



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y MONITORIZACIÓN, MEDIANTE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL, PARA LA MEDIDA DE DISTANCIA BASADO EN EL LVDT

AUTOR: ANTONIO REYES PASCOTTO JIMÉNEZ

TUTOR: JOSÉ LUÍS MARTÍNEZ DE JUAN

COTUTOR:

Curso Académico: 2013-14

Índice

Documento nº1, memoria:

1. Objetivos del trabajo	3
2. Introducción al problema	4
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. Procesamiento digital	5
2.1.2. Instrumentación virtual	5
2.1.3. Evolución de LabVIEW	6
2.2. Ámbito de aplicación	8
2.3. Justificación	11
2.4. Especificaciones	13
2.5. Introducción al entorno de programación LabVIEW	14
3. Estructura y desarrollo	19
3.1. Subsistema 1: captación, procesado y visualización de señal de sensor LVDT para la medida de distancia	20
3.1.1. Tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014	21
3.1.2. Multiplexado y amplificación de la señal	25
3.1.3. Conversión analógico a digital	26
3.1.4. Configuración y prueba de software y hardware	28
3.1.5. Adquisición de datos en LabVIEW	30
3.1.6. Ensayos previos al desarrollo del sistema	34
3.1.6.1. Delimitación de rangos	34
3.1.6.2. Modo de adquisición	37
3.1.6.3. Estructura del proceso de control	40
3.1.7. Filtrado de la señal	40
3.1.8. Representación de la señal de entrada	41
3.2. Subsistema 2: análisis, almacenamiento de datos y control de procesos	44

3.2.1. Análisis y monitorización de indicadores básicos	45
3.2.2. Otras funciones en LabVIEW	49
3.2.2.1. Control de procesos	49
3.2.2.2. Almacenaje y recuperación de datos	51
3.3. Instrumento virtual final	56
4. Normativa y requerimientos	58
5. Resultados y ensayos	59
5.1. Resultados	59
5.1.1. Instrumento Virtual solución	60
5.2. Ensayos	63
6. Conclusiones	68
6.1. Desarrollos futuros	69
7. Bibliografía y referencias	71
8. Anexos	73
8.1. Anexo 1: Cálculo y diseño del potenciómetro	73
8.2. Anexo 2: Manual de usuario	75
8.3. Anexo 3: Hojas de Especificaciones	77

Documento nº2, presupuesto:

1. Precios descompuestos	78
2. Presupuesto general	79

Documento nº 1, memoria:

1. Objetivo del trabajo

El objetivo del trabajo es diseñar y desarrollar todos los subsistemas necesarios para capturar y visualizar las señales provenientes de un circuito de acondicionamiento para la medida de distancia basado en el LVDT.

Este sistema basado en LVDT está diseñado para la medida de distancia entre -25mm y +25mm; y debe proporcionar una señal continua a la salida variable con la distancia entorno al núcleo aunque se debe contemplar variaciones dinámicas de 4Hz. Además se trata de un circuito que proporciona 0V a una distancia de 0mm y que tiene una sensibilidad de 250 mV/mm.

Con estas condiciones debe adquirirse una señal continua con corte superior de frecuencia de 4 Hz, es decir, se podrá utilizar una tarjeta multifunción de adquisición de datos en un PC, en nuestro caso la tarjeta NI PCI-6014 de la empresa National Instruments.

Una vez adquirida esta señal, se presentará con el fin de traducir la medida de distancia mediante un entorno virtual de instrumentación y se analizará para dar algunos indicadores básicos en el entorno industrial tales como la velocidad o la aceleración. Tanto la presentación como el posterior análisis se realizarán con el sistema de programación gráfico LabVIEW, también desarrollado por la empresa National Instruments.

A parte de la captación de la señal y su visualización, se ampliarán los objetivos iniciales añadiendo otras funcionalidades a este sistema; se buscará que el usuario sea capaz de guardar los datos que ha adquirido en archivos con extensión conocida ajena a LabVIEW, y además, que sea capaz de realizar sistemas dedicados al control procesos, proporcionando así una gran versatilidad en el mundo de la ingeniería de control y la industria.

2. Introducción al problema

Los procesos en los que se apoyan la tecnología y la ciencia están basados en variables físicas y químicas, las cuales pueden medirse mediante equipos tecnológicos denominados instrumentos que tienen como finalidad determinar la magnitud de una variable, visualizarla, generarla o convertirla.

El instrumento electrónico, es aquel instrumento basado en principios eléctricos o electrónicos para efectuar su medición; Puede ser un aparato relativamente sencillo y de construcción simple, sin embargo, el desarrollo de la tecnología, demanda la elaboración de mejores instrumentos y más exactos. (Helfrick y Cooper, 1991)

Con el desarrollo de estos instrumentos electrónicos y el avance en la microelectrónica se ha permitido convertir las señales de variables físicas (distancia, temperatura, velocidad, presión...) en señales eléctricas para posteriormente ser procesadas.

Para convertir la señal del tipo que sea en eléctrica se utilizan los transductores y posteriormente se acondiciona esta señal, mediante amplificadores, filtros..., para que su adquisición por parte de la tarjeta de adquisición de datos sea viable. Una vez adquirida, esta señal está a disposición en el PC para su visualización, análisis...

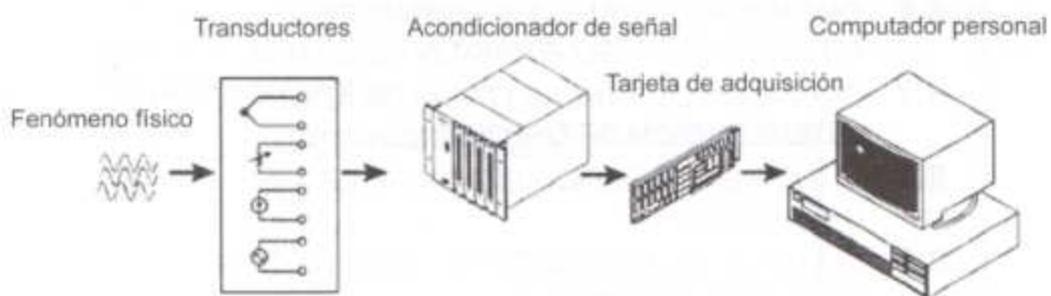


Figura 2.1: Pasos del proceso de adquisición de señal

2.1. Antecedentes

2.1.1. Procesamiento digital

A medida que avanzan los años los sistemas de comunicación van convirtiéndose cada vez más en sistemas móviles y multifunción, por lo que el procesamiento de las señales y su conversión a digital para su análisis se va convirtiendo en algo cada vez más importante.

Hasta el final de la década de los cuarenta las señales se trataban mediante circuitos electrónicos o con dispositivos mecánicos puesto que los computadores digitales eran caros y de escasa capacidad lo que propiciaba que el procesado no pudiera realizarse en tiempo real. Pero en 1965 se consiguió reducir en varios órdenes de magnitud el tiempo de cómputo por medio de un algoritmo eficiente para el cálculo de las transformadas de Fourier que aceleró el uso del computador digital.

Otro avance que cabe destacar en lo que al procesamiento de señales se refiere es el uso de la microelectrónica. Los primeros microprocesadores eran demasiado lentos para implementar en tiempo real, pero a mitad de la década de los ochenta había avanzado la tecnología de los circuitos integrados llegándose a la realización de microcomputadores en coma fija y coma flotante con estructuras diseñadas específicamente para realizar algoritmos de procesamiento de señales en tiempo discreto, conocidos como DSP (Digital Signal Processor).

En lo que a las tarjetas de adquisición de datos se refiere, éstas no empezaron a producirse hasta 1981 cuando IBM lanzó la computadora personal y los sistemas de datos científicos. Con anterioridad habían sido creados por esta misma compañía unos ordenadores diseñados especialmente para la adquisición de datos, pero estos eran de un elevado tamaño y coste. (Proakis, 2007)

2.1.2. Instrumentación virtual

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal, como forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real. La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para

ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas.

Los inicios de la instrumentación controlable desde el ordenador, y de hecho de los sistemas de instrumentación, se sitúan a mediados de los años 60 cuando Hewlett Packard, desarrolló su bus para instrumentación HP-IB (Hewlett Packard Interface Bus) que permitía conectar su gama de instrumentos programables a un ordenador.

