

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Diseño e implementación de un laboratorio para
el estudio del envejecimiento en acelerómetros
basado en LabVIEW**

MEMÒRIA

Autor: Ivan Haro Escudero
Director: Luz Maria Balado Suarez
Convocatòria: Juny/2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El trabajo presentado a continuación consiste en el diseño, construcción y programación de un laboratorio virtual, basado en LabVIEW, para efectuar ensayos de envejecimiento en micro-acelerómetros.

Para obtener las señales de los acelerómetros ha sido necesario emplear un sistema de adquisición de señales, en éste caso señales analógicas. Se ha programado un sistema de adquisición de datos para las dieciséis salidas en las direcciones X e Y de los ocho acelerómetros que se ensayan simultáneamente.

El diseño de la placa de circuito impreso o *PCB (Printed Circuit Board)* de soporte de los acelerómetros ha sido un factor determinante debido a las limitaciones de la herramienta de vibración. El condicionante del peso ha obligado a diseñar específicamente mediante CAD e impresión 3D el soporte. El control del instrumento de vibración se realiza mediante un generador de funciones interconectado al sistema de instrumentación mediante el bus de instrumentación estándar GPIB.

A todo lo dispuesto anteriormente y debido a la extensión temporal de los ensayos de envejecimiento que se desean realizar, se ha dispuesto un sistema de Laboratorio virtual para contar con acceso remoto y on-line de la experimentación no solo en el PC de control sino también a través de internet mediante un terminal portátil.

Índice

Resumen	1
Índice	3
1. Glosario.....	5
2. Objetivos.....	6
2.1. Requerimientos previos	6
3. Laboratorio Virtual	7
3.1. Funcionamiento del laboratorio virtual	7
4. Laboratorio virtual. Hardware	9
4.1. Instrumentos.....	9
4.1.1. Vibrador.....	10
4.1.2. Amplificador	10
4.1.3. Generador de funciones	11
4.1.4. Osciloscopio.....	11
4.1.5. Módulo de adquisición	12
4.2. Placas de soporte de los acelerómetros	13
4.2.1. Acelerómetros	14
4.2.1.1. Mecánicos.....	14
4.2.1.2. Piezoeléctricos	14
4.2.1.3. Capacitivos.....	14
4.2.2. Condensadores de filtrado y desacople	15
4.2.3. Conector	16
4.3. Placas de estudio.....	16
4.3.1. Diseño de la placas mediante Eagle	16
4.3.1.1. Diseño del esquemático	16
4.3.1.2. Diseño de la placa para 8 acelerómetros.....	17
4.3.2. Cantidad de componentes	18
4.3.3. Placa de estudio	18
4.3.4. Placa de conexiones	19
4.3.5. Soldadura de los componentes	20
4.3.5.1. Resultado de la soldadura	22
4.3.6. Soporte de vibración	22
4.3.7. Comprobación del peso del conjunto de vibración.....	23
5. Laboratorio Virtual. Software	25
5.1. Programa de adquisición mediante LabVIEW.....	25
5.1.1. Programa de adquisición	25
5.1.2. Panel frontal	26
5.1.2.1. Señales de salida de los acelerómetros	27
5.1.2.2. Valor de la alimentación de la placa de acelerómetros	28
5.1.2.3. Activar registro de las señales	29
5.1.2.4. Representación de la señal a largo plazo.....	29
5.1.2.5. Modificación de la señal del generador de funciones	29
5.1.2.6. Fin del experimento.....	30
5.2. Protocolo de Interconexion de los Instrumentos (GPIB).....	30
5.2.1. Definición	30
5.2.2. Funcionamiento.....	30
5.2.3. Programación de la comunicación GPIB mediante LabVIEW	31
5.3. Control del experimento de forma remota.	35

6. Presupuesto de construcción de las PCB	36
7. Prueba de funcionamiento	38
7.1. Instrucciones de funcionamiento.....	38
7.1.1. Comprobación de la conexión de los dispositivos.....	38
7.1.2. Parámetro imprescindible antes de simular.....	39
7.1.3. Parámetros modificables durante la simulación	39
7.2. Prueba de funcionamiento	39
7.2.1. Descripción del experimento.....	39
7.2.2. Validación del laboratorio virtual	41
7.2.3. Errores de funcionamiento.....	44
8. Conclusiones	46
9. Bibliografía / Referencias	47
Anexo 1: Plano del soporte de vibración.....	48
Anexo 2: Bloques utilizados en el programa de adquisición	49
Bloque de adquisición	49
Bloque de generación de señales.....	51
Bloques de registro y guardado de las señales	52
Bloque de representación de las señales registradas	53
Bloques booleanos.....	54
Bloques de control (numéricos).....	55
Estructuras condicionales	56
Estructuras de eventos.....	56
Estructuras de bucle.....	57

1. Glosario

- **PCB:** *Printed Circuit Board* o placa de circuito impreso. Consiste en una placa formada por pistas de material conductor sobre una base no conductora. El uso principal es interconectar eléctricamente componentes electrónicas.
- **PCBA:** *Printed Circuit Board Assembly*. Consiste en una placa de circuito impreso con los componentes electrónicos ya integrados.
- **DAQ:** *Data Acquisition* o Adquisición de datos. Radica en un dispositivo que permite medir usando un ordenador fenómenos eléctricos.
- **NI:** *National Instruments*. Es una empresa enfocada al diseño de productos software y hardware. Principalmente se caracteriza por el desarrollo de productos basados en la interfaz de comunicación GPIB y por la plataforma de diseño de sistemas LabVIEW.
- **LabVIEW:** Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench es una plataforma de diseño de sistemas mediante programación visual por bloques.
- **EAGLE:** *Easy Applicable Graphical Layout Editor*. Es el software utilizado para el diseño de las placas de circuito impreso.
- **FFC:** *Flexible Flat Cable*. Es un tipo de cable plano usado altamente en diseños electrónicos con muchas señales y limitaciones de espacio y peso
- **MEMS:** Micro-electromechanical system. Tecnología electromecánica micrométrica. Es la tecnología que permite la implementación de sistemas mecánicos y/o electrónicos en escala micrométrica e incluso nanométrica.
- **RAE:** Real Academia Española
- **ABS:** Antilock Brake System. Dispositivo diseñado para evitar el bloqueo de los neumáticos en un proceso de frenada.
- **SMT:** Surface Mount Technology. Tecnología de montaje superficial. En la actualidad, es la tecnología y método de fabricación más usado para el ensamblaje de dispositivos electrónicos.
- **SMD:** Surface Mount Device. Conjunto de componentes que son montados mediante la tecnología de montaje superficial.
- **VNC:** *Virtual Network Computing*. Es un tipo de software el cual permite el control de un ordenador de forma remota. Así como el intercambio de archivos de forma directa.
- **HP:** Hewlett-Packard. Es una multinacional tecnológica.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo y programación de un laboratorio virtual que permita realizar ensayos de envejecimiento de acelerómetros basado en el programa LabVIEW.

Se pretende desarrollar el laboratorio por completo, empezando desde el diseño de las placas que serán sometidas a estudio hasta el programa de adquisición y de control del laboratorio.

Ya que los instrumentos que conforman el laboratorio tienen unas limitaciones, los elementos a estudiar deben ser compatibles con estas limitaciones. Para eso habrá que recurrir al uso de últimas tecnologías pero siempre teniendo en cuenta el desarrollo eficiente bajo la premisa del mínimo coste.

Para considerar el laboratorio funcional es necesaria la fabricación de una placa de estudio y de la creación de un entorno de simulación, tanto a nivel de programa como a nivel de control de los elementos que conforman el laboratorio.

2.1. Requerimientos previos

Para la correcta realización del proyecto han sido necesarios conocimientos de electricidad, electrónica, programación y diseño en CAD y análisis de datos de una forma estadística.

A su vez, ha sido imprescindible el aprendizaje de nuevas tecnologías tales como módulos de adquisición, sistemas de vibración, software de diseño, redes de instrumentación y, especialmente, el software LabVIEW.

3. Laboratorio Virtual

Definimos Laboratorio Virtual como un entorno formado tanto por instrumentos como por software interconectados de una forma concreta que permite realizar experimentos controlados principalmente desde el ordenador sin necesidad de una interacción continua con los elementos físicos.

El laboratorio virtual de éste proyecto ha sido enfocado al estudio de envejecimiento de acelerómetros mediante vibraciones. Los elementos que lo componen y las interconexiones entre ellos se pueden observar en la figura 1, mostrada a continuación:

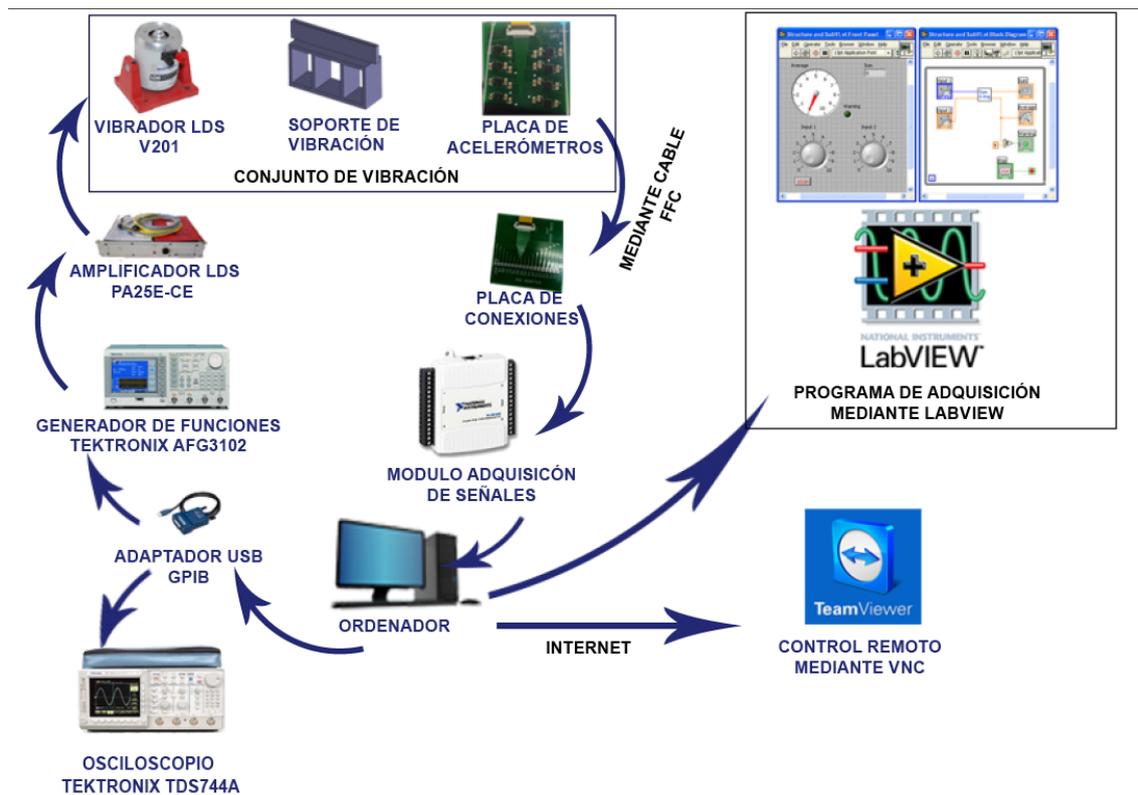


Figura 1: Disposición del laboratorio virtual

Se considera hardware del laboratorio virtual todos los elementos físicos como Instrumentos, módulos de adquisición, vibrador, ordenador y placas.

Se considera software del laboratorio virtual a todos los programas utilizados que han permitido el desarrollo de todo el conjunto así como el programa de adquisición de señales y de control remoto.

3.1. Funcionamiento del laboratorio virtual

El elemento básico del Laboratorio es el instrumento de vibración que permite ejercitar los acelerómetros bajo distintos perfiles de vibración dependiendo del ensayo que queramos realizar. En ese caso al ser ensayos de robustez y envejecimiento una de las características importantes es la larga duración de dichos ensayos. Por ello se considera necesaria una monitorización con visualización y control remoto.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

El funcionamiento del laboratorio virtual viene condicionado a la utilización de un ordenador personal de sobremesa como elemento central y un dispositivo móvil tipo portátil o similar para el acceso mediante internet.

Los instrumentos necesarios en el laboratorio, un generador de funciones y eventualmente un osciloscopio, se conectan al PC mediante conexión USB-GPIB gracias a un adaptador necesario para tal fin. El generador de funciones está conectado al amplificador que controla y alimenta el vibrador.

Gracias a un soporte desarrollado especialmente para esta situación es posible fijar la placa de acelerómetros al vibrador.

La placa de acelerómetros transmite las señales a la placa de conexiones mediante un cable plano (FFC) y desde la placa de conexiones se transmiten las señales a un módulo de adquisición USB conectado al ordenador.

El control de los instrumentos y del módulo de adquisición es posible gracias a una aplicación de LabVIEW desarrollada mediante programación en bloques y que consta de un panel frontal que permite la interacción del usuario con el programa y un panel de programación.

El programa de control al estar únicamente de forma local en el ordenador se puede controlar de forma remota gracias a un software VNC.

4. Laboratorio virtual. Hardware

En este apartado detallamos los distintos elementos que componen el hardware del Laboratorio. Hablaremos por tanto del generador de funciones, osciloscopio, el propio vibrador y elementos completamente necesarios para el correcto funcionamiento del conjunto como son las placas PCB y el soporte de vibración.

4.1. Instrumentos

Para llevar a cabo el desarrollo del laboratorio se ha utilizado un generador de vibraciones electro dinámico, concretamente la serie V200 de la empresa LDS.

El vibrador permite reproducir en una zona controlada de laboratorio un entorno sometido a vibraciones para poder estudiar el comportamiento de los materiales frente a las vibraciones.

La serie V200 de vibradores se pueden utilizar mediante una combinación de osciloscopios y amplificadores pero la misma LDS ofrece un amplificador diseñado específicamente para ésta serie, el PA25E-CE, que también se ha utilizado en la experimentación.

El esquema habitual propuesto por LDS para una combinación de un vibrador V200 y un amplificador PA25E es el siguiente:

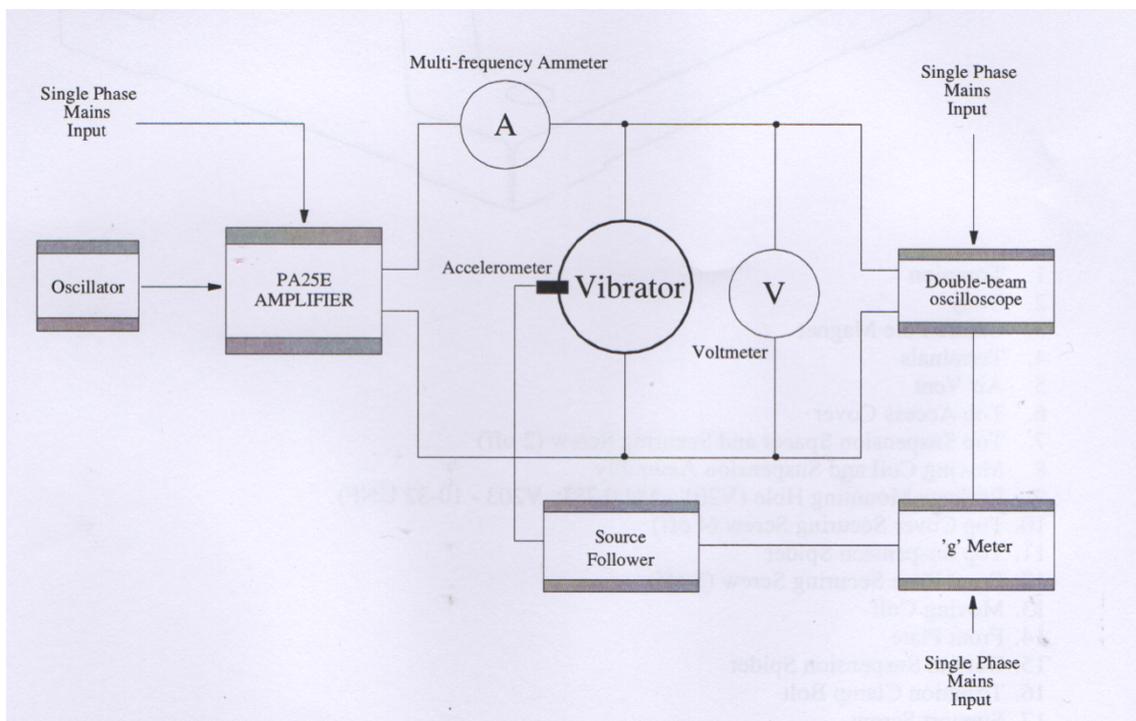


Figura 2: Esquema de elementos recomendados por LDS para una configuración vibrador / amplificador habitual [3]

En el esquema aparecen varios instrumentos que no son necesarios para disponer de un laboratorio que cubra las necesidades principales.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

En el laboratorio desarrollado se ha dispuesto únicamente de un vibrador, un generador de funciones, del amplificador y obviamente de la placa de estudio con acelerómetros. Ocasionalmente se ha utilizado un osciloscopio.

