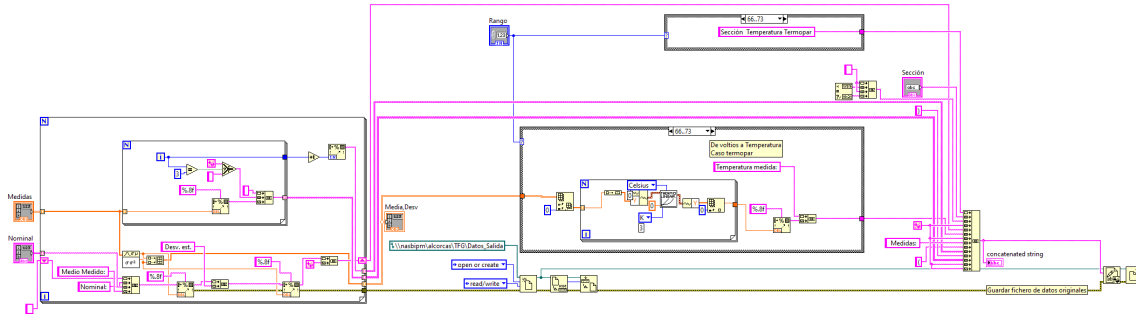


Ilustración 57 Vista general del programa.

El programa únicamente concatena las palabras y saltos de línea predeterminados del formato, así como la fecha y la hora en la que se ha realizado la calibración, con los datos obtenidos de las mediciones y lo guarda en un fichero de texto, de forma que es fácil obtener los datos para meterlos en la hoja de calibración final.



Capítulo 4. Conclusión

Este proyecto abarca la creación de un programa para reducir tiempos a la hora de calibrar un calibrador. Es un proceso lento, tedioso y repetitivo que hay que hacer al menos una vez al año, ya que en electrónica es importante que todos los aparatos estén bien calibrados. Si no se toma en serio este proceso, muchas investigaciones pueden fracasar ya que con un único calibrador se calibran bastantes equipos de medida. Por eso esta tarea debería automatizarse lo máximo posible de modo que se pueda calibrar el instrumento sin perder tiempo y sin restarle importancia al proceso en sí.

Con este proyecto se ha colaborado a facilitar los procesos de calibración al Laboratorio de Instrumentación y Calidad de la UPV, ya que no es necesario que haya una persona físicamente en el puesto de trabajo, si no que pones las magnitudes que quieres calibrar en el programa y lo pues dejar ahí sin problema alguno, únicamente pasarte de vez en cuando para cambiar la configuración de la comunicación entre los diferentes instrumentos que se utilizan.

Finalmente quedaría solo volcar los datos en la hoja fina de calibración que daría los valores de incertidumbre, necesarios para saber si el instrumento está o no dentro de los rangos establecidos por la norma de calibración usada. Por lo que se puede seguir trabajando en esta línea y conseguir un proceso totalmente automatizado.



Capítulo 5. Bibliografía

<https://www.ni.com>

<https://es.wikipedia.org/wiki/GPIB>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11986/fichero/CAP%C3%8DTULO+2%252FCAP%C3%8DTULO+2.pdf>

<https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber>

<https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>