Desde aquellos días hasta ahora el estándar ha sufrido varias modificaciones y el bus GPIB (acrónimo de General Purpose Interface Bus, por el que se le conoce habitualmente) se ha convertido en uno de los más populares en el campo de la instrumentación programable. La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments, los cuales crearon un software que le permitía a la computadora realizar sistemas complejos de instrumentación. (Hernández, 1996)

2.1.3. Evolución de LabVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), de National Instruments, es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de diferentes aplicaciones como son el análisis o la adquisición de datos o el control de instrumentos.

El programa fue creado por National Instruments en 1976 siendo únicamente posible su uso sobre MAC ya que no fue hasta 1986 cuando salió al mercado la versión para funcionar sobre máquinas PC, pues hasta entonces era una versión similar denominada LabWindows.(Lázaro y del Río Fernández, 2004)

Aquí se muestra un historial de las principales versiones del programa con los avances o mejoras que cada una de ellas aportaba a la anterior:

- 1976 : LabVIEW 1.0, primera versión del programa
- 1976 : LabVIEW 1.1, primera versión en Mac OS
- 1990 : LabVIEW 2.0, máximo aprovechamiento de los resultados
- 1992 : LabVIEW 2.5, primera versión en Windows 3.1 y Solaris
- 1993 : LabVIEW 3.0
- 1994 : LabVIEW 3.0.1, primera versión en Windows NT
- 1994 : LabVIEW 3.1

- 1995 : LabVIEW 3.1.1, integración del Application Builder (creación de archivos ejecutables)
- 1996 : LabVIEW 4.0
- 1997 : LabVIEW 4.1
- 1998 : LabVIEW 5.0, multitarea, contenedores ActiveX, asistente para la adquisición de datos (tarjetas de adquisición DAQ) y asistente para el control de instrumentos
- 1999 : LabVIEW 5.1, primera versión para Linux, primera versión de LabVIEW RT (Real Time)
- 2000 : LabVIEW 6.0, controles gráficos en 3D, referencias de controles
- 2001 : LabVIEW 6.1, mejoramiento y correcciones, primera versión en Palm OS
- 2003 : LabVIEW 7.0, VI Express, primera versión en Windows

Mobile 2003

- 2004 : LabVIEW 7.1, traducción en francés, alemán y japonés
- 2005 : LabVIEW 8.0, Project Explorer, XControls, shared variables
- 2005 : LabVIEW 8.1, mejoramiento y correcciones
- 2006 : LabVIEW 8.2, Programación orientada a objetos
- 2007 : LabVIEW 8.5, primera versión del toolkit FPGA y del toolkit

Statechart

- 2008 : LabVIEW 8.6, limpieza automática de los diagramas
- 2009 : LabVIEW 2009, MathScript RT, LabVIEW de 64 Bits, Limpieza Parcial de Diagrama de Bloques, Fácil Acceso a Archivos desde Microsoft Excel, Nuevos Controles de Visualización de Datos en 2D y 3D, Métricas de Complejidad de Código, Referencias de Datos, Acceso más Rápido a Archivos TDMS, Crear Montajes .NET, Herramientas de Réplica de Sistemas y VIs PDE (ecuación diferencial parcial).

- 2010: LabVIEW 2010, - Combinación de instrucciones. - Salto de hilos. - Reemplazo escalar de conjuntos. - Propagación condicional. - Eliminación del "Tail Call". - Re-asociación de expresiones. - Movimiento de la curva de código invariable. - Curva inmutable e índice de separación. - Simplificación de variables de inducción. - Curva de desarrollo. - Eliminación de código muerto. - Propagación de constantes condicionales dispersas

- 2013: LabVIEW 2013, uso simultáneo para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento, todo ello con código abierto.

2.2. **Ámbito de aplicación**

Son muchas las aplicaciones donde se hace indispensable el tratamiento de señales que proporcionen información sobre fenómenos físicos. Éste debe realizarse, en general, sobre grandes cantidades de información y con una elevada velocidad de procesamiento lo que requiere el uso de computadores. Es en este punto donde entran en juego las tarjetas de adquisición de datos que proporcionan al computador personal la capacidad de adquirir y procesar estas señales ya sean analógicas o digitales.

En lo que a este proyecto respecta, se trata de la adquisición de la señal de salida de un sensor LVDT para su posterior monitorización, algo que se realizará mediante la instrumentación virtual, además de una tarjeta de adquisición de datos.

El Transformador Diferencial de Variación Lineal(LVDT; Linear Variable Differential Transformer) es un dispositivo electromagnético que produce una tensión proporcional al desplazamiento de un núcleo móvil. Es uno de los dispositivos más empleados en la medida de desplazamientos ya que presenta buenas características de linealidad y sensibilidad.

Los sensores de distancia tipo LVDT son elementos de medida inductivos. Se basan en el principio inductivo de transformador de núcleo variable. Esto permite que un movimiento lineal del núcleo en el interior del cuerpo del sensor provoque una variación de inducción entre primario y secundario, lo que se traduce en un cambio de señal de salida, proporcional a ese desplazamiento.

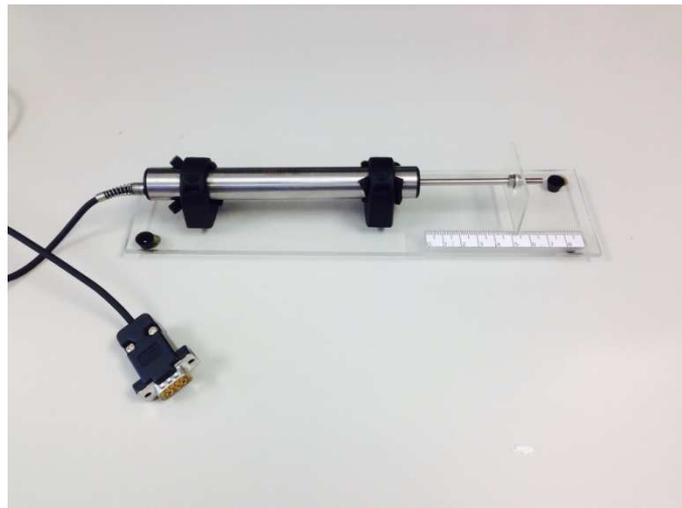


Figura 2.2: sensor tipo LVDT para la medida de distancia empleado en este proyecto

Los rangos de medida de estos sensores parten de unos pocos milímetros y pueden llegar hasta los 500mm, por eso son indicados para rangos de medida bajos y medios, con salida analógica 0-10V o 4-20mA, así como salida digital, principalmente en RS485 o MODBUS.

Los LVDT son usados para la realimentación de posición en servomecanismos y para la medición automática en herramientas, además de otros muchos usos industriales y científicos. Son la base de las medidas con palpadores, y de otros tipos de medidas como las medidas en bancos de ensayo.

Son varias las especificaciones de los diferentes procesos en los que se requieren medidores de distancia de tipo LVDT, por lo tanto éstos, además de los diferentes rangos que abarcan, también tienen unas características concretas para cada situación. Existen sensores LVDT de tamaño miniaturizado, con rangos de 6 mm, pero que permiten la medida en lugares donde otros sensores no pueden; también existen sensores con amplificadores integrados, necesarios para cuando durante el procesado de su señal no se dispondrá de la etapa de amplificado; otro ejemplo serían los sensores LVDT sellados por láser que permiten que sean sumergidos sin perder fiabilidad.

A continuación (figura 2.3) se incluye un pequeño catálogo con algunos de los tipos más importantes de sensores de medida basados en LVDT con sus características y rangos específicos, además de una breve descripción y una imagen identificativa.

Imagen	Producto	Descripción
	Transductor de posición lineal LVDT SX12	Sensores de posición lineal LVDT con salida AC para rangos medios de hasta 300mm. Diferentes accesorios de conexión y montaje.
	Sensor de desplazamiento lineal LVDT SX20	Transductor de posición lineal LVDT con salida AC y DC para rangos medios de hasta 300mm. Diferentes opciones de conexión y montaje.
	Sensor de posición lineal para cilindro SX12V	Sensor LVDT especial para montaje en cilindro, con diferentes rangos de medida hasta 300mm. Salida AC y opciones de alta presión y alta temperatura.
	Sensor LVDT digital salida en bus RS485	Sensor de posición lineal LVDT con salida digital MODBUS RS485. Linealidad y precisión mejoradas digitalmente. Alta protección IP68 con posibilidad de inmersión, diferentes rangos hasta 300mm.
	LVDT sumergible IP68 sellado por láser HCA / HCD	Sensores de distancia LVDT robustos, sellados herméticamente por láser IP68. Salida AC o DC. Diferentes rangos hasta 500mm.
	Sensores de posición LVDT económicos HR / MHR	Sensores LVDT económicos y compactos para la medida de posición y desplazamiento en espacios reducidos. Diferentes rangos hasta 500mm. Salida AC.
	LVDT miniatura de reducidas dimensiones	Sensor de posición compacto para medir pequeñas distancias o desplazamientos debido a su pequeño tamaño. Rangos hasta 6mm.
	LVDT económico con amplificador interno LCIT	Sensor LVDT con amplificador integrado muy económico para grandes series. Rango hasta +/-50mm. Salida amplificada 0.5-4.5V.