4.1.1. Vibrador

El vibrador escogido para el laboratorio es el V201 de LDS. Este tipo de generadores de vibraciones están especialmente diseñados para reproducir estados continuos de vibración bajo condiciones de laboratorio. El principio de funcionamiento es la interacción de un campo magnético estable producido por un imán permanente concentrado en el eje de vibración, y una corriente oscilatoria en una bobina móvil. En estas circunstancias la fuerza se genera en el ángulo deseado y ésta es proporcional al producto de la corriente instantánea y la densidad de flujo magnético.

Este tipo de dispositivos de laboratorio cuenta con unas limitaciones tanto eléctricas como mecánicas así pues el desarrollo se realizó teniendo en cuenta estas restricciones.

El funcionamiento del vibrador viene controlado siempre por un amplificador que a su vez está conectado a un generador de funciones. La composición recomendable es la del amplificador diseñado especialmente para la serie de vibradores de LDS pero es posible utilizar otro amplificador. Las características más importantes que se han considerado han sido [3]:

- **Máxima masa efectiva:** 0,02kg.
- **Intervalo de frecuencias:** 5-13000Hz
- **Recorrido máximo de vibración (sin carga):** 5mm



Figura 3: Vibrador de LDS modelo V201.

4.1.2. Amplificador

El amplificador utilizado ha sido el PA25E-CE de LDS, diseñado especialmente para la serie V200 de vibradores. El uso del amplificador permite la alteración de la amplitud de la señal generada por el generador de funciones sin alterar la frecuencia. A su vez, también aporta protección eléctrica para el vibrador en caso de cortocircuito fijando la señal de salida a un máximo de 3,5A y también de forma mecánica, evitando que se le puedan aplicar parámetros excesivos al vibrador mediante un sistema de

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

enclavamiento. Éste también actúa en caso de superar la corriente ya mencionada de 3,5A. Una vez el sistema de seguridad ha entrado en funcionamiento, es necesaria una activación manual del sistema de enclavamiento, tal y como se puede ver en la **figura 4**.



Figura 4: Amplificador de LDS modelo PA25E-CE.

4.1.3. Generador de funciones

El generador de funciones elegido para el desarrollo del laboratorio ha sido el Tektronix AFG 3102. Se escogió concretamente este modelo dado que se disponía plena disponibilidad de él y contaba con conexión GPIB, imprescindible para el desarrollo del proyecto.

En éste caso, y por necesidades de los otros instrumentos, el generador de funciones se debe conectar de forma directa al amplificador.

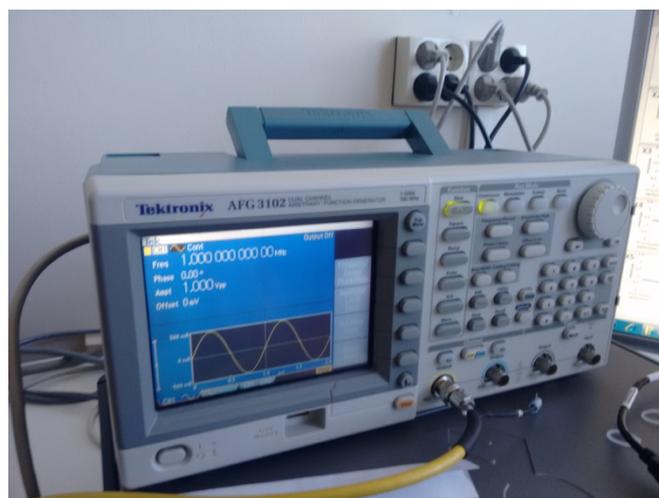


Figura 5: Generador de funciones Tektronix AFG 3102

4.1.4. Osciloscopio

Dadas las características y el enfoque que se la ha dado al laboratorio, el uso del osciloscopio no es imprescindible, pero es una herramienta útil para la validación del funcionamiento del Laboratorio virtual.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Aun así, en caso de necesitarlo como complemento o para futuras aplicaciones del laboratorio se ha dispuesto de un osciloscopio Tektronix TDS744A. La configuración, instalación y programación de éste dispositivo es igual que la del generador de funciones, teniendo en cuenta que los aspectos configurables del osciloscopio son mucho más numerosos que los del generador de funciones.



Figura 6: Osciloscopio Tektronix TDS744A

4.1.5. Módulo de adquisición

Para registrar las señales de los acelerómetros se ha utilizado un módulo de adquisición de la propia National Instruments, concretamente el modelo NI-USB 6008.



Figura 7: Módulo de adquisición National Instruments USB 6008

Este modelo permite una integración y configuración sencilla mediante LabVIEW únicamente con una conexión USB.

El módulo de adquisición se puede utilizar de dos formas, siendo imprescindible indicar en el programa de qué forma trabajará el módulo.

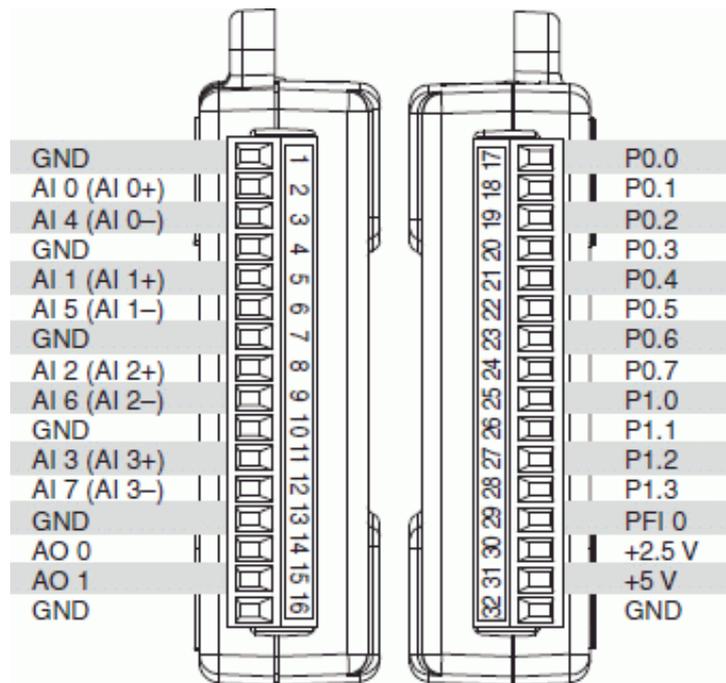


Figura 8: Disposición de las entradas y salidas del módulo de adquisición [4]

El módulo puede operar en modo RSE(*Reference Single Ended*) o comúnmente conocido como referencia a tierra o como se observa en la Figura 8 las señales que aparecen entre paréntesis el módulo puede operar en modo diferencial. Como se puede ver en la misma figura, el módulo también permite el uso de señales digitales tanto de entradas como de salidas pero dada la naturaleza del ensayo a realizar mediante el laboratorio no se ha usado ninguna de ellas.

En este caso se ha utilizado el modo RSE para poder registrar 8 entradas analógicas.

También se ha utilizado una salida analógica para alimentar a los acelerómetros. En este caso, el módulo puede aportar una señal de entre 0 a 5V y hasta 200mA. Considerando que los acelerómetros tienen un consumo máximo de 350 μ A el módulo es capaz de alimentar a todo el conjunto.

4.2. Placas de soporte de los acelerómetros

El objetivo principal de un laboratorio es el estudio o simulación de acelerómetros en unas condiciones controladas y medidas. Aunque el laboratorio pueda estar operativo a nivel de diseño, el funcionamiento únicamente se puede verificar realizando el experimento para el cual ha sido diseñado. Para ello, ha sido necesaria la construcción de diferentes placas, concretamente de 2, una de soporte y una de adaptación de interconexiones.

Los componentes principales de la placa de soporte son los acelerómetros. En el mercado actual hay diferentes tipos de acelerómetros, en este caso se utilizan acelerómetros de tipo MEMS de los que se comenta la estructura y funcionamiento a continuación.

4.2.1. Acelerómetros

Según la Real Academia Española [1] un acelerómetro es un aparato que mide la aceleración de un cuerpo. La definición en si no es incorrecta pero se puede considerar simple y con la necesidad de ampliarla.

Un acelerómetro es un dispositivo que mide los cambios en la aceleración gravitacional de un objeto en el cual está instalado. En función de dicha aceleración el acelerómetro ofrece una respuesta en forma de voltaje provocada por variaciones dependiendo del tipo de acelerómetro estudiado. En definitiva, un acelerómetro mide la fuerza inercial generada cuando una masa se ve sometida a un cambio de celeridad aunque también permite medir variaciones en inclinación y vibraciones.

Los acelerómetros, se pueden diferenciar en dos grandes grupos: según el número de ejes de trabajo y según el método de captación.

Según el método de captación, hay diferentes tipos de acelerómetros.

4.2.1.1. Mecánicos

Las variaciones se obtienen mediante galgas extenso métricas. Una galga extenso métrica se basa en la propiedad de piezoresistividad que consiste en que la resistencia eléctrica del material es directamente proporcional a la deformación de éste.

4.2.1.2. Piezoeléctricos

Las variaciones se obtienen mediante el efecto piezoeléctrico. Una deformación sobre el material causada por una aceleración, produce una alteración de la estructura cristalina del dispositivo y como consecuencia directa una alteración de las propiedades y características eléctricas.

4.2.1.3. Capacitivos

En este tipo de acelerómetros las variaciones se obtienen gracias a la modificación de la posición de las placas en un micro condensador. Esta variación es ocasionada cuando el dispositivo se somete a una aceleración. La modificación de la posición de las placas del micro condensador altera la capacidad de éste y al variar la capacidad la señal eléctrica de salida también varía. Ésta tecnología se integra principalmente en acelerómetros de tipo MEMS.

En éste proyecto queremos ensayar acelerómetros micro mecanizados de tipo capacitivo que es la tecnología empleada en los acelerómetros más utilizados en la actualidad para aplicaciones de automóvil y dispositivos de posicionamiento para tabletas y teléfonos móviles.

A estos sensores micro mecanizados se les denomina MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos) y son capaces de integrar el sensor de aceleración y la electrónica de acondicionamiento en un mismo chip.

El núcleo es una estructura móvil compuesta de dos pares de corredores. Uno anclado al substrato, fijo y el otro a una masa conocida montada sobre resortes que pueden

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

desplazarse como respuesta a una aceleración. La aceleración aplicada varía la capacitancia entre los pares de correderos.

Los acelerómetros escogidos para la simulación han sido unos acelerómetros de tipo MEMS de la empresa Analog Devices. Las características principales para determinar el modelo han sido: Rango de trabajo en fuerza g, tipo de salida y el precio.

Para el experimento propuesto, un acelerómetro con un rango de $\pm 5g$ es suficiente.

La salida del acelerómetro es analógica, suministrando una tensión en función de la aceleración.

Con las necesidades expuestas anteriormente se delimitó la búsqueda y finalmente se escogió el modelo ADXL325 con un precio aproximado de 3\$/u.

Cabe destacar que el precio de un acelerómetro de ejes de 3 era inferior que un modelo de las mismas características y con solo 2 ejes de trabajo. Dado que en el proyecto únicamente se han utilizado 2 ejes (eje X y eje Y), la salida del eje Z no se ha utilizado.

4.2.2. Condensadores de filtrado y desacople

Para desacoplar el acelerómetro del ruido de la fuente de alimentación y por recomendación de diseño de la propia marca, es necesario añadir al circuito diferentes condensadores C_{DC} para el correcto filtraje y obtención de la señal requerida.

Los parámetros y valores de desacople vienen indicados en el *datasheet* del acelerómetro [2].

Para seleccionar el ancho de banda de las salidas del acelerómetro e implementar un filtro de tipo pasa bajos para reducir el ruido hay que introducir condensadores entre la señal de salida y la tierra de todos. El valor de este capacitor se ha seleccionado de acuerdo al listado recomendado en el documento técnico del acelerómetro.

Bandwidth (Hz)	Capacitor (μF)
1	4.7
10	0.47
50	0.10
100	0.05
200	0.027
500	0.01

Figura 9: Valores recomendados de los capacitores en función de la frecuencia de alimentación. [2]

Se ha decidido trabajar con una frecuencia de 50Hz. Según la **figura 9** para el valor de 50Hz los condensadores necesarios son aquellos con una capacidad de 0,1 μF .

Dado que la placa se va a ensamblar con tecnología SMT los condensadores necesarios deben de ser dispositivos SMD. Teniendo en cuenta el tamaño y peso de la placa de circuito impreso en primera instancia se consideraron condensadores 0603 componentes la opción más factible fue reemplazar el diseño de condensadores 0603 por 1206 para evitar dificultades en el ensamblado de forma manual.

4.2.3. Conector

La placa de circuito impreso diseñada para soportar los acelerómetros más los condensadores debe ser sometida a un estado continuo de vibración por lo que soldar directamente las salidas a la placa no se consideró factible. En una situación de error supondría una gran dificultad en caso de cualquier rotura de las soldaduras o de los cables mismo.

Para tal propósito la idea que se llevó a cabo fue implementar un conector de cable flexible plano. Este tipo de cable aporta muy poco peso y permite un remplazo fácil en caso de rotura.

La alimentación y las salidas se han extraído mediante el cable flexible plano. A través de otra placa de circuito impreso diseñada como adaptador cada señal corresponderá a un pin de 1mm con un *pitch* o distancia entre pines de 2.54 mm, dimensiones aceptable para trabajar manualmente de una forma cómoda.

4.3. Placas de estudio

4.3.1. Diseño de la placas mediante Eagle

El diseño de la placa de circuito impreso se ha realizado mediante el software de diseño Eagle.

La elección de éste software en concreto ha sido por la facilidad que ofrece en el ámbito de integración de diferentes componentes y librerías. También, dispone de una versión gratuita que limita el tamaño total de la placa de circuito impreso pero no ha sido un problema ya que las dimensiones que ofrece la versión gratuita han sido suficientes para el diseño requerido.

El procedimiento de diseño de la placa mediante Eagle consiste en 2 pasos bien diferenciados.

4.3.1.1. Diseño del esquemático

En primera instancia hay que realizar las conexiones de la placa de circuito impreso en un esquema. En este paso, no es necesaria la elaboración de un circuito ordenado ni considerar longitud de las conexiones ni disposición de los elementos aunque sí que es recomendable para evitar errores de conexión. Por defecto, la librería de componentes de Eagle es un tanto escueta así pues ha sido necesaria la importación de los componentes necesarios tales como el conector de cable plano o los acelerómetros.

La principal funcionalidad de crear el esquemático en primera instancia es que Eagle toma como referencia la interconexión del esquemático para que posteriormente en el diseño de la placa de circuito impreso solo se tenga que prestar atención a la disposición de las pistas, vías y/o elementos y no de la conexión de los mismos ya que ésta ya ha sido definida anteriormente.