Figura 2.3: diferentes productos LVDT del mercado. (SensingSL,2014)

Más allá del ámbito de aplicación de los propios sensores, el procedimiento usado en este proyecto para la adquisición, el procesado y el posterior análisis de la señal de entrada, además de la creación de una interfaz para su monitorización, será fácilmente extrapolable a cualquier otro tipo de medidor de cualquier magnitud, sea cual sea la naturaleza del sensor o de la magnitud. Algo que, teniendo en cuenta el prácticamente infinito número de fenómenos físicos que necesitan ser medidos analizados y procesados, permite una enorme versatilidad.

2.3. Justificación

El objetivo de este proyecto es implementar un sistema de monitorización para la medida de distancia y se ha elegido para ello una tarjeta de adquisición de datos y un sistema de programación gráfico.

La monitorización de una señal proveniente, en este caso de un sensor, es perfectamente visible mediante el uso de un osciloscopio, el cual posee un nivel de precisión y de fiabilidad muy alto debido a la calidad de sus componentes. Pero el uso de este tipo de instrumentos tradicionales no permite ir mucho más allá de la visualización, además, el precio de los instrumentos tradicionales es muy elevado.

Por otro lado, cuando una señal es adquirida mediante un sistema de programación gráfico, las opciones que este tipo de programas permite son casi infinitas. El usuario, además de visualizar esta señal mediante un osciloscopio virtual, puede desde modificar la interfaz de visualización a su gusto hasta almacenar estos datos para su posterior análisis, además de muchas más ventajas como la generación de una señal de salida a partir de esa señal adquirida o acondicionar la misma a las características que se deseen.

Por lo tanto, con el fin de lograr una mayor versatilidad en el manejo de esta señal y de los datos que ésta incluye se opta por adquirir y procesar esta señal mediante un PC, para lo que serán necesarios, como se ha mencionado con anterioridad, una tarjeta de adquisición de datos y un software de representación gráfica.

Son varios los software de desarrollo gráfico, entre los más populares están Simulink de Mathworks, VisualState de IAR Systems o LabVIEW de National instruments. Al ser LabVIEW un programa basado en un sistema de programación gráfico (lenguaje G), es más sencillo de utilizar que otros lenguajes más típicos como puede ser el lenguaje C. De esta manera se logra una salida de la información requerida de manera fácil y con una interfaz clara y sencilla fácilmente ejecutable.

Otras de las ventajas que tiene el uso de Labview respecto a otros sistemas de procesamiento de señales es la gran compatibilidad con herramientas de desarrollo similares y con programas de otras áreas de aplicación (Excel, Matlab..), además de que puede ser utilizado en muchos sistemas operativos (Windows, Unix..).

No solo destacan su versatilidad y lo intuitivo y fácil de su manejo, sino que además los instrumentos virtuales con los que funciona este programa tienen unas grandes ventajas respecto a los instrumentos tradicionales. Estos instrumentos tradicionales vienen definidos por el fabricante y no por el usuario, tienen un mayor coste y un mayor esfuerzo y coste de mantenimiento y para los instrumentos virtuales es mucho más sencillo incorporar las nuevas tecnologías gracias a la plataforma PC. (Lázaro y del Río Fernández, 2004)

En lo que a integración con Hardware se refiere, este programa posee una fácil integración con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos e imágenes, además de contener librerías especializadas para manejos de DAQ.

Son muchas las empresas que fabrican tarjetas de adquisición de datos y microcontroladores, desde la compañía Spectrum hasta otras más conocidas entre el público menos especializado como es Arduino.

Los microcontroladores son de menor coste y tamaño que las tarjetas DAQ, lo que implica que para un uso a pequeña escala o en casos de necesitar un sencillo transporte son la mejor opción. Por el contrario, las capacidades de procesado y almacenaje de información son más reducidos en los primeros, por lo tanto, en el caso concreto de este proyecto, debido a que está enfocado a un entorno industrial, será aconsejable el uso de una tarjeta DAQ, ya que es necesario un nivel de precisión muy alto, van a ser procesadas grandes cantidades de información y se va a utilizar con reiteración, permitiendo así una rápida amortización de su mayor coste.

Cabe destacar la multifuncionalidad de este tipo de tarjetas, pues al contar con canales de E/S digitales y analógicos, permite no solo la captura de datos, sino también su utilización como parte de un control de procesos, que como se verá más adelante, es una parte importante de los sistemas de implementación como el desarrollado.

Todas las tarjetas de datos de las diferentes marcas tienen un precio similar dentro de cada bloque de especificaciones y características, pero en lo que a librerías para la conexión de la tarjeta con los sistemas de programación se refiere cada una de las DAQ y cada uno de los programas informáticos tienen unas por defecto que no siempre son compatibles.

Esto conlleva que entre las diferentes tarjetas disponibles en el mercado, se decida emplear en este proyecto una de la marca National Instruments, con el fin de lograr una perfecta configuración entre software y hardware. Y es aquí donde entra en

juego la tarjeta elegida para este proyecto, la tarjeta NI PCI-6014, que posibilita una perfecta sincronización entre ambos sistemas, puesto que el software tiene todas las librerías necesarias para la rápida y óptima instalación y configuración de la tarjeta permitiendo así mayor fiabilidad y un ahorro de tiempo y trabajo importante.

Por último, indicar que este proyecto se integra dentro de un proyecto global más ambicioso que ha sido desarrollado en conjunto con otro compañero. Desarrollándose ambos en el departamento de ingeniería electrónica de la UPV.

La primera parte, realizada por otro compañero, incluye el diseño y el montaje de un sensor basado en LVDT acondicionado para la medida de distancia, lo que conlleva que se tenga que diseñar un sistema de implementación para dicho equipo de medida, siendo ese el papel que desempeña este proyecto.

2.4. Especificaciones

Se va a trabajar con un sensor para la medida de distancia basado en LVDT cuyas especificaciones de uso son las siguientes:

- Medida de distancia de entre -25 mm y +25 mm.
- Proporcionará una señal continua a la salida variable con la distancia entorno al núcleo aunque se deben contemplar variaciones dinámicas de 4 Hz.
- El circuito proporcionará 0 V a una distancia de 0 mm.
- La sensibilidad será de 250 mV/mm.
- Rango de salida [-6.25,+6.25] V.

Las especificaciones para la adquisición de la vienen marcados por las características de la tarjeta DAQ y su configuración y estas son:

- Canal analógico NRSE (no referenciado).
- Conversor ADC de aproximación sucesiva con 16 bits de resolución.
- Ganancia del dispositivo ajustada a 0,5, proporcionando así un rango de entrada de señal de $\pm 10V$.
- Frecuencia de muestreo de 100Hz.
- FIFO buffer con tamaño de 512 muestras.
- Transmisión de datos tipo DMA Scatter-Gather.

2.5. Introducción al entorno de programación LabVIEW

El Software que se va a utilizar tanto para el procesado como el análisis de la señal es el sistema de programación gráfico LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de la empresa National Instruments.

LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos (como en el caso de este proyecto, ya que se representan las curvas de distancia, velocidad y aceleración del sensor implementado) y para aplicaciones de control. Además, LabVIEW se utiliza bastante en el procesamiento digital de señales, en el procesamiento en temporal de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales...(Lázaro y del Río Fernández, 2004)

Con la llegada del software de programación gráfica LabVIEW el proceso de realización de un programa se ha facilitado en gran medida a minimizarse el tiempo (y en consecuencia los costes) de desarrollo de las aplicaciones.

La forma de programar en LabVIEW es muy distinta a otros lenguajes de programación que se basan en texto, como C, VISUAL BASIC o FORTRAN. La principal diferencia con respecto a los anteriores lenguajes de programación es que LabVIEW utiliza los símbolos gráficos, denominados iconos, para representar el programa de acciones.

Los programas de LabVIEW se denominan VI ó VI's (Visual Instruments), instrumentos virtuales (programas), debido a que su aspecto y operación reproducen instrumentos tradicionales como osciloscopios, generadores de señales...

Un instrumento virtual (programa) se define como un módulo de software que simula el panel frontal del instrumento, y ayudándose de elementos hardware accesibles por un ordenador (tarjetas de adquisición de datos, como es en el caso de este proyecto, instrumentos accesibles vía GPIB, General Purpose Interface Bus, puerto serie...) realiza una serie de medidas que equivalen a las que se obtendrían en un instrumento real. De este modo, cuando se ejecuta un programa que actúa como un instrumento virtual o "VI", el usuario ve en la pantalla del ordenador un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, pero con mayor facilidad de visualización y control del aparato.

Durante el desarrollo de este proyecto se empleará la versión 8.2 de LabVIEW y aquí se exponen algunas de sus características y aplicaciones además de una descripción de su interfaz, botones y funciones principales. (Lajara y Pelegrí, 2007)

Cada VI contiene tres partes principales:

- Panel frontal: Cómo el usuario interactúa con el VI.
- Diagrama de bloque: El código que controla el programa.
- Icono/Conector: Medios para conectar un VI con otros VIs.

El **panel frontal** es la interfaz del usuario con el VI. El panel frontal se construye con controles e indicadores, que son las entradas y salidas que interactúan con las terminales del VI, respectivamente. Los controles son botones, botones de empuje, marcadores y otros componentes de entradas. Los indicadores son las graficas, luces y otros dispositivos. Los controles simulan instrumentos de entradas de equipos y suministra datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan salidas de instrumentos y suministra datos que el diagrama de bloques adquiere o genera.

El **diagrama de bloques** contiene el código fuente grafico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Adicionalmente, el diagrama de bloques contiene funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LabVIEW VI. Los cables conectan cada uno de los nodos en el diagrama de bloques, incluyendo controles e indicadores de terminal, funciones y estructuras.

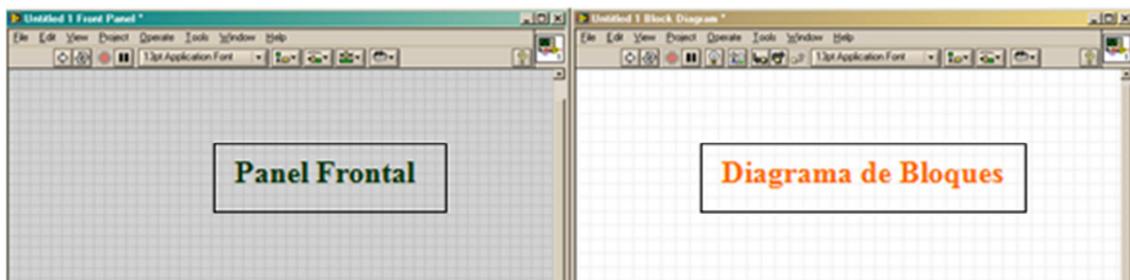


Figura 4: Pantallas de Labview

Las paletas de LabVIEW proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas:

La **paleta de controles** (*Controls*) se usa para colocar los controles e indicadores en el panel frontal. La paleta de controles esta disponible solamente en el panel frontal. Seleccionando *View* → *Controls palette* o haciendo clic derecho en el espacio de trabajo en el panel frontal se despliega esta paleta. También puede desplegarse la paleta de controles haciendo un clic derecho en un área abierta del panel frontal.



Figura 5: Paleta de controles

Se usa la **paleta de funciones** (*Functions*), para construir un diagrama de bloques. La paleta de funciones esta disponible solamente en el diagrama de bloques. Seleccionando *View* → *Functions Palette* o haciendo clic derecho en el espacio de trabajo del diagrama de bloques se despliega esta paleta. También puede desplegarse la paleta de funciones haciendo un clic derecho en un área abierta del diagrama de bloques.

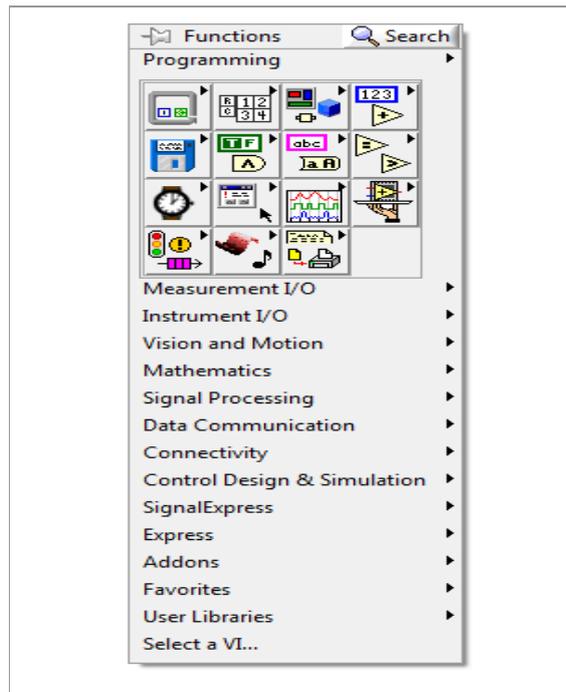


Figura 6: Paleta de funciones

La **Paleta de herramientas** puede ser accedida desde cualquiera de las áreas de trabajo, seleccionando *View* → *Tools Palette*. Dispone de un botón de selección automática, si se encuentra seleccionado y se mueve el cursor sobre un objeto en el panel frontal o en el diagrama de bloque, LabVIEW automáticamente selecciona la herramienta correspondiente de la paleta de controles. En caso contrario, se deberá hacer la selección apropiada manualmente.

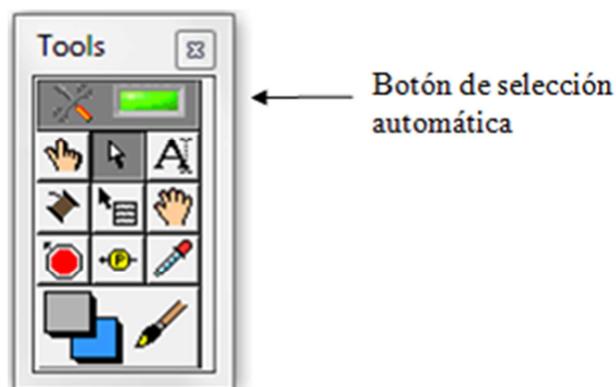
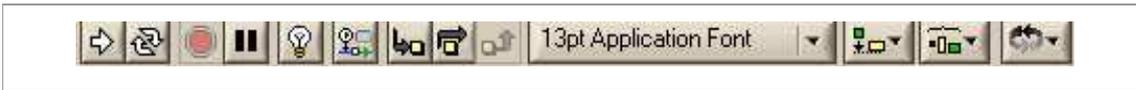


Figura 7: Paleta de herramientas

La Paleta de ejecución sirve para editar o ejecutar los Vis, muestra además cuales son los errores que impiden el funcionamiento del VI.



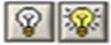
	Descripción
	Botón de ejecución.
	Botón de ejecución continua.
	Cancelación de la ejecución.
	Botón de pausa/continuación.
	Botón de ejecución resaltada. Se emplea para depuración de errores

Figura 8: Paleta de ejecución

3. Estructura y desarrollo

La estructura de este proyecto puede dividirse en dos claros subsistemas.

En primer lugar, se sitúa la parte que se encarga de captar la señal proveniente del sensor LVDT mediante una tarjeta de adquisición de datos y su posterior procesamiento para mostrarla por pantalla en una interfaz con la cual el usuario puede realizar la captación y la visualización.

En segundo y último lugar, se halla el apartado correspondiente al análisis de los datos y su posterior almacenamiento. En este análisis se podrán obtener algunos de los indicadores básicos relativos al entorno industrial como pueden ser la velocidad o la aceleración entre otros. También se permitirá el almacenaje de los datos obtenidos en archivos de extensión diferente a los archivos .vi propios de LabVIEW, lo que posibilitará su posterior recuperación además de la opción de volcar estos datos para las aplicaciones que así lo requieran.