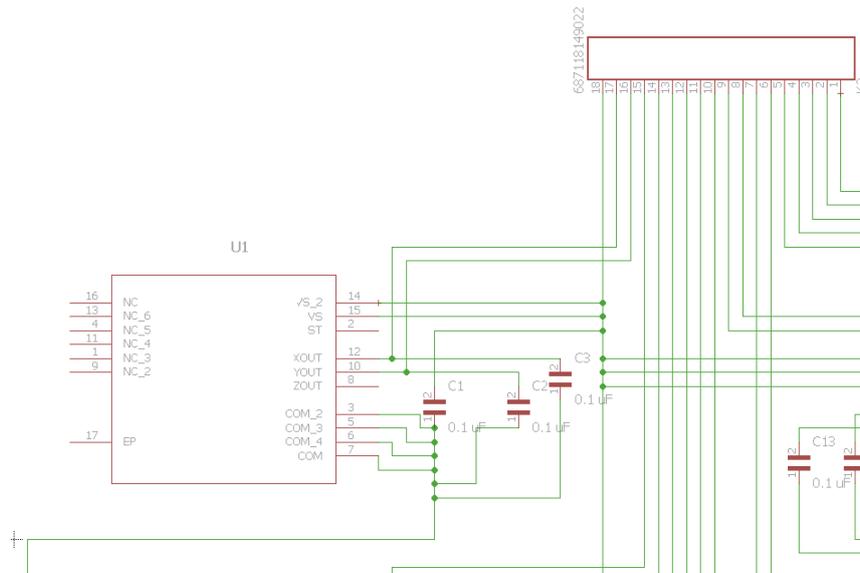


Figura 10: Esquemático de la disposición de un acelerómetro en Eagle.

Como se puede observar en la **figura 10**, las conexiones se entrecruzan y no tienen el aspecto de una placa de circuito impreso. En éste paso la única parte importante e imprescindible es conectar de forma correcta todos los elementos que forman el circuito y seguidamente pasar al diseño y conexión de la placa.

4.3.1.2. Diseño de la placa para 8 acelerómetros

Una vez finalizado el esquemático el paso inmediatamente posterior es la creación del circuito impreso. Cuando en Eagle pasamos de esquemático a placa, es habitual encontrarse un escenario como el siguiente:

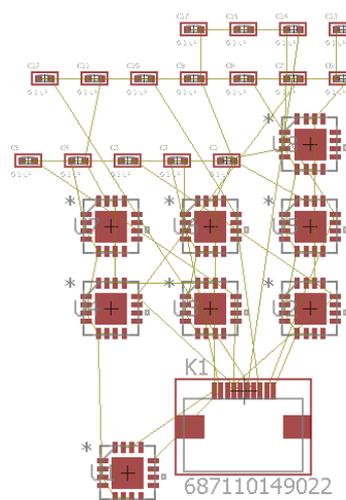


Figura 11: Disposición de los componentes en el modo placa

Como se puede observar en la **figura 11** los componentes aparecen de forma dispersa y sin ningún orden preestablecido pero se puede apreciar como diferentes pines de los componentes están interconectados por unas líneas de color ocre.

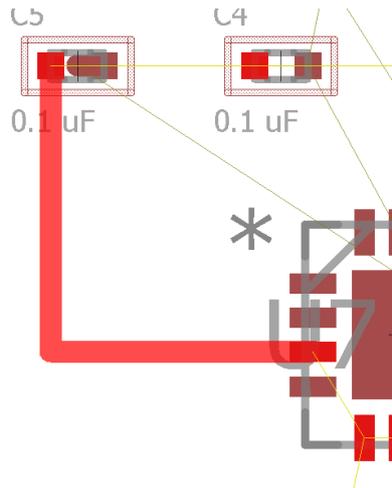


Figura 12: Conexión pre definida en el modo esquemático.

Dichas líneas, que sirven de guía para el trazado de la placa, se han definido en el esquemático creado anteriormente, de ahí la gran importancia de realizar las conexiones correctamente. De forma autónoma Eagle solo permite unir mediante pistas las conexiones que se han definido en el esquemático.

Para el diseño de la placa de circuito impreso ha sido muy importante la correcta disposición de los componentes y la búsqueda de simetría respecto a la disposición y peso de los componentes.

4.3.2. Cantidad de componentes

Debido a las limitaciones de peso que nos impone el vibrador y a su vez, las limitaciones a nivel de entradas del dispositivo de adquisición de señales a 8, el diseño de la placa consta de 8 acelerómetros. Así pues, todo el diseño de la placa ha girado en torno a los 8 acelerómetros a nivel de cantidad de condensadores y conector de cable plano.

Con el objetivo de exportar las señales de los acelerómetros se ha usado como puente otra placa. Las señales de los acelerómetros se comunican mediante cable flexible plano, cosa que permite una vibración mucho más natural que con los cables soldados directamente al módulo de adquisición.

4.3.3. Placa de estudio

La disposición o *layout* de la placa de estudio se puede ver en la siguiente figura :

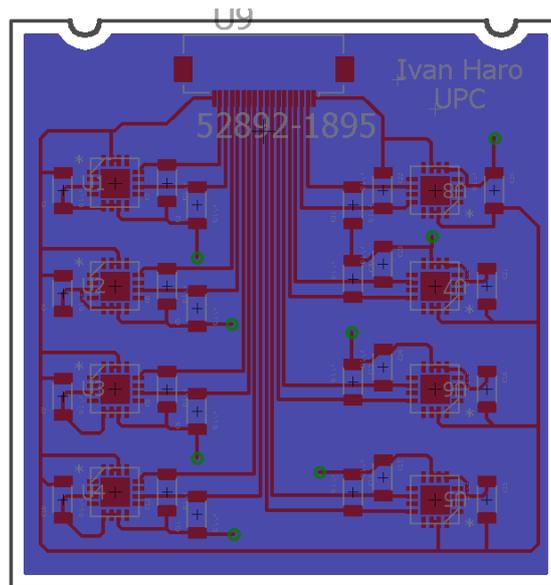


Figura 13: Disposición de la placa de 8 acelerómetros.

Las pistas de las señales correspondientes a tierra y tensión se diseñaron con un grosor superior. El motivo, es que a través de cada una de esas pistas se alimenta a todos los acelerómetros y a través de la otra pista se concentran todos los comunes y la corriente que atraviesa esas pistas es superior.

Debido al gran número de interconexiones entre el conector de cable plano y las diferentes señales necesarias en la placa, se optó por realizar el diseño en dos capas.

En la primera capa, que el software *Eagle* identifica en color magenta, se encuentran tanto los elementos SMD como las interconexiones entre ellos.

La segunda capa identificada en color azul está compuesta por una capa íntegramente de tierra. Con éste diseño se ha reducido el número total de vías a 8 (tantas como acelerómetros) cosa que ha reducido coste de fabricación. El hecho de usar una capa únicamente de tierra facilita la conexión de los demás elementos y aporta efecto de caja de Faraday.

Las muescas superiores se realizaron para facilitar el anclaje de la placa de estudio al soporte del vibrador.

4.3.4. Placa de conexiones

Ya que la distancia entre pines es de 0,5mm extraer las señales directamente de la placa de estudio se descartó en primera instancia para evitar posibles daños en la manipulación. Para poder extraer dichas señales se desarrolló una segunda placa, únicamente utilizada para las conexiones. Ésta segunda placa se debe encontrar estática en el laboratorio y se interconecta con la placa de estudio mediante un cable plano para permitir el movimiento de vibración sin aumentar el peso.

La disposición de la placa se puede observar en la siguiente figura:

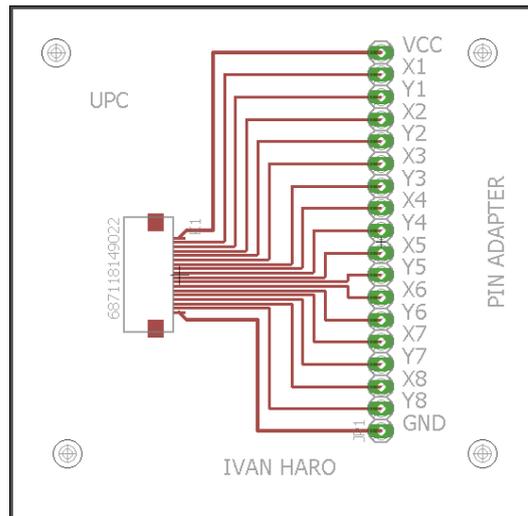


Figura 14: Disposición placa adaptadora para el DAQ

Las pistas de las señales correspondientes a tierra y tensión (VCC y GND) se diseñaron con un grosor superior dado que a través de una pista se alimenta a todos los acelerómetros y a través de otra pista se concentra todo el común de los acelerómetros y por consiguiente la corriente que atraviesa dichas pistas es superior a las otras.

4.3.5. Soldadura de los componentes

El problema principal de soldar acelerómetros de forma manual es que los *pads* o pistas se encuentran en la cara interior del componente, haciendo casi imposible una manipulación de forma manual.

Así pues, aplicando pasta de soldadura de una composición 63Sn/37Pb con una temperatura de trabajo de 183°C en cada una de las pistas en la placa se introdujo en un horno de soldadura por re fusión, específico para soldadura tipo SMT, concretamente el modelo *SMTprecision Lead-free Reflow Oven* de la marca *elektor*, mostrado a continuación.

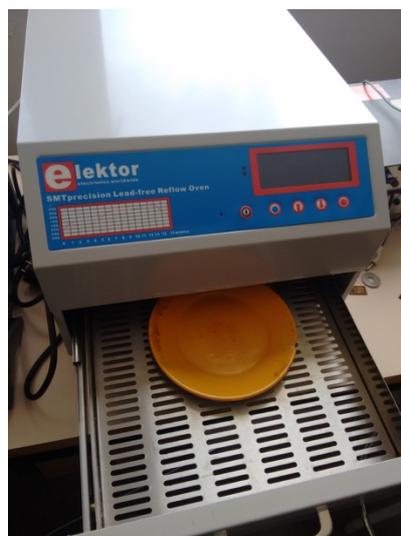


Figura 15: Horno empleado para efectuar las soldaduras de los acelerómetros

El funcionamiento del horno de re fusión consiste en que mediante la aplicación de calor en diferentes grados o intensidades permite la unión de la placa con el componente. Las etapas principales se pueden resumir en evaporación del disolvente, activación del flux de la pasta, calentamiento de los componentes, fusión de la pasta y enfriamiento. Los parámetros para estas sub funciones vienen indicadas en la siguiente figura:

Solder Type	Composition	Preheat °C/min	Heating °C/min	Soldering °C/30s	Retain (‘Keep’) °C	Cool
Lead, mid-temperature	Sn63-Pb37	130-150	170-180	230-240	180	150

Figura 16: Temperaturas y tiempos correspondientes a la aleación usada [5]

Programando el ciclo de soldadura tal y como indica la información técnica del horno para la aleación de pasta utilizada y, siguiendo el gráfico aproximado que se puede observar en la **figura 17**, los acelerómetros se soldaron de forma satisfactoria y se comprobó la continuidad de las señales y la ausencia de cortocircuitos mediante el multímetro.

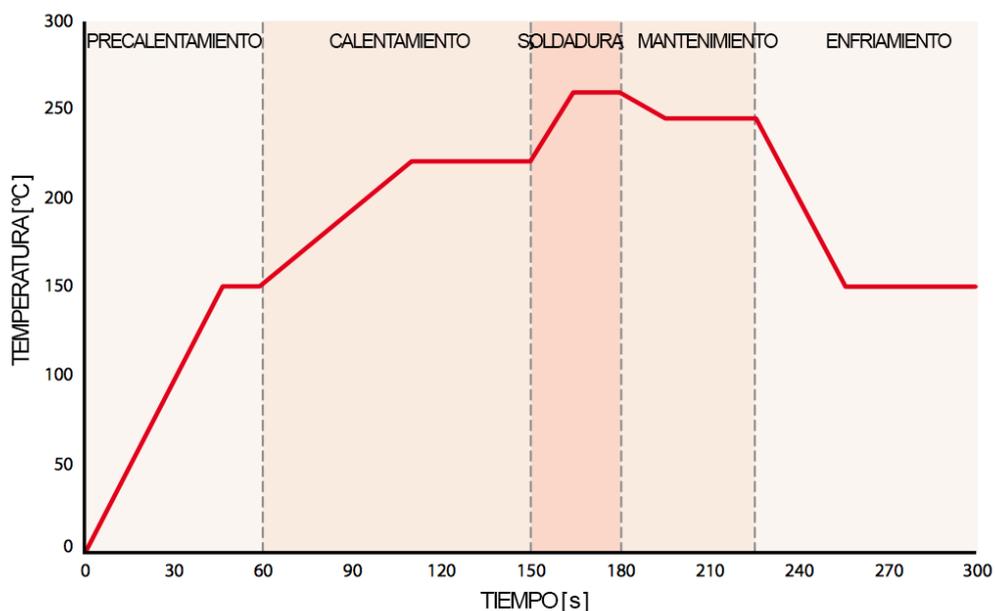


Figura 17: Ciclo de soldadura re fusión para SMT. [5]

En primera instancia se coloca la placa con la pasta ya aplicada y los componentes situados los más cerca posible de las pistas correspondientes encima de un plato cerámico, que aportará una distribución de calor en toda la placa y se calienta progresivamente hasta los 150°C aproximadamente.

En la parte de calentamiento, la pasta empieza a ser fluida y los componentes se encaran a las pistas donde van a ser soldadas. Esta operación se efectúa aumentando la temperatura progresivamente de 150°C a 225°C y manteniendo esta última durante dos minutos.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

En la fase de soldadura la pasta se une por completo a la pista y el componente, en un estado mucho más sólido que en el de calentamiento. La soldadura realizada es muy similar a la de un punto de estaño pero con una precisión mucho mayor. Según la composición de la pasta, esta fase sucede en un rango diferente de temperaturas. En nuestro caso, entre los 230°C y 250°C durante un lapso de tiempo muy reducido, de alrededor de 30 segundos.

Finalmente, en la fase de mantenimiento y soldadura se va disminuyendo la temperatura progresivamente para que la soldadura se realice correctamente y que los componentes queden fijados completamente manteniendo finalmente una temperatura de 150°C durante 1 minuto aproximadamente.

4.3.5.1. Resultado de la soldadura

Gracias al uso del horno de soldadura los acelerómetros se soldaron satisfactoriamente tal y como se puede apreciar en la siguiente figura

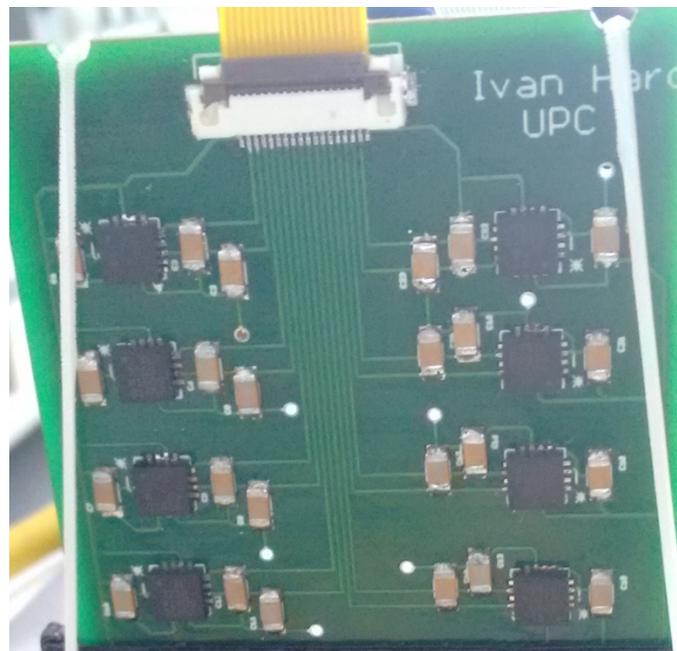


Figura 18: Soldaduras de los acelerómetros realizadas mediante horno de re fusión

4.3.6. Soporte de vibración

Una vez se fijaron las dimensiones de la placa en el apartado de diseño, tal y como se puede observar en la **figura 19** se realizó el diseño y construcción del soporte de vibración.

Board width (dimension X):	47.244000 mm
Board length (dimension Y):	49.225200 mm
Board thickness:	1.570000 mm

Figura 19: Dimensiones de la placa de acelerómetros

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Como se ha incidido con anterioridad, en todo el desarrollo del proyecto el peso es uno de los parámetros más críticos para el buen funcionamiento del laboratorio y por consiguiente del experimento.

Para realizar un soporte lo suficiente robusto para soportar el tiempo de vibración y a la vez ligero y barato, la opción escogida fue la de efectuar el diseño para imprimirlo en impresora 3D.