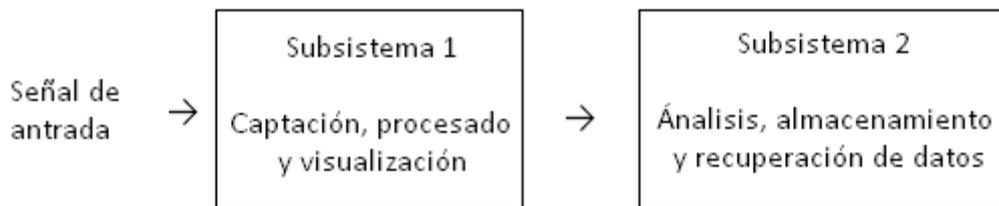


Figura 3.1: Subdivisión de la estructura del proyecto

Durante la parte de desarrollo y estructura, se irán diseñando como partes independientes todos los subsistemas que posteriormente conformarán la solución final. Se diseñarán sistemas sencillos que ejecuten cada una de las especificaciones que se requieran en el panel frontal final para realizar con cada uno de ellos los ensayos y las pruebas pertinentes.

Una vez se hayan completado cada una de estas partes y se haya comprobado el correcto funcionamiento de sus objetivos particulares, se unirán en un sistema definitivo que será el entregado al usuario y que cumplirá con todos los objetivos marcados en la realización de este proyecto.

3.1. Subsistema 1: captación, procesado y visualización de señal de sensor LVDT para la medida de distancia

Este subsistema consta de la captación y el procesado de la señal proveniente de un sensor LVDT para su posterior visualización. Para ello se utilizará la tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014 y el sistema de programación gráfica LabVIEW, ambos de la empresa National Instruments.

En apartados precedentes se han expuesto los motivos por los cuales esta tarjeta y este software son indicados para un proceso de ésta índole, pero conocidas ahora todas las especificaciones requeridas, son suficientes los 16 bits de resolución propios de los canales analógicos de la tarjeta DAQ y ésta admite frecuencias de muestreo muy superiores a los 8 Hz para respetar el criterio de Nyquist, sabiendo que la señal de entrada tiene un corte superior de frecuencia de 4 Hz.

Respecto al software, el sistema de programación gráfica LabVIEW, es totalmente compatible con esta tarjeta; la instalación de este programa en un PC es sencilla y permite una configuración muy rápida entre dicho programa y tarjeta debido a las librerías predefinidas que contiene y que posibilitan una adecuación perfecta entre hardware y software. Además, este programa permite, gracias a la variedad y la intuitividad de su interfaz y de sus instrumentos virtuales, elaborar de manera sencilla diversos sistemas con capacidades prácticamente ilimitadas.

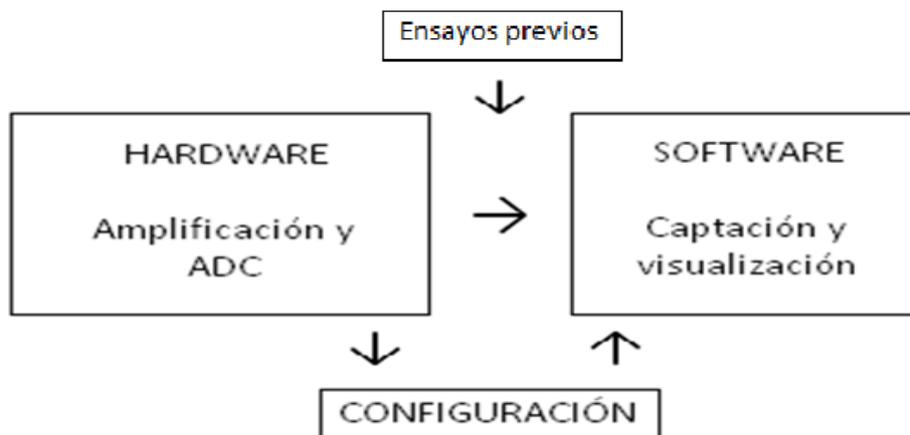


Figura 3.2: Subdivisión del subsistema 1

Este subsistema, a su vez queda claramente diferenciado en dos apartados, hardware y software.

En el primero de ellos, se producirá la adquisición de la señal y su acondicionamiento, que incluye el multiplexado, la amplificación y su conversión de analógico a digital. En segundo lugar se realizarán los ensayos previos la diseño, con el fin de decidir entre las diferentes opciones de adquisición, la frecuencia de muestreo que se elegirá o los rangos que se impondrán en el diseño final, entre otras cosas. Por último se realizará la captación por parte del sistema de programación y su posterior visualización. Como paso previo estas dos últimas etapas, se deberá configurar el mencionado sistema de programación con la tarjeta de adquisición de datos.

3.1.1. Tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014

El hardware utilizado para este proyecto es la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) NI PCI-6014 de la compañía National Instruments.



Figura 3.3: Tarjeta de datos NI PCI-6014. (National Instruments, 2010)

Se trata de una tarjeta de adquisición de la serie B de National Instruments con una amplia lista de características de las cuales en este proyecto interesan:

- 16 entradas analógicas de 16 bits a 200 kS/s a bajo costo para PCI, con un rango de voltaje de $\pm 10V$.
- 2 salidas analógicas de 16 bits a 10 KS/s y rango de $\pm 10V$.
- Dos contadores de 24 bits.
- Trigger digital.
- Servicios de medida NI-DAQmx para simplificar configuración y medidas.

La siguiente figura muestra el conector de las tarjetas NI PCI-6014 de 68 pines.

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0 ¹	22	56	AI GND
AO 1 ¹	21	55	AO GND
AO EXT REF ¹	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 9/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

Figura 3.4: Conector de E/S de la tarjeta NI PCI-6014 (National Instruments, 2010)

Las líneas que se usarán en la conexión con el sistema de medida son:

- AIO: entrada analógica del canal 0. Permite medidas DIFF, RSE y NRSE, pero se tomará este último. Los canales están multiplexados y constan de un control para seleccionar la configuración de los terminales, un amplificador de ganancia programable, un filtro paso bajo, conversor analógico digital y una memoria FIFO que almacena las medidas.
- AIGND: es la referencia para las medidas RSE Y el retorno de corrientes para medidas DIFF.
- AISENSE: es la referencia para medidas RNSE e irá conectada a la toma de tierra.

En el anexo 3 se incluye un tutorial con la instalación paso a paso a un PC de una tarjeta NI DAQ de tipo PCI.

Para la conexión por cableado con el sensor se utilizará un accesorio de terminación, en este caso el bloque conector CB-68LP.

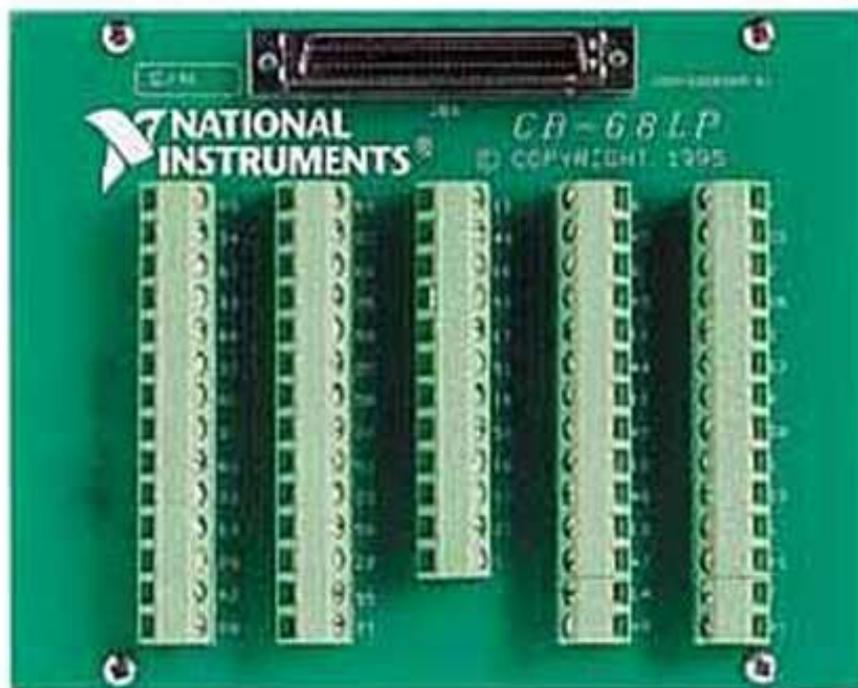


Figura 3.5: Bloque conector NI CB-68LP (National Instruments, 2012)

El NI CB-68LP es un accesorio de terminación de bajo coste con 68 terminales de tornillo para una fácil conexión de señales de E/S en campo a productos de adquisición de datos de 68 pines. Incluye un conector SCSI macho de 68 pines para conexión directa con cables de 68 pines. Los bloques conectores tienen monturas para utilizarse en escritorio o montados en un panel personalizado. El CB-68LP tiene un conector de 68 pines de montaje vertical, los cuales no coinciden en posición con los mostrados en la figura X (conector de la tarjeta Ni PCI-6014).

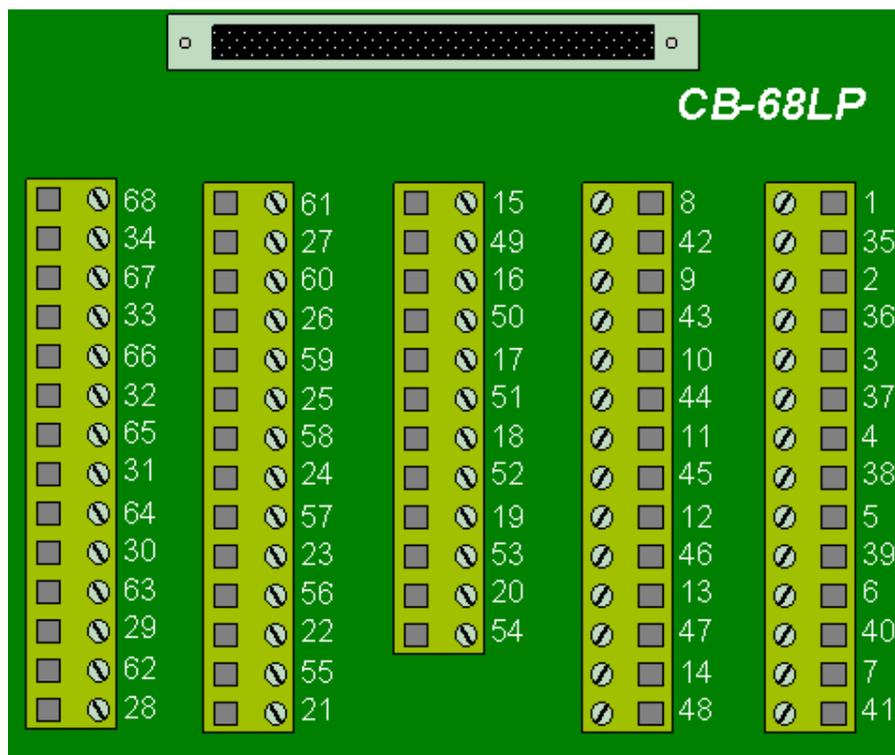


Figura 3.6: Pinout del bloque conector CB-68LP. (National Instruments,2012)

Los pines que serán utilizados para la conexión entre la tarjeta y el sistema de medida son:

- Pin 68 como canal 0 de entrada analógica.
- Pin 67 como toma de tierra para entradas analógicas.
- Pin 62 como referencia para medidas no diferenciales y que irá unida al Pin 29 que lo conectará a la toma de tierra de entradas analógicas.

3.1.2. Multiplexado y amplificación de la señal

En este caso concreto, el canal de entrada está configurado para una adquisición no referenciada (NRSE, Non Referenced Single Ended), en la cual no hay una referencia común entre la señal a medir y la electrónica de adquisición. Como se muestra en la figura 3.3, la señal se referencia a la entrada AISENSE, que corresponde al terminal (-) del amplificador de instrumentación, está referenciado a masa, además indicar que el canal que se tomará para la adquisición será el canal 0 (CH0+).

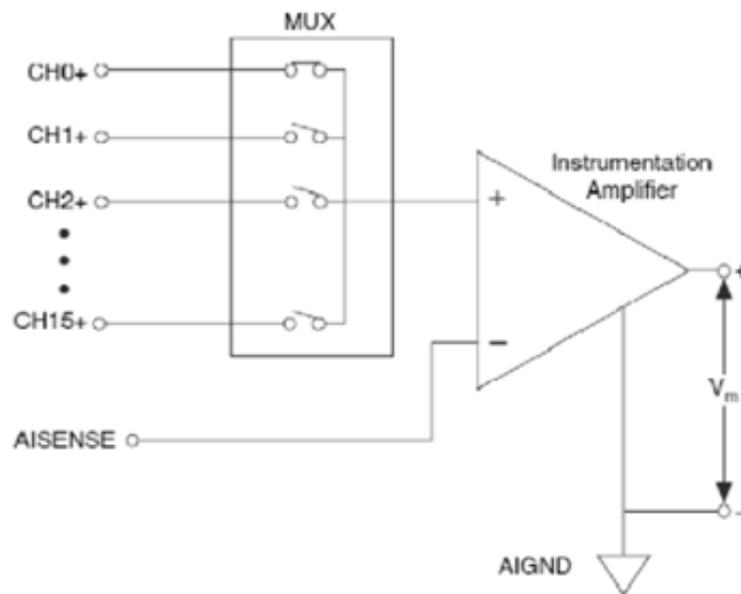


Figura 3.7: Entrada analógica sin referencia común (NRSE). (National Instruments, 2008)

Además de la configuración del canal, la tarjeta requiere que se especifique la manera de transmisión de datos, para este proceso de adquisición concreto se trata de DMA (acceso Directo a Memoria) en modo Scatter-Gather. Éste es un método de almacenaje de información mediante buffer múltiple el cual permite transmitir datos a varias áreas de memoria en una transacción DMA simple. Equivale al encadenamiento de múltiples peticiones DMA simples. Su objetivo es librar a la CPU la tarea de la copia de datos e interrupciones de entrada/salida múltiples permitiendo así la visualización de datos simultáneamente a la adquisición.

Una vez el canal de entrada es configurado y la señal es adquirida se realiza, como paso previo a la digitalización de la señal, ésta es escalada por un amplificador de ganancia programable para ajustarse lo máximo al rango del convertidor. En este caso concreto sabiendo que el rango de salida del sensor LVDT de distancia es de $\pm 6,25V$ tendremos que ajustar la ganancia a 0,5 para que el rango de valores pase de los $\pm 5V$ iniciales a los ± 10 que se precisan.

3.1.3. Conversión de analógico a digital

Una vez adaptada la señal de entrada al rango de valores correspondiente, se convertirá esta señal a digital. Para ello la tarjeta de datos NI PCI-6014 utiliza un convertidor analógico digital (ADC) de aproximación sucesiva y con una resolución de 16 bits, y respecto a la frecuencia de muestreo, ésta se ha configurado a 100 Hz, es decir, la tarjeta se encargará de adquirir 100 muestras por segundo.

Puesto que el sensor LVDT proporciona una salida a frecuencia de corte superior de 4 Hz, este valor permite que se cumpla el teorema de Nyquist, el cual indica que para reconstruir de manera precisa una señal se necesita una frecuencia de muestreo al menos de 2 veces el valor de la frecuencia de dicha señal, por lo que 8 Hz cumplirían el requisito de este teorema, pero para lograr una representación realmente fiable se deben considerar al menos 10 veces el valor de frecuencia de la señal, aumentando esta precisión a medida que se incrementa el valor de muestreo. Por el contrario un valor elevado de la frecuencia de muestreo conlleva un mayor tiempo para el procesado de los datos.

Por lo tanto, y tras probar con las frecuencias de 8 Hz, 40 Hz y 100 Hz en un ensayo detallado en el apartado de resultados, se ha elegido este último valor, ya que proporciona una representación adecuada con un tiempo de procesado suficientemente veloz para los requerimientos de este sistema.

Los convertidores ADC que utilizan un Registro de Aproximaciones Sucesivas utilizan un algoritmo de búsqueda binaria, en el cual partiendo del bit más significativo (MSB) comprueban qué valor es más correcto, si 1 o 0; y sucesivamente con el resto de bits se va realizando la comprobación. A continuación se muestra un árbol de decisiones que simula el procedimiento.