Ya que la placa era simétrica y el objetivo principal es que la vibración efectuada por el vibrador coincidiese directamente con una de las direcciones de los acelerómetros, el diseño del soporte se aceptó tal y como se ve en la **figura 20**.

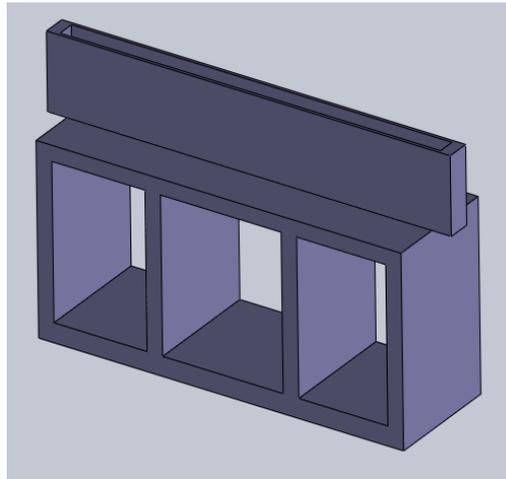


Figura 20: Soporte de vibración en 3D posteriormente construido mediante impresora 3D

La unión del soporte al vibrador se efectúa mediante un tornillo M4. Se prescindió de realizar el agujero en el diseño a imprimir ya que la precisión de las impresoras 3D utilizadas no es suficientemente alta así que es preferible de todo lo que sea efectuar orificios se haga a posteriori y no en el diseño que hace la impresora.

Como se puede observar, la zona donde es sujeta la placa tiene unos salientes en ambos lados. El propósito de estas partes es la de poder sujetar mediante una goma elástica insertada en la muesca de la placa también diseñada para tal menester, para asegurar la fijación al vibrador.

El plano del soporte se puede consultar en el **Anexo 1**.

4.3.7. Comprobación del peso del conjunto de vibración.

Consideramos el conjunto de vibración como la placa con los componentes soldados, el soporte de vibración y el tornillo de unión del soporte al vibrador.

Como se comentó con anterioridad, por las dimensiones y el tipo de experimentos a los cuales está enfocado el vibrador el peso del conjunto no podía exceder los 20g. En primera instancia y de forma teórica, ya que había diseñado todo el conjunto de vibración para no exceder el peso máximo.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Para evitar el realizar el experimento con un dispositivo no capaz se pesaron todos los componentes.

El peso total del conjunto es de 17g entonces se desestimó la opción de instalar el suspensorio adicional ya que el vibrador por si solo es capaz de sustentar el peso total del conjunto.

5. Laboratorio Virtual. Software

A nivel de software, los puntos principales son el programa de control desarrollado mediante LabVIEW, el sistema de control remoto y el software de interconexión de los instrumentos..

5.1. Programa de adquisición mediante LabVIEW

Una vez solventada la dificultad para transportar las señales eléctricas de la placa de estudio se planteó la manera de registrar las señales eléctricas de los acelerómetros para un posterior estudio.

La forma más sencilla para el registro de los datos fue utilizar un módulo de adquisición de señales y un programa que las registre. En el mercado actual, hay una gran disponibilidad de plataformas que permiten hacer ésta actividad pero dado que los equipos del laboratorio contaban con GPIB, la opción más viable es utilizar un módulo de adquisición de NI y un programa realizado con LabVIEW del cual la propia facultad dispone de licencias para el desarrollo de proyectos de esta temática.

5.1.1. Programa de adquisición

La característica principal de LabVIEW es la programación mediante la concatenación de bloques. Es posible realizar cualquier operación programable sin conocimientos de un lenguaje de programación. Se puede considerar como un lenguaje de alto nivel. Una vez explicado el panel frontal en el que se puede interactuar con el programa mediante diferentes elementos de una forma intuitiva y visual es necesario explicar la programación realizada mediante los bloques.

La disposición general del programa de adquisición es la siguiente:

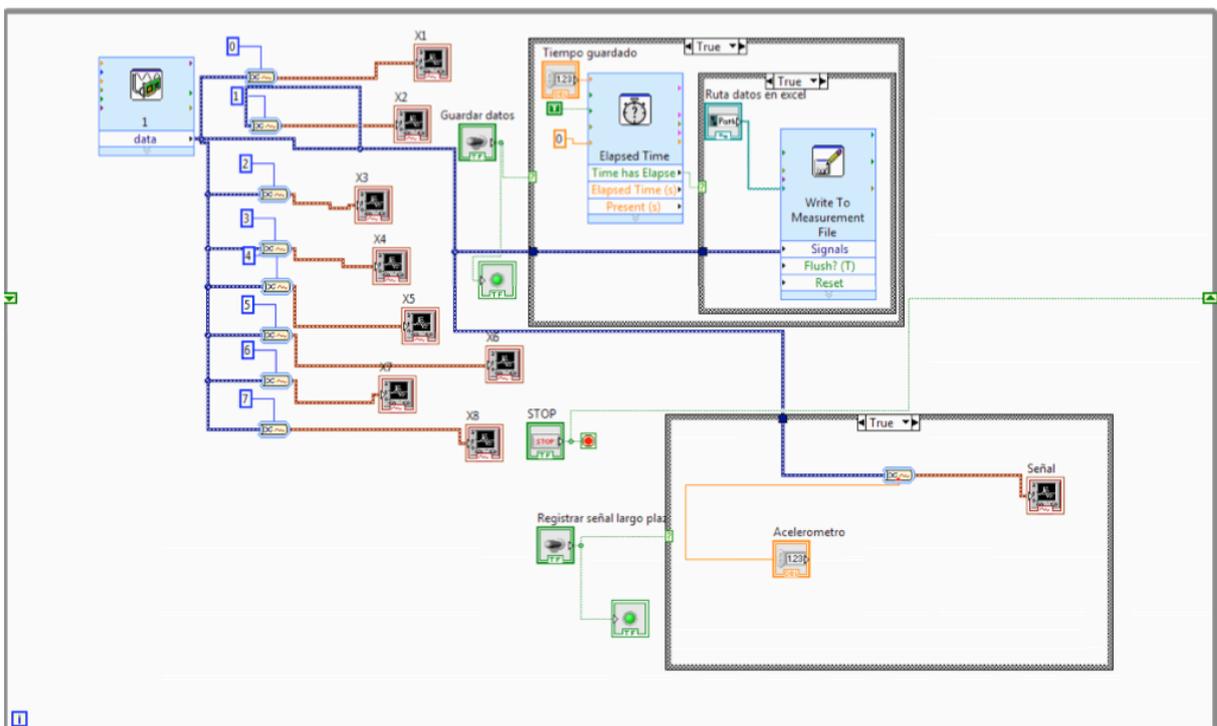


Figura 21: Programa de adquisición mediante bloques en LabVIEW , 1

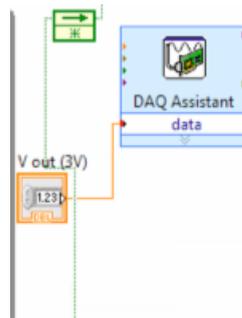


Figura 22: Programa de adquisición mediante bloques en LabVIEW , 2

Se ha representado el programa en dos figuras ya que LabVIEW no permite escalado en el programa y las dimensiones de éste eran superiores a la resolución de la pantalla. Aquello que aparece en la **figura 21** corresponde a la adquisición y gestión de datos y aquello que aparece en la **figura 22** la señal de alimentación de la placa de acelerómetros.

El funcionamiento del programa consiste en que mediante un bloque de adquisición, se obtienen tantas señales como entradas analógicas dispone el módulo de adquisición, que en este caso son 7. Para permitir la representación de cada entrada en un gráfico distinto se utilizan bloques del propio LabVIEW que permiten dicha función.

El programa no únicamente representa las señales de los acelerómetros en distintos gráficos sino que se ha desarrollado la posibilidad de guardar en archivo de Microsoft Excel los datos obtenidos cada un cierto tiempo definido por el operador del laboratorio y también se ha desarrollado la posibilidad de representar la salida del acelerómetro en un margen de tiempo más amplio que las representaciones instantáneas de los acelerómetros.

El funcionamiento de todos los bloques y las estructuras utilizadas puede consultarse en el **Anexo 2**.

5.1.2. Panel frontal

Como se ha comentado anteriormente, la programación en LabVIEW consiste en dos fases muy diferenciadas: La primera, crear el programa en sí mediante la unión de bloques y estructuras y la segunda, que consiste en un panel de control para el usuario con el que se puede interactuar con ciertas variables, visualizar gráficos y demás. El panel frontal completo se puede ver a continuación:

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

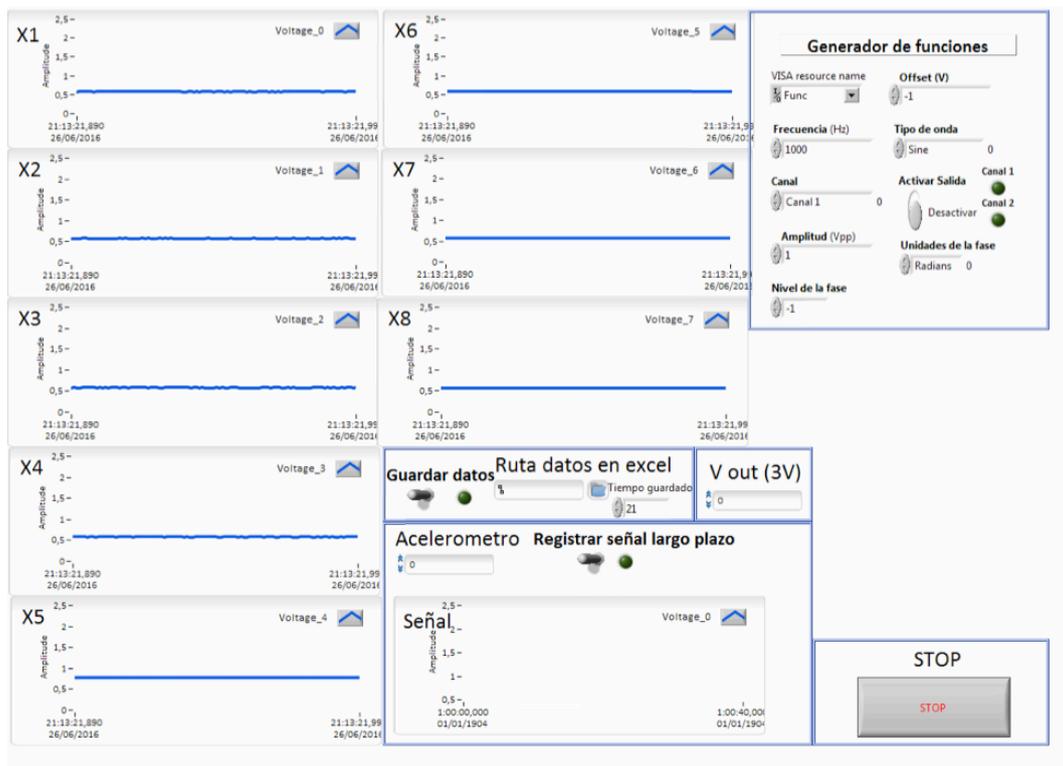


Figura 23: Panel Frontal laboratorio Virtual

A continuación, se explican en detalle todas las partes independientes del panel frontal.

5.1.2.1. Señales de salida de los acelerómetros

La parte del panel frontal que gestiona y representa las salidas de los acelerómetros es la representada en la siguiente figura:

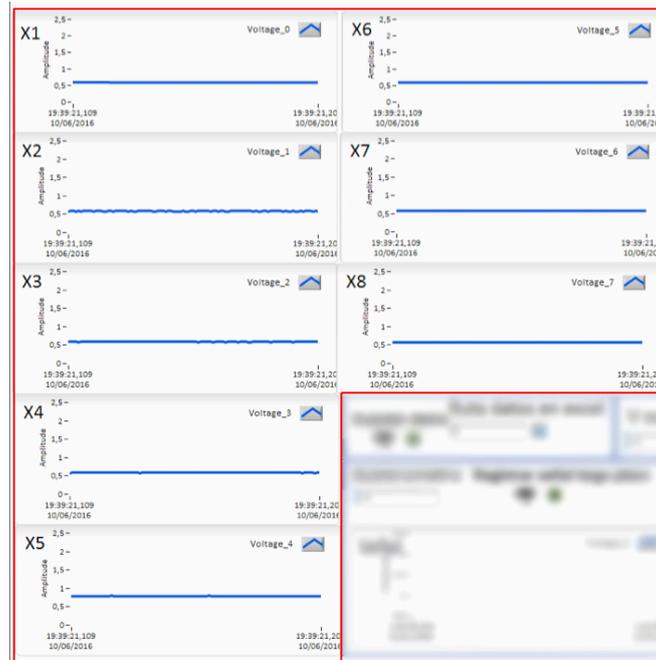


Figura 24: Parte del panel frontal correspondiente a la representación de los acelerómetros.

Todos los gráficos se han escalado de la siguiente forma:

- **Amplitud (Eje Y):** Entre 0V y 2,5V. Valores marcados por el *datasheet*.
- **Tiempo (Eje X):** Entre 0s y 0,1s. Dado que la frecuencia es de 1000Hz y el número de muestras son 1000 muestras de forma continua no hay ningún problema en lo referente a la representación de las salidas. El único inconveniente es que en éstos gráficos se visualiza la salida en ese instante y no guarda ningún histórico. Para solucionar tal inconveniente, se programó el modo “Registrar a largo plazo” y también se pueden analizar numéricamente los datos guardados en el archivo de Excel.

5.1.2.2. Valor de la alimentación de la placa de acelerómetros

La placa de los acelerómetros viene alimentada por la placa de conexiones que ésta a su vez viene interconectada con el módulo de adquisición. Para poder fijar el valor de la alimentación se ha utilizado una salida del módulo de adquisición y se ha programado tal y como se ha indicado anteriormente.

La interacción con la señal de salida se efectúa mediante la zona resaltada indicada en la **figura 25**. A nivel de seguridad, aunque la señal de salida ya se ha delimitado mediante el asistente, no se permiten introducir valores superiores a los 3,6V. También, se indica entre paréntesis la tensión recomendada de alimentación que es de 3V.

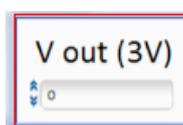


Figura 25: Parte del panel frontal correspondiente al set del valor de la salida en V

5.1.2.3. Activar registro de las señales

Durante la simulación puede ser interesante guardar las señales durante un lapso de tiempo pero no siempre. Para eso se ha programado de tal forma que mediante un interruptor se permita la activación de este registro de datos en un archivo Excel localizado en la ruta que se debe indicar en el cajetín dispuesto para tal fin. Cuando la función de guardado está activa se ilumina un led de indicación.

Se puede modificar el tiempo entre guardados modificando el valor del cajetín denominado como "Tiempo guardados". Los valores introducidos en este caso deben ser en segundos.

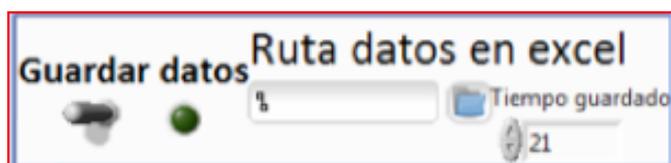


Figura 26: Parte del panel frontal correspondiente al set del valor de la salida en V

5.1.2.4. Representación de la señal a largo plazo

Las representaciones de los acelerómetros son instantáneas y únicamente podemos ver alteraciones de éstas en directo y no hay forma de ver un histórico a no ser que se hayan guardado los datos en un archivo de Microsoft Excel.

Para permitir esta representación histórica se ha programado de tal forma que es posible activar o desactivar la posibilidad de ver únicamente un acelerómetro a largo plazo. La activación se realiza mediante un interruptor y una vez activada se iluminará un led de indicación. Es necesario indicar que acelerómetro se desea ver a largo plazo de forma numérica del 0 al 7 correspondiendo el número 0 al acelerómetro número 1 y el 7 al acelerómetro número 8.



Figura 27: Parte del panel frontal correspondiente a la representación de un acelerómetro a largo plazo

5.1.2.5. Modificación de la señal del generador de funciones

Gracias a la integración en LabVIEW del instrumento conectado por GPIB es posible la modificación de la onda generada únicamente interactuando con los controles mostrados a continuación. Mediante el panel dispuesto a continuación es posible modificar la amplitud, el tipo de onda, el canal de salida del generador de funciones, la

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

frecuencia entre otros parámetros. El funcionamiento más concreto del GPIB se resume más adelante.

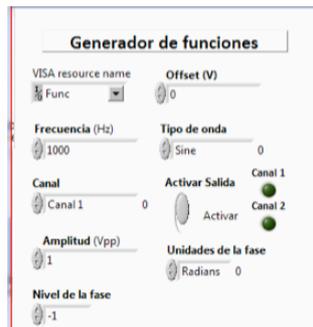


Figura 28: Parte del panel frontal correspondiente al control del generador de funciones

5.1.2.6. Fin del experimento

Tal y como se ha comentado anteriormente, el funcionamiento repetitivo del programa viene controlado con una estructura de bucle del tipo *while*. Para finalizar la ejecución del programa es necesaria la interacción con un botón de parada como el mostrado a continuación

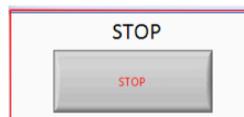


Figura 29: Parte del panel frontal correspondiente al botón de parada del programa

5.2. Protocolo de Interconexión de los Instrumentos (GPIB)

5.2.1. Definición

El GPIB o *General Purpose Instrumentation Bus* es un estándar de bus digital usado principalmente para la interconexión de instrumentos de medición y que éstos sean controlados desde un ordenador. El bus inicialmente fue desarrollado por HP y denominado como HP-IB.

La denominación standard del bus es conocida como IEEE-488.

5.2.2. Funcionamiento

Para efectuar la conexión con los instrumentos es necesaria una tarjeta adaptadora de GPIB ya que no es común que de serie los ordenadores lleven ésta opción. Los instrumentos conectados en el bus pueden efectuar 3 roles distintos dependiendo de la situación:

- **Controlador:** Es la entidad que controla las operaciones del bus. Normalmente es un controlador GPIB gobernado por un ordenador, que se encarga de enviar los comandos para evitar conflictos en el bus.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

- **Oyente:** Es la entidad conectada al bus que recibe y acepta instrucciones de éste. Un instrumento como los del laboratorio se pueden considerar oyentes.
- **Interlocutor:** Es la entidad que emite instrucciones y/o datos en el bus.

En el caso del laboratorio desarrollado principalmente tenemos el controlador usb – GPIB conector al ordenador, el interlocutor en sí que es el ordenador y el generador de funciones y/o el osciloscopio como oyentes.

5.2.3. Programación de la comunicación GPIB mediante LabVIEW

La programación de los instrumentos mediante el bus GPIB por LabVIEW es relativamente sencilla.

Cada instrumento dispone de un paquete de drivers y de bloques de función compatible con LabVIEW con la finalidad que la integración de un instrumento en un programa de control sea lo más sencilla posible.

En el caso de generador de funciones de Tektronix, los propios drivers se pueden encontrar en la página de NI.

Una vez importada la librería siguiendo las instrucciones del fabricante podemos insertar unos bloques de función nuevos que antes no aparecían en el conjunto de funciones de instrument I/O tal y como se puede ver en la siguiente figura.

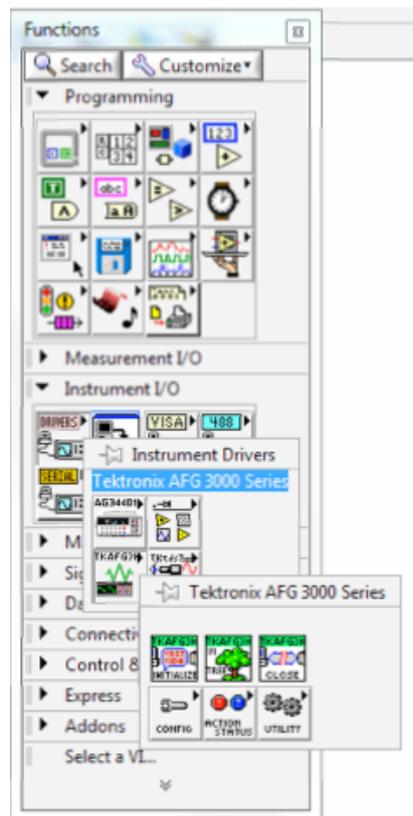


Figura 30: Conjunto de bloques de función compatibles con el generador de funciones Tektroniks AFG 3102

Todas estas funciones y bloques VI aparecen cuando se instala el conjunto de drivers desarrollado por la empresa.

El proceso de comunicación con el instrumento se divide en los siguientes pasos

- **Identificación del instrumento:** El instrumento conectado al adaptador de GPIB debe ser reconocido por el ordenador. Normalmente, el dispositivo es reconocido automáticamente aunque en caso de conectar otro dispositivo GPIB y no ser reconocido éste debe ser definido manualmente en el programa NI MAX mediante un asistente. Una vez reconocido, en todos los bloques de identificación aparecerá el instrumento conectado y con el que deseamos comunicarnos. Este bloque se identifica tal y como se puede ver en la **figura 31** para el sistema de bloques y la **figura 32** en el panel frontal. La identificación del dispositivo GPIB es imprescindible para la comunicación.



Figura 31: Bloque de control para la identificación del dispositivo GPIB.

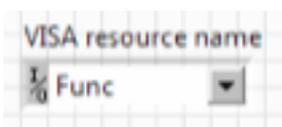


Figura 32: Menú desplegable situado en el panel control para seleccionar el dispositivo GPIB

- **Inicio de comunicación:** Mediante este bloque se le comunica al instrumento que desde ese momento se va a comunicar con él. En caso de no utilizar el bloque de inicialización de la comunicación del dispositivo no aceptaría los paquetes de datos enviados. El bloque correspondiente a la inicialización se puede observar en la **figura 33**. Éste bloque únicamente necesita la identificación de instrumentos para poder funcionar aunque tiene otras opciones como la de reinicio. De éste mismo bloque se sacará una función de error para que en caso de que la comunicación no sea posible el bloque devuelva un error y también la identificación de instrumento que servirá para los siguientes bloques de comunicación con el instrumento.



Figura 33: Bloque correspondiente a la inicialización de la comunicación con el instrumento

- **Modificación de la onda:** Este es el bloque que permite la modificación de los parámetros de la onda, tales como el tipo de onda, amplitud, frecuencia entre otros. Para el correcto funcionamiento de éste bloque hay que definir, al igual que a todos los bloques de control por GPIB, el identificador, que corresponderá a la salida del bloque de inicio de identificación. En este caso, también hay que definir un bloque de control para cada parámetro modificable.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Para evitar saturación en la comunicación del bus únicamente se transmitirán datos cuando se modifique un parámetro en el panel frontal, así pues todo el bloque de modificación de onda se introduce dentro de un *Event Case* ya explicado con anterioridad y, a su vez, todo en un bucle del tipo *While Loop* para que se puedan hacer tantas comunicaciones como queramos hasta cerrar el programa. Todo el bloque de control de onda se puede ver en la **figura 34** En la misma figura también se pueden ver las estructuras de eventos y de bucle.

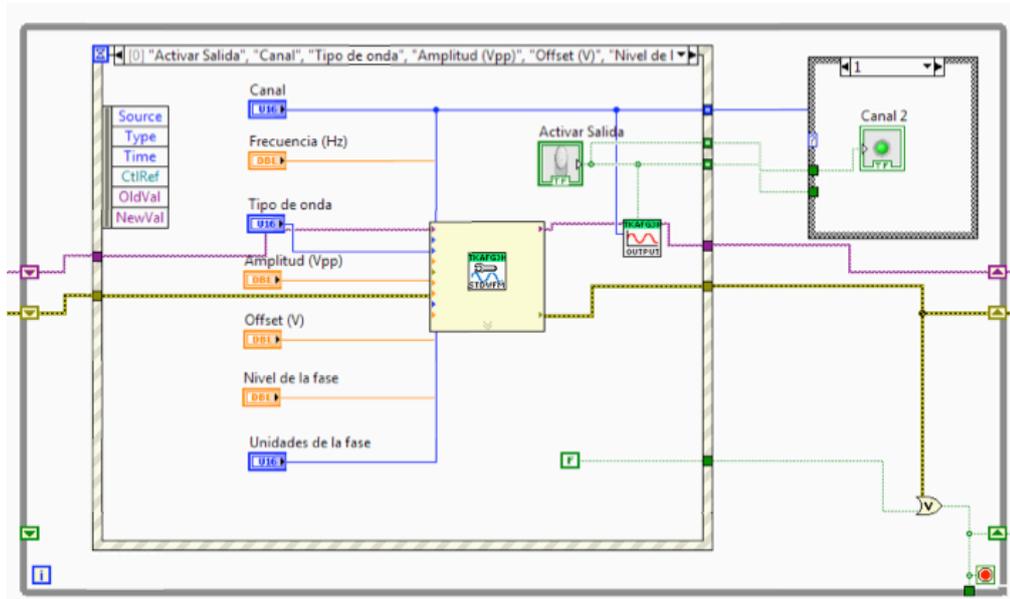


Figura 34: Estructura que permite la modificación vía GPIB de los parámetros de la onda del generador de funciones.

- **Activación de la salida:** Este bloque permite la activación de la salida. Es interesante poder modificar los parámetros de la onda pero sin que se transfieran de forma inmediata al generador de funciones. Así pues, mediante éste bloque controlado por un interruptor, es posible decidir si la salida del generador de funciones está activa con lo que las modificaciones serían instantáneas o por el contrario la salida desactivada. Al ser un bloque de comunicación por LabVIEW también hay que definir la identificación de instrumento GPIB y en este caso también el canal que queremos controlar. El conjunto de control se puede ver en la siguiente figura.

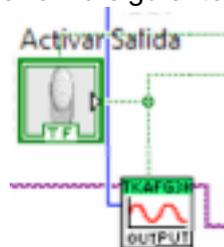


Figura 35: Bloque correspondiente a la comunicación para la habilitación / deshabilitación del canal en el instrumento.

- **Cierre de la comunicación:** Este bloque aunque no es imprescindible es interesante incluirlo en el programa ya que una vez actúe no permitirá comunicaciones con el instrumento a no ser que previamente se le haya vuelto

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

a enviar un mensaje de inicialización. Como todo bloque de comunicación GPIB necesita la identificación de instrumento. El bloque de cierre de comunicación se puede ver en la siguiente figura.

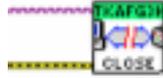


Figura 36: Bloque correspondiente al cierre de comunicaciones con el instrumento.

Con los 4 bloques citados se pueden controlar los parámetros deseados para el funcionamiento del laboratorio virtual.

Aunque no se ha integrado ningún instrumento más, es posible de una forma sencilla y muy parecida a la del generador de funciones la implantación de diferentes dispositivos tales como multímetros u osciloscopios.

5.3. Control del experimento de forma remota.

En base a las características del experimento era muy interesante poder controlar y/o visualizar en tiempo real el estado del experimento. Al ser efectuado en un entorno no controlado como fue el laboratorio de electrónica, el experimento podía verse afectado por diferentes parámetros: Reinicio del ordenador, rotura de alguna soldadura, bloqueo del programa y un gran número de posibles fallos que en caso de no estar personalmente no se podrían solucionar.

Desgraciadamente, National Instruments en la actualidad, no ofrece ninguna herramienta de monitorización a distancia con las características necesarias para éste experimento.

Lo más parecido es lo que NI denomina como *Shared Variables* o variables compartidas. Este tipo de variables consiste en que una vez realizado el programa de LabVIEW algunas variables necesarias se compartan de forma local, en la misma red. Entonces, desde un dispositivo móvil con la aplicación de *Shared Variables* se pueden monitorizar las variables definidas como compartidas. El inconveniente principal es que este control es local y únicamente de las variables predefinidas.

Para disponer de un control total sobre el ordenador que gestiona la simulación la opción más sencilla y potente que se encontró fue la de usar software del tipo VNC. Protegiendo mediante contraseña el acceso al dispositivo y permitiendo un control total, la gestión del ordenador de forma remota era completa.

Dado que la oferta de software del tipo VNC es muy amplia el hecho diferenciador fue encontrar una aplicación gratuita, que permitiese que aunque el ordenador tuviese una IP dinámica la conexión fuera posible y que también existiese la aplicación para dispositivos móviles.

Así pues, la aplicación que cumplía con todos los requerimientos expuestos anteriormente y la elegida para utilizarse en el control del experimento fue la aplicación TeamViewer.

TeamViewer ofrece una versión gratuita para uso no profesional, así como la posibilidad de registrarse y poder acceder a ese ordenador con esas credenciales con lo que mediante el uso de éste software, quedarían salvados la mayoría de interferencias en el experimento y que no tuviesen relación con LabVIEW.

6. Presupuesto de construcción de las PCB

En primera instancia, debido a la dificultad para soldar los componentes SMD se intentó externalizar todo el proceso. El coste de maquinaria para tiradas pequeñas, como la hecha en este proyecto es muy alto, tal y como se puede ver en el presupuesto de la **figura 37** realizado por una empresa dedicada a la producción de placas de forma masiva.

To:		Inquiry Date: <u>April 22, 2016</u>									
Attn: Ivan Haro		Quote Date: <u>April 22, 2016</u>									
Payment: T/T in advance		Quotation #: <u>RML20160402202</u>									
Part No.	PCB Description	PCB				PCBA			TOTAL (USD)	Delivery Time	
		Qty (panel)	Unit Price (USD)	Engineering Charge (USD)	E-test charge (USD)	Component price (USD)	Assembly cost (USD)	Stencil cost (USD)			Shipping cost (USD)
Board 1 Project	FR4 (TG130); 2-Layer; 1.6mm Finished Thickness	1									
	SolderMask: Green										
	Silkscreen: White										
	Finished Copper: 1/1oz										
	Surface treatment:HASL-LF			140		30	260			430.00	7-10Wds
	Min. Line Width: 0.254mm										
	Min. Line Space: 0.246mm										
Min. Hole dia: 0.6mm											
PCB size: 44*48.5mm											
Panel size:											
Board 2 Project	FR4 (TG130); 1-Layer; 1.6mm Finished Thickness	1									
	SolderMask: Green										
	Silkscreen: White										
	Finished Copper: 1/1oz										
	Surface treatment:HASL-LF										
	Min. Line Width: 0.3mm										
	Min. Line Space: 0.195mm										
Min. Hole dia: 1mm											
PCB size: 59.69*58.42mm											
Panel size:											
Note: Pls confirm whether above information is the same with yours. If repeat order more than \$250, won't pay any reset-up charge; if less, will pay half.											
Term: EXW											

Figura 37: Presupuesto de la construcción de ambas placas hecho por empresa externa.

El total, teniendo en cuenta que el pedido se realizaba a una empresa de China dado que los precios locales eran aun más prohibitivos el monto total ascendía a 430\$(400€) + 50€ gastos de envío + 300€ (costes aproximados aduana) = 750€.

Teniendo en cuenta que el proyecto es de aprendizaje el coste ofrecido por todas las empresas se consideró excesivo.