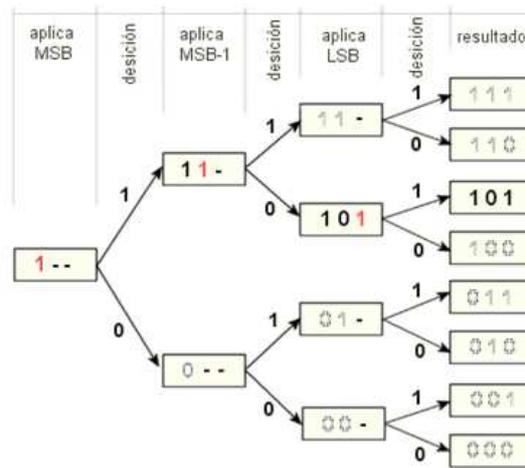


Figura 3.8: Registro de Aproximaciones Sucesivas de 3 bits (Huarpe, 2010)

El ejemplo anterior, es para un caso de 3 bits. Cabe destacar que un ADC de 3 bits puede representar ocho (2^3) niveles de voltaje discreto. Mientras que un ADC de 16 bits puede representar 65,536 (2^{16}) niveles de voltaje discreto, de aquí la importancia de un alto valor de resolución en el convertidor

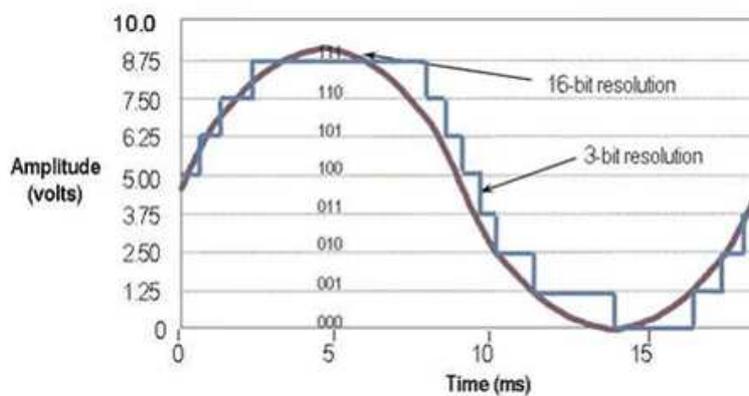


Figura 3.9: Diferencia de conversión entre sistemas de 3 y 16 bits de resolución. (National Instruments, 2006)

La señal tiene un rango de medida de ± 10 V y el convertidos una resolución de 16 bits, es decir 65,536 (2^{16}) niveles de voltaje discreto, esto implica que para cada estado habrá una resolución de 0,305 mV. Por otro lado, la sensibilidad de este sistema es de 250 mV/mm por lo que relacionando ambos valores, se tendrá una resolución por

estado de 0,0012 mm. Por lo tanto este sistema es adecuado para medir valores como los milímetros que son los que ocupan este proyecto, pero para unidades, como por ejemplo, las micras la precisión no sería suficiente.

3.1.4. Configuración y prueba de Software y Hardware

Para configurar y probar el software y el hardware que van a ser utilizados en la instrumentación virtual existe el programa de National Instruments MAX (Measurement and Automation Explorer). Es un programa que se encarga de interactuar con otras herramientas de NI al igual que con otras del sistema operativo.

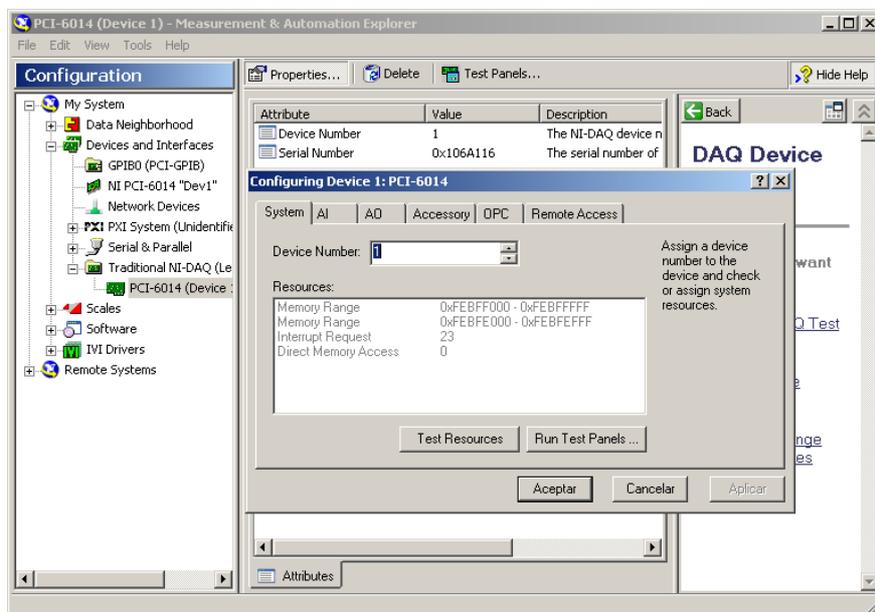


Figura 3.10: Interfaz de Measurement and Automation Explorer

Esta interfaz tiene un aspecto similar al explorador de Windows y al administrador de dispositivos. En la parte izquierda de la imagen se encuentra el apartado de configuración donde se pueden explorar los diferentes dispositivos drivers y programas. A continuación se explica brevemente como se configura a partir de cada función de las mostradas en la parte izquierda de la interfaz.

- Data Neighborhood: ésta es la carpeta donde se crean los canales virtuales y las tareas de los diferentes dispositivos que van a ser utilizados. Para ello

se selecciona esta opción, se pulsa el botón *Create New* de la barra de herramientas y se sigue el asistente de instalación.

- **Devices and Interfaces:** aquí se muestran y se editan los atributos de los diferentes dispositivos físicos que están instalados en el ordenador, desde tarjeta de adquisición de datos hasta tarjetas GPIB. Es desde aquí donde se crean las conexiones con las tarjetas de datos pero además permite crear tarjetas de datos simuladas para probar los programas antes de portarlos a la tarjeta real
- **Scales:** las escalas se aplican a todas las muestras y es en esta carpeta donde se almacenan y modifican los parámetros relacionados con las estas escalas que pueden usar las tareas.
- **Software:** muestra la información sobre el software instalado, librerías DAQ, librerías GPIB o el propio LabVIEW.

En la parte superior derecha de la imagen de la Figura X, se ve la opción *Test Pannels*. Seleccionando dentro de *Devices and Interfaces* una tarjeta de adquisición de datos ya configurada y pulsando el mencionado botón de *Test Pannels* aparece una ventana en la que se pueden editar los distintos tipos de entradas, salidas o rangos entre otras opciones de la tarjeta seleccionada y, además, permite visualizar las señales que hay en los canales. Es una rápida manera de comprobar el buen funcionamiento de la instalación.

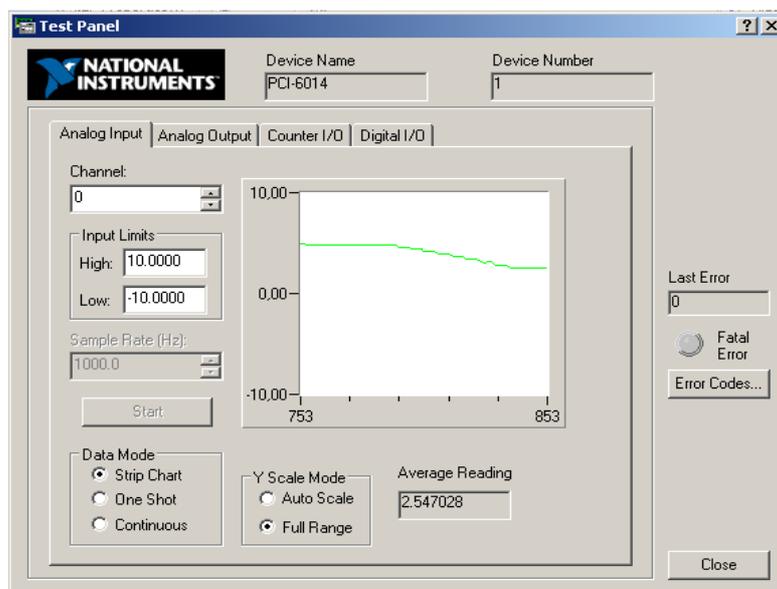


Figura 3.11: Panel de Test en MAX.

3.1.5. Adquisición de datos en LabVIEW

LabVIEW es un programa más que adecuado para la adquisición de datos, entre otras razones, por su total compatibilidad con la tarjeta de National Instruments, como es el caso que se estudia. Su interfaz gráfica ofrece una gran potencia de visualización de señales y dispone de librerías de procesado para el tratamiento de las señales adquiridas.

La librería de adquisición de datos de LabVIEW ha sido siempre NI-DAQ, ésta contiene un conjunto de VIs muy completo que permite al programador un fácil manejo de las DAQ, pero a partir de la versión 7.0 aparece la nueva versión NI-DAQmx, que resuelve algunos problemas de sincronización y multitarea que ocurrían en la que ahora se denomina NI-DAQ tradicional, Las funciones que permiten realizar ambas son casi idénticas, la diferencia principal se halla en la configuración de cada una de ellas y cómo se trabaja directamente con la salida.