Así pues, una vez consultadas varias empresas, se procedió a realizar el montaje de forma autónoma, incluyendo la soldadura en las PCB. El presupuesto total de los componentes es el mostrado en la **figura 38**.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Concepto	Referencia	Cantidad	Precio/u	Comentarios	Conversion \$/€ (Si aplica)	Precio
Placas						
Placa principal	-	10	\$0,99	Proveedor: SeedStudio	1,084301663	€9,13
Placa adaptadora	-	10	\$0,99	Proveedor: SeedStudio	1,084301663	€9,13
Gastos envío placas	-	1	\$27,79	Procedencia: China	1,084301663	€25,63
Gastos de aduana	-	1	€27,00	-	-	€27,00
Componentes SMT						
Acelerómetros	Analog Instruments ADXL325BCPZ IC	9	€4,96	Proveedor: Farnell14	-	€44,64
Conector cable plano	Molex 52893-1895	5	€1,29	Proveedor: Farnell14	-	€6,45
Condensadores 0,1uF 1206	Würth Elektronik 8850122208087	60	€0,22	Proveedor: Farnell14	-	€13,20
Cable plano	Molex 98266-0193	1	€2,21	Proveedor: Farnell14	-	€2,21
Bloque 18 pins 2,54mm	Würth Elektronik 61301811121	2	€0,75	Proveedor: Farnell14	-	€1,50
Malla de cobre 2,54mm x 1,5m	Servisol 200004370	1	€5,98	Proveedor: Farnell14	-	€5,98
Lapiz de Flux 12ml	Electrolube SMF12P	1	€7,91	Proveedor: Farnell14	-	€7,91
Gastos de envío	-	2	€9,00	Procedencia: Europa	-	€18,00
IVA	-	1	€20,97	-	-	€20,97
Base de vibración						
Base de vibración color negro	-	1	€2,00	Impresora 3D UPC	-	€2,00

Total: €193,75

Figura 38: Presupuesto de la construcción de ambas de forma autónoma

Realizando el proyecto de forma autónoma se ha conseguido un ahorro de 556,25€.

Un factor extra que se consideró para la decisión de hacerlo de forma autónoma fue el hecho de realizar el proyecto completo y el aprendizaje de diferentes técnicas de soldadura, además de la posterior comprobación de continuidad con el multímetro.

Hay que matizar que a nivel de presupuesto, todos los instrumentos (Vibrador, Amplificador, Osciloscopio, Generador de funciones, Multímetro y Ordenador) ya estaban adquiridos y no se han sumado al presupuesto total.

En caso de crear un laboratorio virtual partiendo de cero, el coste aumentaría de una forma muy considerable.

7. Prueba de funcionamiento

7.1. Instrucciones de funcionamiento

Para llevar a cabo un experimento usando nuestro laboratorio virtual es imprescindible seguir el siguiente manual para no efectuar ninguna acción indebida.

7.1.1. Comprobación de la conexión de los dispositivos

Primeramente debemos cerciorarnos que el adaptador USB-GPIB funciona correctamente y detecta nuestro dispositivo. Esto se puede comprobar con el programa instalado Agilent Connection Expert. Para comprobar que el funcionamiento es correcto en la parte de *USB/GPIB (GPIB0)* debe aparecer un *tick* verde tal y como se observa en la figura mostrada a continuación



Figura 39: Adaptador y generador de funciones funcionando sin errores en Agilent

Una vez se ha comprobado el funcionamiento del adaptador y el reconocimiento del generador de funciones es necesario chequear si el software de National Instruments también detecta dicha conexión. Para chequear el funcionamiento es necesario utilizar el programa NI MAX de National Instruments. Mediante este programa es posible saber que el generador de funciones y el módulo de adquisición están conectados y sin ningún problema aparente. En el NI MAX deben aparecer el dispositivo ASRL1::INSTR "COM1" y el dispositivo NI USB-6008 "Dev1" sin ningún tipo de error tal y como se puede ver en la **figura 40**:



Figura 40: Dispositivos sin errores en el programa NI MAX.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

En caso que en el Agilent aparezca el generador de funciones pero en el NI MAX no, será necesario reconocer de forma manual el instrumento mediante el asistente de NI MAX.

7.1.2. Parámetro imprescindible antes de simular

Una vez comprobado que los dispositivos funcionan correctamente hay que introducir los valores deseados para efectuar la simulación. Para ello, hay que situarse en el panel frontal.

En primer lugar hay que introducir el valor de alimentación de los acelerómetros. Éste valor está limitado a un máximo de 3,6V y lo recomendado es de 3V. Éste valor hay que introducirlo en la parte del panel frontal citada anteriormente.

Es muy importante introducir éste valor antes de encender el programa de adquisición, en caso contrario habrá que detenerlo y fijar el valor.

7.1.3. Parámetros modificables durante la simulación

Una vez el programa está en ejecución es posible modificar ciertos aspectos gracias al panel frontal:

- **Almacenamiento de datos:** Es deseable que durante un experimento, y más tan a largo plazo como los de envejecimiento, exista la posibilidad de guardar dichos datos en un archivo de Excel. Para eso, hay que indicar la ruta en el recuadro dispuesto para tal fin y accionar el interruptor. Un led se iluminará en la pantalla para indicar que la función de guardado se está efectuando de forma correcta. El tiempo de guardado se puede modificar usando el indicador de control "Tiempo de guardado", en segundos. Todas las instrucciones se han definido en el panel frontal.
- **Registro de la señal a largo plazo:** Activando el interruptor y comprobando que el led se ilumina y seleccionando el número de acelerómetro mediante un número del 0 al 7 siendo el 0 el identificador del acelerómetro 1 y el 7 el identificador del acelerómetro 8 es posible ver la respuesta de dicho acelerómetro a largo plazo. Es interesante esta opción ya que los otros gráficos únicamente muestran variaciones instantáneas y con una señal a largo plazo se pueden ver alteraciones en la señal en un rango mucho más amplio. Estas opciones de configuración se pueden ver en el panel frontal.
- **Generador de funciones:** Mediante la interacción con todos los bloques de control que aparecen en delimitadas en la zona del generador de funciones se puede modificar la onda transmitida por el generador de funciones de forma inmediata. Dispone de 2 leds para indicar que canal está activo y de todo el abanico de parámetros de configuración.

7.2. Prueba de funcionamiento

7.2.1. Descripción del experimento

Si consideramos que la posición del objeto de vibración sigue el movimiento armónico $x(t) = x_{max} \cdot \sin(\omega t)$ su velocidad viene directamente definida por la

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

derivada de la posición y a su vez la aceleración definida por la derivada de la velocidad.

$$v(t) = x_{max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$a(t) = -x_{max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

Así pues, la máxima aceleración que sufre el objeto de vibración viene definida por la ecuación (2) en su punto máximo siendo $a_{max} = x_{max} \cdot \omega^2 = x_{max} \cdot (2\pi f)^2$.

Los acelerómetros integrados en la placa miden esa aceleración aunque la respuesta que obtenemos en la pantalla viene definida en volts. Entonces, la respuesta que nosotros vemos es realmente la aceleración detectada por la sensibilidad de éste siendo 174mV/g.

Entonces, obtenemos que la amplitud máxima del móvil afectado y por ende, de los acelerómetros es de:

$$X_{max} = \frac{a_{max} \cdot S}{(2\pi f)^2} \quad (3)$$

Siendo S la sensibilidad del sensor y confirmando el descenso de la amplitud de desplazamiento en detrimento de la frecuencia aplicada.

Para obtener aproximadamente unos parámetros los cuales funcionan correctamente y no activan la seguridad del amplificador se ha fijado la ganancia de éste en 1, es decir, el amplificador actúa de mero puente sin afectar la amplitud y siempre con una onda sinusoidal. En esta situación se han efectuado diversas pruebas modificando los parámetros hasta conducir a los acelerómetros al fallo y se ha graficado estos resultados obteniendo el siguiente gráfico:

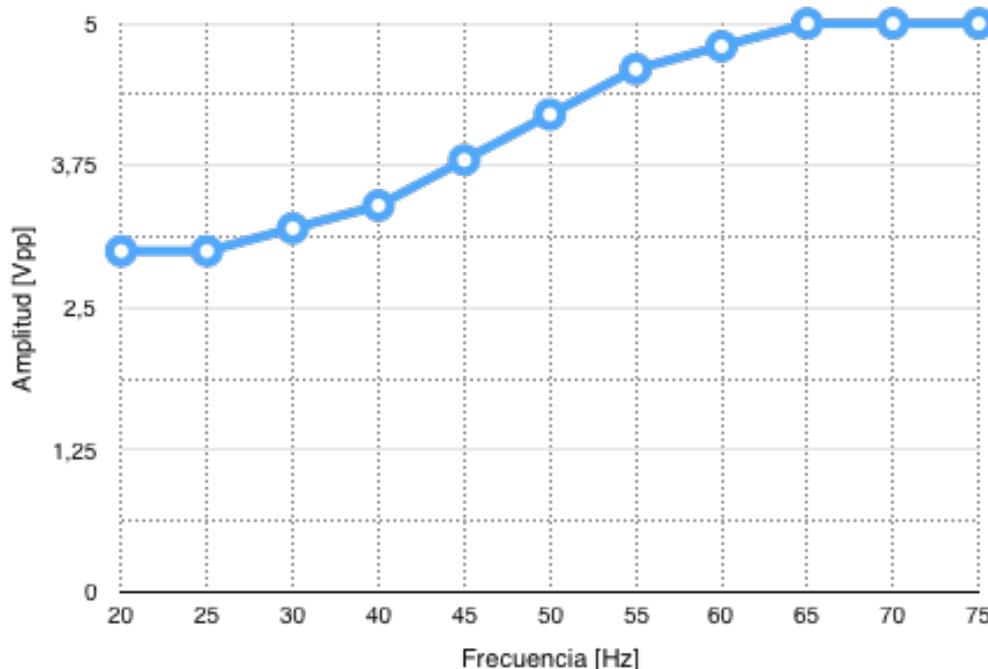


Figura 41: Grafico experimental frecuencia / amplitud máxima

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Se observa que a partir de 60Hz se puede utilizar todo el rango de amplitud que ofrece el generador de funciones (5Vpp).

7.2.2. Validación del laboratorio virtual

Siguiendo las instrucciones definidas primeramente se ha fijado el valor de V_{out} en 3V. Una vez fijado el valor de alimentación y con el generador de funciones encendido se ha ejecutado el programa. Ya que es el primer arranque del amplificador, el seguro esta activado tal y como indica la luz roja identificada como *Signal Clamp* en la figura mostrada a continuación:



Figura 42: Amplificador en estado de seguridad (Primer encendido)

Dado que el amplificado se encuentra bloqueado se pueden modificar los parámetros del generador de funciones sin ningún tipo de problema ni riesgo. En este test se han utilizado todas las funciones que ofrece el laboratorio tales como el registro a largo plazo o el guardado en archivo Microsoft Excel. Se ha definido un test con una frecuencia de 60Hz, amplitud de 1Vpp y el tipo de onda sinusoidal. Gracias al bus GPIB los parámetros introducidos en el panel frontal se modifican de inmediato en el generador de funciones:

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW



Figura 43: Generador de funciones con los valores introducidos en el panel frontal.

Una vez se ha configurado el tipo de onda, se puede activar la salida del generador de funciones y una vez hecho se iluminará un led de indicación. En esta situación, únicamente falta activar el botón de reseteo del amplificador para que el vibrador empiece a funcionar. Es importante mantener la rueda de *Mass Gain* del amplificado alrededor del 1, pero para probar la funcionalidad por ejemplo de registro a largo plazo se ha interactuado con ella. El funcionamiento del laboratorio se puede comprobar en la siguiente figura:

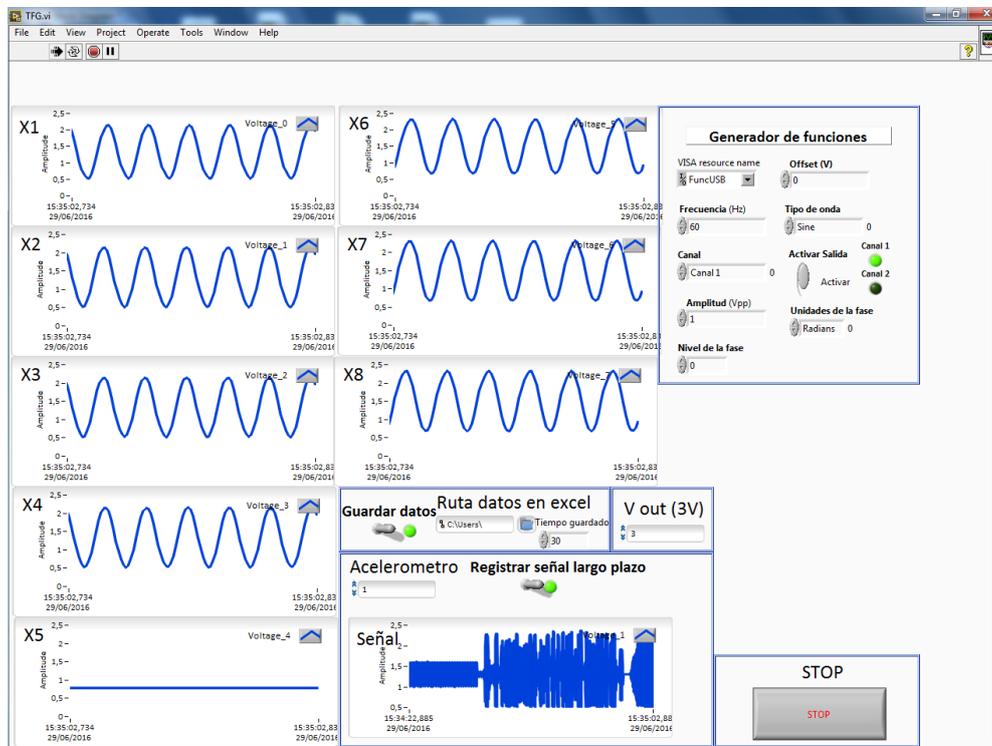


Figura 44: Panel frontal del laboratorio virtual con el vibrador funcionando a 60Hz

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

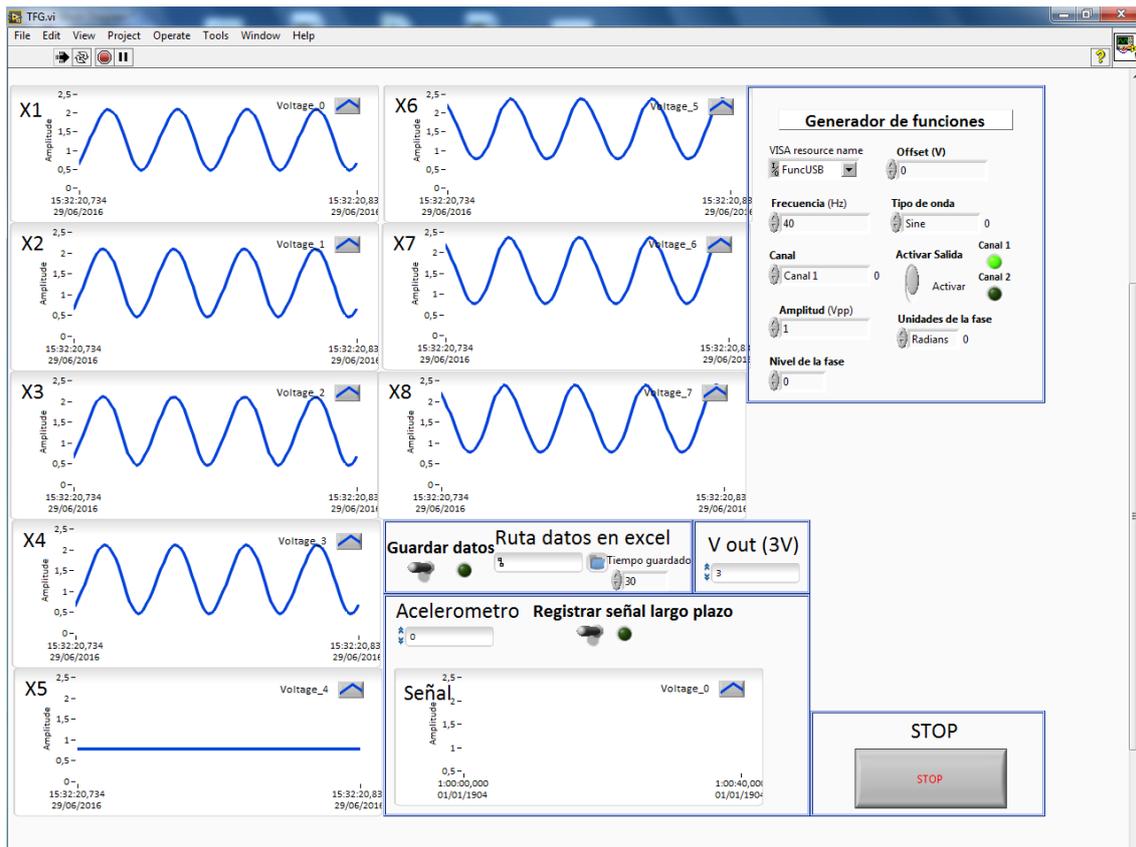


Figura 46: Panel frontal del laboratorio virtual con el vibrador funcionando a 40Hz.

Cabe destacar que el acelerómetro número 5 no sufre ningún tipo de variación. Es posible que sea debido a un error en la placa de conexiones o que el acelerómetro no se ha soldado correctamente o existe un corto circuito aunque la hipótesis de corto circuito se desestimó en primera instancia realizando una comprobación de continuidad con el multímetro.

7.2.3. Errores de funcionamiento

Es posible que aun siguiendo los pasos establecidos el programa no funcione correctamente. El programa se ha testado en reiteradas ocasiones delimitando así un error que puede aparecer aun siguiendo los pasos establecidos anteriormente. Este error se corresponde con el mostrado en la **figura 47**.

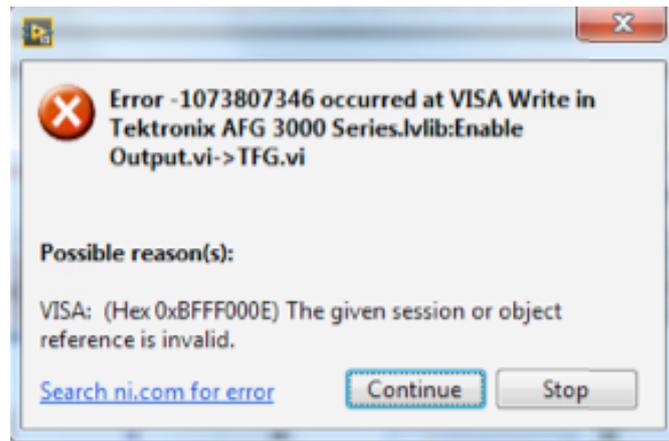


Figura 47: Error de comunicación con el generador de funciones.

Este error aparece si se intenta una comunicación con el generador de funciones y éste no está conectado. Sin embargo, es posible que pueda aparecer cuando se satura la comunicación GPIB efectuando cambios reiterados en un lapso de tiempo muy corto véase el modificar la frecuencia arriba abajo continuamente. No es común que éste error aparezca pero dado que existe la posibilidad es imprescindible saber que protocolo de actuación hay que seguir en caso de que suceda.

La solución a este error no es más que apagar y encender el generador de funciones. Una vez reiniciado el programa operará de forma correcta.

Al margen de este error, y si se han seguido los pasos establecidos en las instrucciones de funcionamiento no es posible que aparezcan errores diferentes al citado ya que definiendo un protocolo de encendido se subsanan posibles descuidos como la falta de conexión del módulo de adquisición, falta de encendido del generador de funciones o errores en el módulo GPIB.

8. Conclusiones

Una vez finalizado el proyecto se puede asegurar que se ha desarrollado un laboratorio virtual para el estudio de envejecimiento de acelerómetros basado en LabVIEW.

En primera instancia, se ha conseguido tener control remoto de los instrumentos vía el bus GPIB.

También, se ha implementado control remoto de todo el ordenador vía un cliente de VNC.

Gracias a las pruebas de funcionamiento se ha comprobado el éxito en la soldadura de los componentes, tanto manualmente como usando el horno y el éxito del programa de adquisición, funcionando tal y como se diseñó.

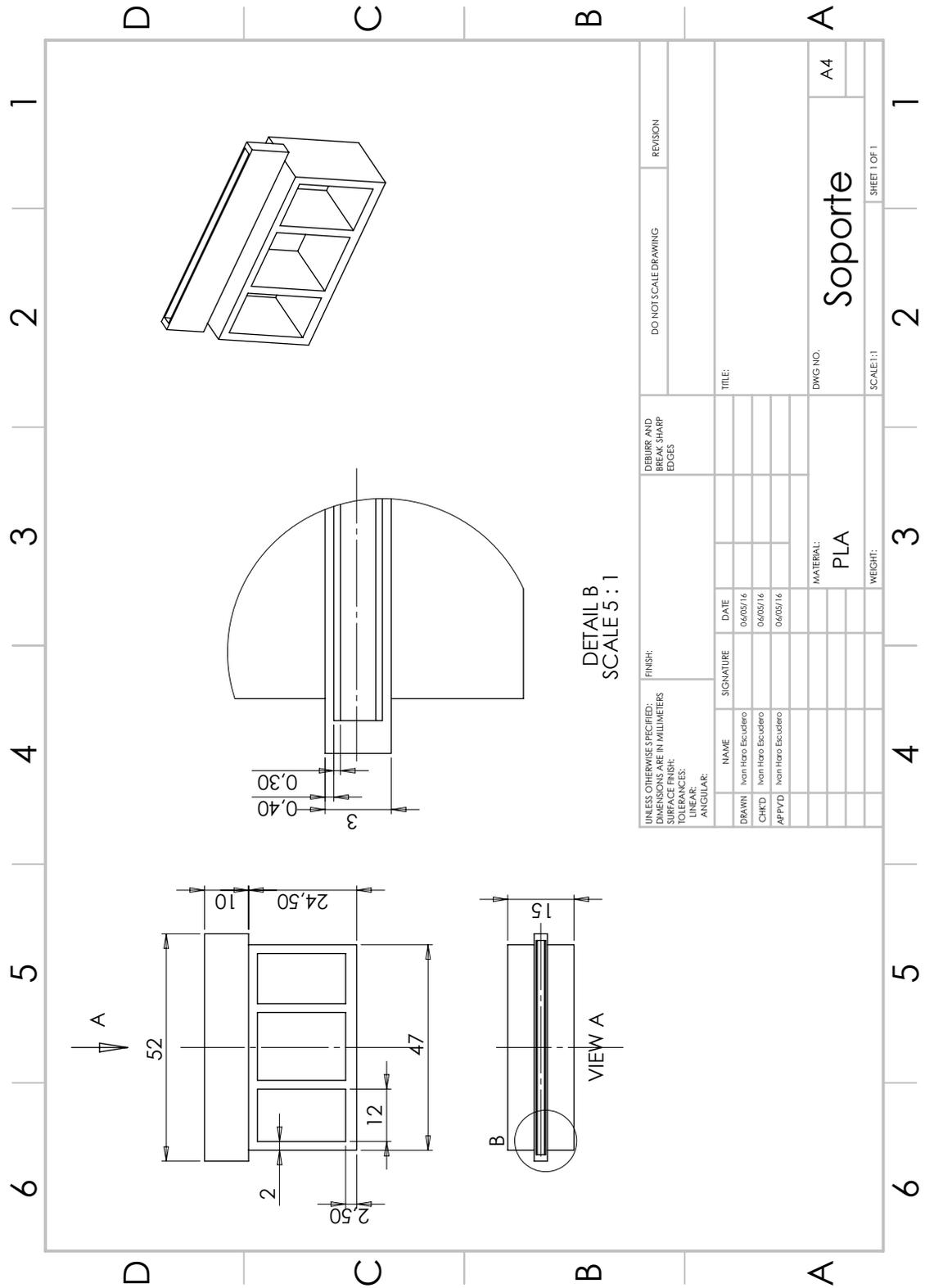
El presupuesto de construcción de las PCB se ha optimizado respecto al ofrecido por fabricantes industriales de tecnología SMD.

Con lo dispuesto anteriormente podemos concluir que el laboratorio desarrollado está preparado para realizar estudios de envejecimiento en acelerómetros, cumpliendo así el objetivo principal del proyecto

9. Bibliografía / Referencias

- [1] Definición de acelerómetro según la RAE. <http://dle.rae.es/?id=0Mf7qEW>
- [2] Datasheet del acelerómetro ADXL325 de Analog Instruments <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL325.pdf>
- [3] Installation and operating manual. V200 Series Vibrators. Manual 892071. Edition 2. Amendment 12
- [4] Manual del modulo de adquisición NI USB 6008 <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>
- [5] Datasheet del horno para soldadura SMT <https://www.elektor.com/Uploads/2008/11/Reflow-oven-manual-UK.pdf>
- [6] Installation and operating manual. PA25-CE Amplifier. Manual 936211. Amendment 4.
- [7] Soporte en el foro de National Instruments
- [8] Manual para principiantes en LabVIEW (Videografía de National Instruments en la plataforma de vídeos YouTube)

Anexo 1: Plano del soporte de vibración



Anexo 2: Bloques utilizados en el programa de adquisición

La cantidad de bloques disponibles en LabVIEW es muy extensa. En éste caso, dado que el programa está enfocada a la adquisición el propio LabVIEW ofrece soluciones ya programadas aunque ha sido necesario el uso de bloques y estructuras comunes tal y como se explica a continuación.

Bloque de adquisición

La adquisición de las señales en LabVIEW se realiza mediante un bloque de adquisición como el siguiente:

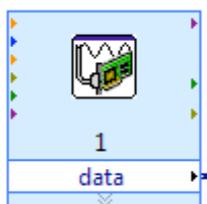


Figura 1: Bloque de correspondiente a DAQ Assistant o asistente de adquisición

El asistente de adquisición permite la gestión de tanto entradas como salidas analógicas y digitales. El asistente permite elegir con que opción se va a trabajar y si se van a adquirir o generar señales.

Seleccionada el tipo de señal, en éste caso una entrada analógica de voltaje, aparece el número de dispositivos compatibles con esas características, tal y como podemos ver en la **figura 2**.

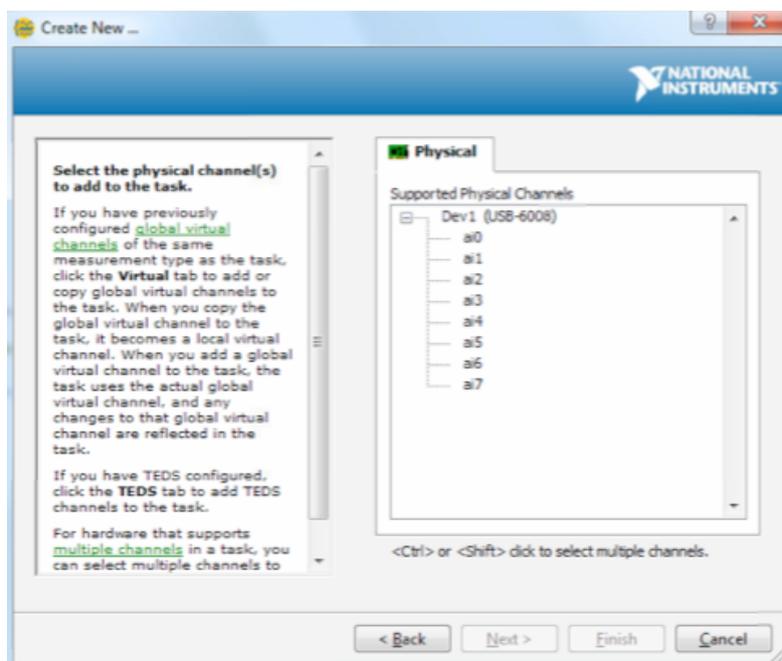


Figura 2: Señales de adquisición disponibles para los dispositivos instalados.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

LabVIEW solo permite una única sesión de adquisición en un mismo sentido, es decir, únicamente se pueden registrar señales con un bloque de entradas y únicamente se pueden fijar salidas con un único bloque. Por este motivo, en la **figura 3** se puede ver que en el mismo bloque de adquisición se han incluido todas las entradas que permite el módulo.

Para que la captación de las señales sea la correcta para un posterior análisis y graficado, ha sido necesario configurar correctamente los parámetros del asistente, tal y como se puede comprobar en la **tabla 1**.

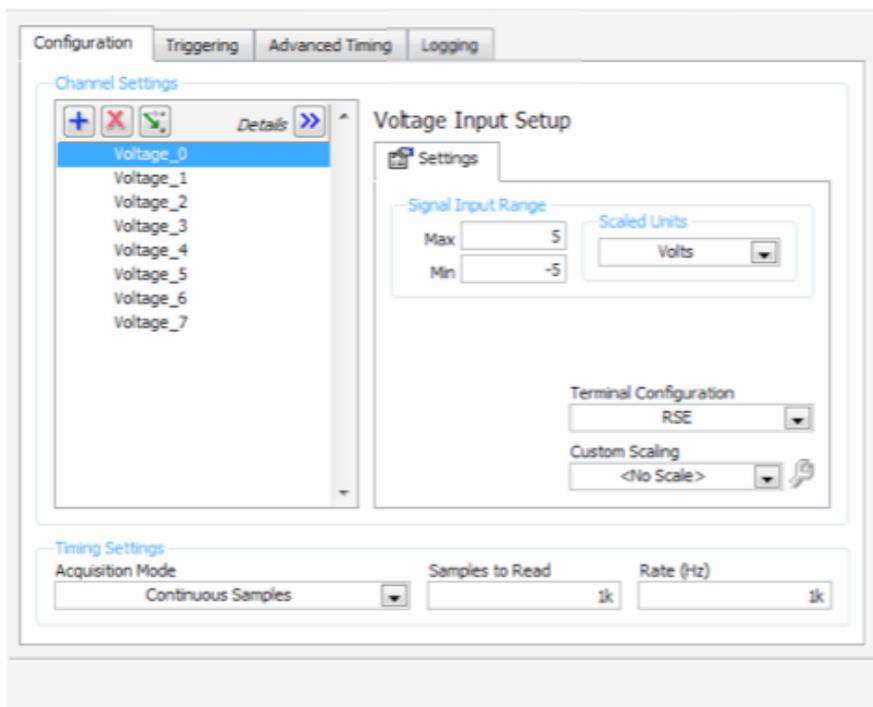


Figura 3: Todas las señales en un mismo bloque de adquisición

Configuración	Modo	Valor
Terminal Configuration (configuración del terminal)	RSE	
Acquisiton Mode (modo de adquisición)	Continuous Samples	
Samples to read (número de muestras)		1000 (1k)
Rate (frecuencia)		1000 (1k)
Signal input range (rango de la entrada)		Max: 5V Min: -5V

Tabla 1: Valores fijados para la adquisición de señales

Bloque de generación de señales

De la misma forma que el asistente del módulo de adquisición permite el registro de señales de entradas, también permite la configuración de las señales de salida. Accionando de la misma forma el asistente de adquisición en éste caso hay que seleccionar la opción de generar señales de tipo analógico, concretamente voltaje.

Posteriormente, se debe indicar que salida queremos que porte esa señal tal y como vemos en la **figura 4**.

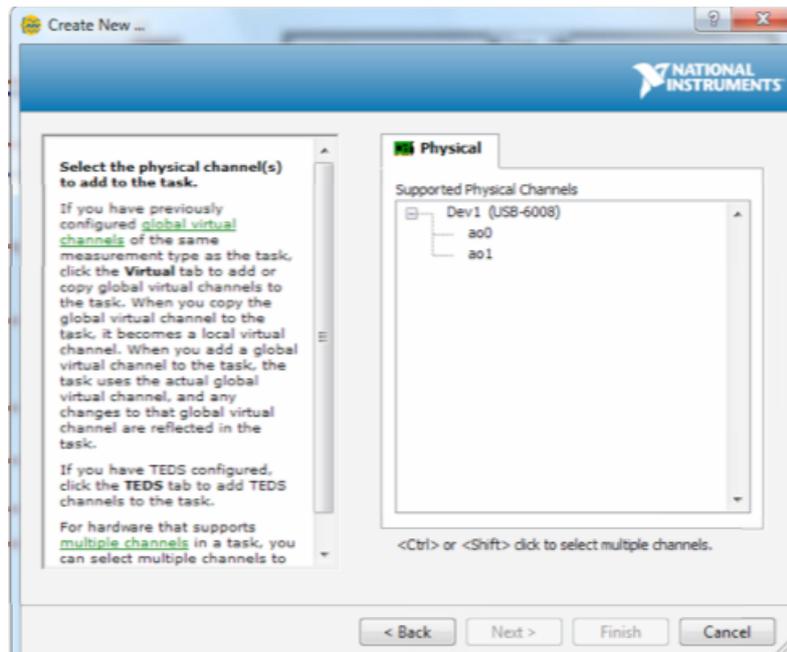


Figura 4: Generación de señales de salida mediante el asistente

Este bloque es necesario para definir el voltaje de alimentación de la placa de los acelerómetros.

Del mismo modo que con la adquisición de señales, en la generación también hay que definir los parámetros de la señal de salida que aparecen la **figura 5**.

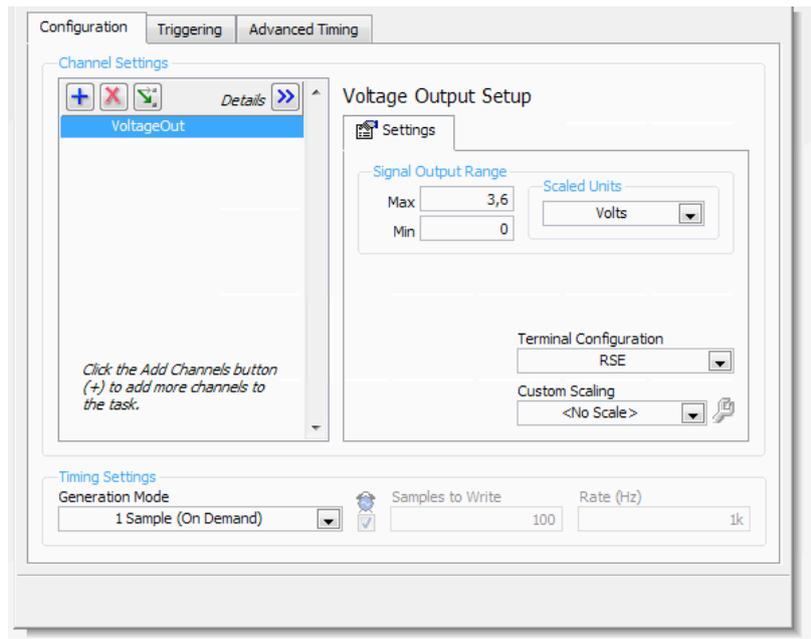


Figura 5: Ventana de configuración de la señal de salida.

Los valores necesarios para el correcto funcionamiento

Configuración	Modo	Valor
Terminal Configuration (configuración del terminal)	RSE	
Generation Mode (modo de generación)	1 Sample (On Demand)	
Signal output range (rango de la salida)		Max: 3,6V Min: 0V

Tabla 2: Valores fijados para la generación de señales.

Bloques de registro y guardado de las señales

Con el objetivo de realizar un estudio con un gran número de valores en un amplio rango de tiempo es necesario guardar estos datos en un documento.

Para realizar tal acción, LabVIEW cuenta con el bloque *Measurement to File* que tiene la siguiente forma:

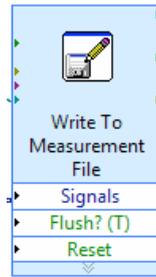


Figura 6: Bloque de correspondiente a Measurement to File

Efectuando doble clic en el bloque mostrado anteriormente aparece la ventana de configuración mostrada en la **figura 7**.

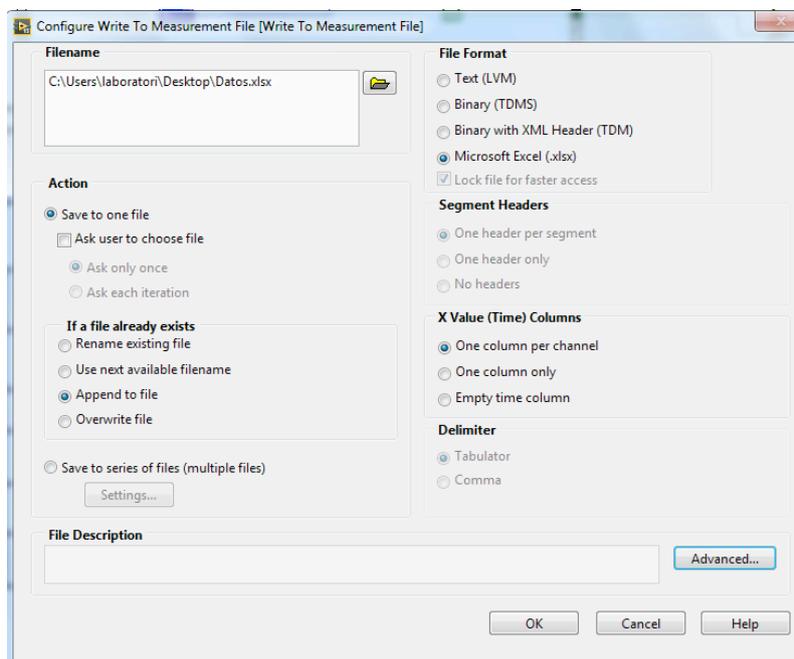


Figura 7: Configuración del bloque Measurement to file

Se ha definido que el tipo de archivo a guardar sea del tipo .xlsx , formato del programa de hoja de cálculo Microsoft Excel, y que si el nombre del archivo ya existe, añada los datos realizados en cada iteración en la parte final y no sobrescriba los anteriores activando la opción “Append to file”.

Para poder indicar la ruta de guardado mediante el panel frontal se ha usado un bloque de control de *filepath* o ruta de archivo.

Bloque de representación de las señales registradas

Dado que uno de los objetivos de un laboratorio virtual es disponer de la capacidad de visualizar a tiempo real las señales de una forma intuitiva y sencilla.

Como se ha comentado anteriormente, por limitaciones de LabVIEW y del propio módulo, solo se puede realizar una adquisición por diferentes canales.

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Para poder representar cada señal por separado se ha utilizado el bloque denominado *Convert from dynamic data* o convertir desde datos dinámicos tiene la forma mostrada a continuación:



Figura 8: Representación del bloque correspondiente a *Convert from dynamic data*

Mediante éste bloque y un indicador para seleccionar el canal de adquisición se filtran los datos que únicamente provienen de ese canal para poder graficarlos por separado a continuación.

La configuración de éste bloque debe ser en *Single Waveform* o única señal y en el parámetro *Chanel* o canal, seleccionar el acelerómetro deseado entre un rango del 0 al 7. Los parámetros se pueden comprobar en la **figura 9** mostrada a continuación:

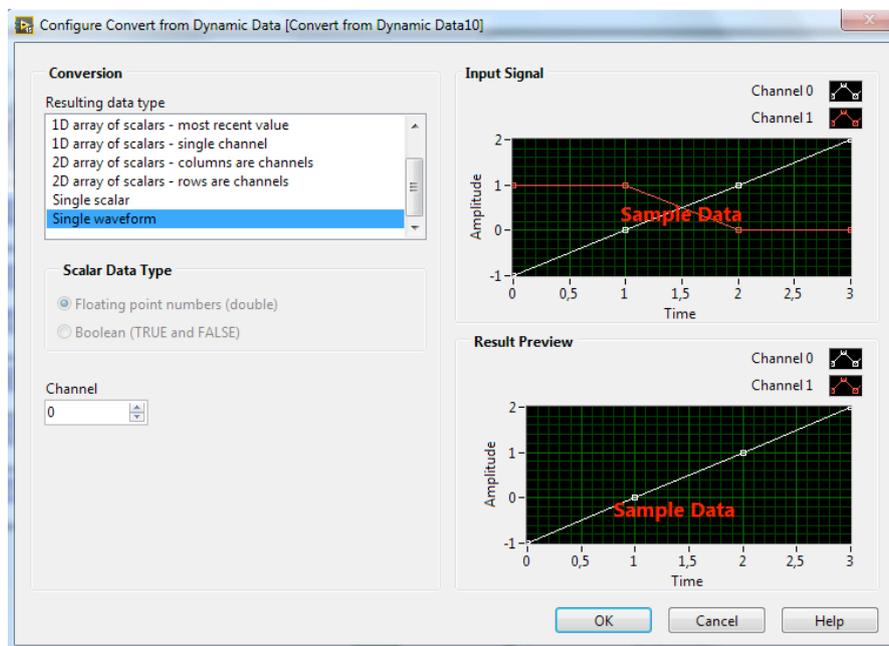


Figura 9: Configuración del bloque *Convert from dynamic data*

Una vez filtradas las señales mediante 8 bloques de *Convert from dynamic data* se procede a representar cada una de las señales mediante un bloque *Waveform* o forma de señal. Cada *Waveform* tiene asociada una representación gráfica en el panel frontal de LabVIEW.

Bloques booleanos

El uso de los bloques booleanos en LabVIEW es imprescindible. Suelen venir representados en color verde. El uso principal es el control de otros bloques mediante normalmente mediante la interacción des del panel frontal. Un bloque booleano únicamente puede otorgar dos tipos de respuesta: *True* o verdadero y *False* o falso. Éstos bloques de control pueden venir representados de diferentes formas, pero normalmente son interruptores o pulsadores como se puede ver en la **figura 10**.

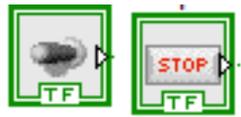


Figura 10: Bloques correspondientes a booleanos de tipo control

También existen bloques booleanos que únicamente sirven de representación, tales como leds o únicamente valores representados en la **figura 11**.

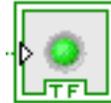


Figura 11: Bloque correspondientes a booleano de tipo indicador (led)

Finalmente, los bloques de tipo booleano se pueden representar mediante constantes, únicamente modificables por el programador y no por ninguna interacción con el panel frontal. Estos bloques tienen la forma representada la **figura 12**.



Figura 12: Bloque correspondientes a booleano de tipo constante (T: True F:False)

Bloques de control (numéricos)

Muchos de los bloques citados anteriormente, tales como el *DAQ Assistant* tanto para entradas como para salidas son sensibles de ir controlados por otros bloques , tanto booleanos como numéricos.

Los bloques de control numéricos sirven para definir un valor de tipo numérico que otro bloque utilizará. El caso más claro es el control de la señal de salida de voltaje.

Si el bloque de control numérico es de tipo control se puede interactuar con él en el panel frontal y vienen definidos tal y como se puede ver en la **figura 13**.



Figura 13: Bloque correspondiente a un control numérico de tipo control

En caso que el bloque de control numérico sea de tipo constante la única forma de modificarlos, al igual que en los bloques booleanos, es fuera de la ejecución del programa y vienen representados en la **figura 14**.



Figura 14: Bloque correspondiente a un control numérico de tipo constante

Estructuras condicionales

En función de las necesidades del experimento, es interesante poder controlar ciertas acciones del programa de adquisición. Para llevar a cabo tal opción se ha usado el *Case Structure* o estructura de casos representada en la figura **figura 15**.

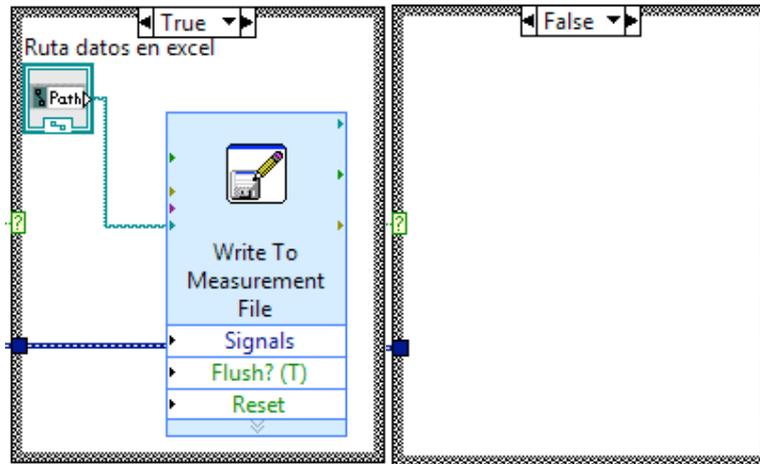


Figura 15: Estructura correspondiente a una Case Structure

El funcionamiento de las estructuras de casos en LabVIEW consiste en que el bloque dispone de dos situaciones: *True* o verdadero y *False* o falso. Para realizar tal configuración hay que insertar dentro de la estructura de caso aquello que es requerido que se ejecute según si el control indica un verdadero o un falso.

El control de la estructura puede ser comandado por una variable de otros bloques o por un bloque booleano, tal y como ha sido en la configuración del laboratorio.

La forma de control es unir el bloque booleano con el bloque condicional. Una vez unidos, cualquier modificación del booleano de control afectará en la ejecución del programa.

Estructuras de eventos

Las estructuras de eventos consisten en que todo aquello que esté dentro de la estructura se ejecutará cuando ocurra un evento definido. El aspecto de estas estructuras es muy similar a las otras estructuras, tal y como se puede observar en la **figura 16**.

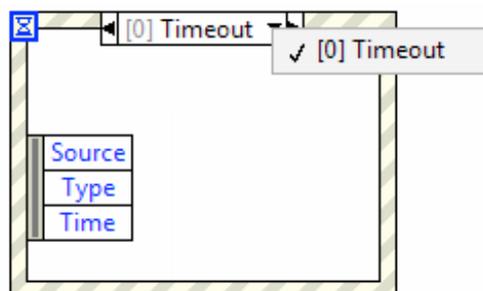


Figura 16: Estructura correspondiente a una Event Structure

Diseño e implementación de un laboratorio para el estudio del envejecimiento en acelerómetros basado en LabVIEW

Este tipo de estructura es muy interesante para el planteamiento del control de los instrumentos por GPIB. En el momento en que se modifique un parámetro y solo en ese momento se ejecutará el conjunto.

La configuración de este tipo de estructura se efectúa en la figura mostrada a continuación:

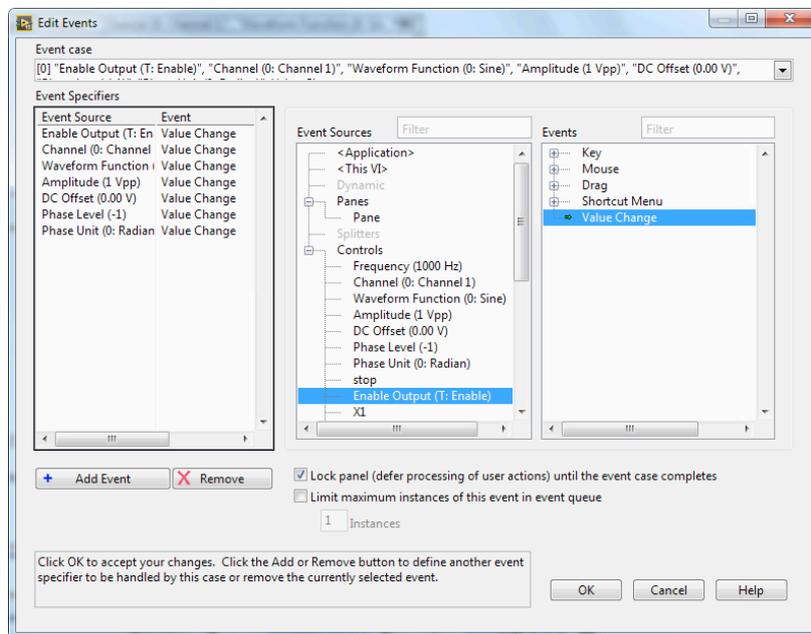


Figura 17: Configuración de la estructura Event Structure o estructura de eventos

Cada bloque de control que esté dentro de la estructura de eventos puede padecer una alteración desde el panel frontal como por ejemplo un cambio de valor. Así pues, en la configuración de la estructura se define ante qué tipo de evento sufrido por el bloque de control se tiene que ejecutar la estructura.

Estructuras de bucle

Una vez finalizado a grandes rasgos el programa, es necesario forzar que todo el programa se repita indefinidamente hasta la llegada de una condición o la interacción con un botón de parada.

Estas acciones se realizan mediante las estructuras de bucle *For* y *While*. En el caso de nuestro programa se ha utilizado una estructura de tipo *While* que tiene el aspecto que podemos en la **figura 18**.

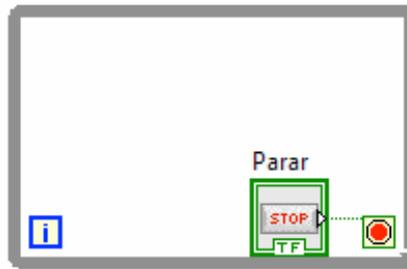


Figura 18: Estructura correspondiente a un bucle de tipo *While*

La estructura de tipo *While* se repite de forma indefinida hasta la modificación de la condición de control, normalmente un botón de parada.