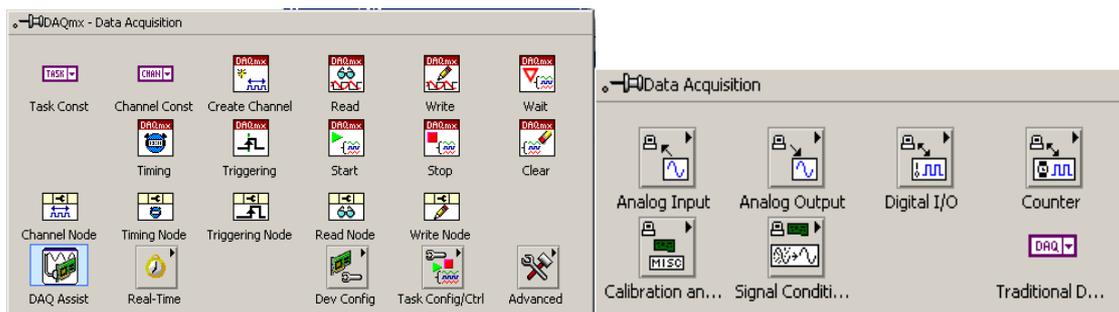


Figura 3.12: Paletas de adquisición de datos

En este proyecto se probarán dos tipos de adquisición muy diferenciados, *AI Continuous Scan.vi* y *DAQmx Read.vi*. El primero de ellos pertenece a la librería e adquisición NI-DAQ Tradicional y presenta un tipo de adquisición continuo con capacidad de almacenamiento en buffer. Por otro lado, el segundo de ellos pertenece a la librería NI-DAQmx y el tipo de adquisición será seleccionable por el diseñador del sistema.

A continuación se explican brevemente el funcionamiento de uso y la configuración de ambas Vis de adquisición. Mostrándose en primer lugar las características de *AI Continuous Scan.vi*.

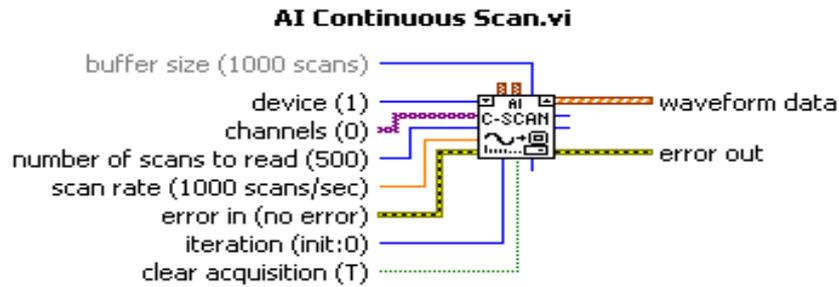


Figura 3.13: AI Continuous Scan.vi

Ésta función permite la adquisición de datos de forma continua, con una determinada frecuencia de muestreo. Esta función también permite, a quien elabora un sistema, decidir el número de muestras que desea tomar y cuantas quiere almacenar en el buffer. Para que este buffer funcione, primero se debe inicializa a falso el borrado de almacenamiento o la función entregará un error.

En ella, para la adquisición de este proyecto, se especifica que se desean un total de 100 muestras por adquisición y que serán almacenadas en buffer hasta un total de 400, además se indica que la frecuencia de muestreo será de 100 Hz. Respecto al canal de entrada y la elección del dispositivo se dejarán en los valores por defecto (0 y 1 respectivamente) pues éstos ya corresponden a la tarjeta y el canal elegido para la adquisición.

Por otro lado está la función *DAQmx Read.vi* cuya configuración y funcionamiento se explicará a continuación

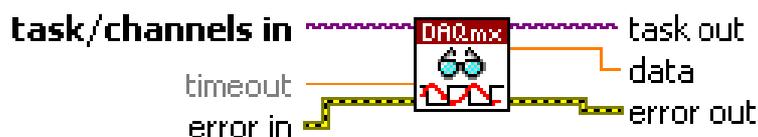


Figura 3.14: Función DAQmx Read.vi

Con la tarea de adquisición ya creada, falta indicar qué tipo de adquisición se quiere y en este caso, tomaremos una muestra digital de un único canal en cada adquisición.

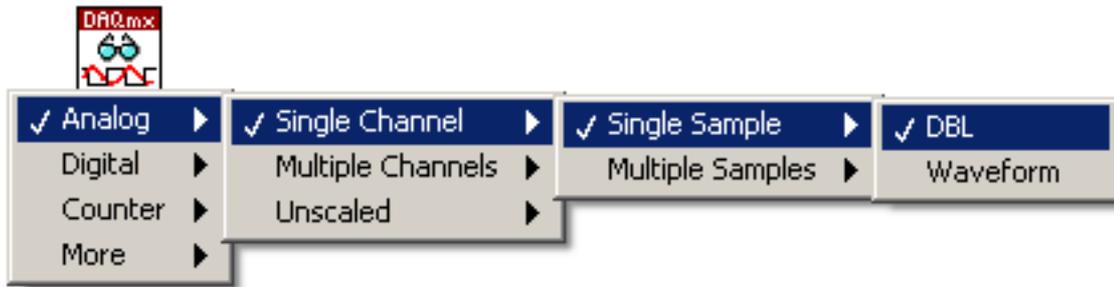


Figura 3.15: Selección del tipo de adquisición en DAQmx Read.vi

Este tipo de adquisición es mucho menos fiable que la continua, ya que requerirá de bucles de tiempo, que al utilizar temporizadores del PC y no de la tarjeta DAQ entregan valores menos precisos.

Para utilizar las funciones NI-DAQmx es necesario crear un canal virtual (channel) o una tarea (task) donde se reflejen las propiedades básicas de cada función, como el canal de entrada de la tarjeta, el modo de muestreo, la velocidad de adquisición, los límites o el tipo de canal. Esto se realiza mediante el Measurement and Automation Explorer (MAX).

En el menú de configuración de MAX, pulsando el botón *create new...* y desplegando el apartado de *Data Neighborhood...* aparecen varias opciones, y se pincha en NI-DAQmx Task.

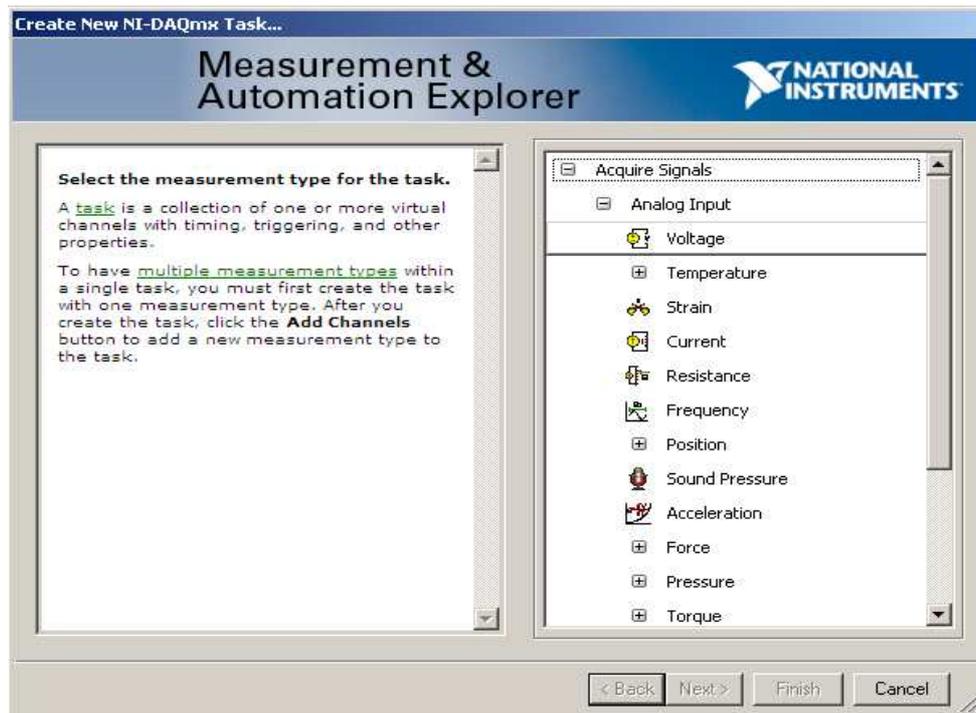


Figura 3.16: Menú Create New NI-DAQmx Task

Una vez seleccionado el tipo de entrada, analógico en este caso, y concretamente entrada de valores de voltaje, aparece otro menú en el cual se definen los parámetros más concretos de la adquisición, además de esto, también permite testear los valores de entrada para comprobar que hemos seleccionado la función que deseamos y que todo el montaje está correctamente realizado.

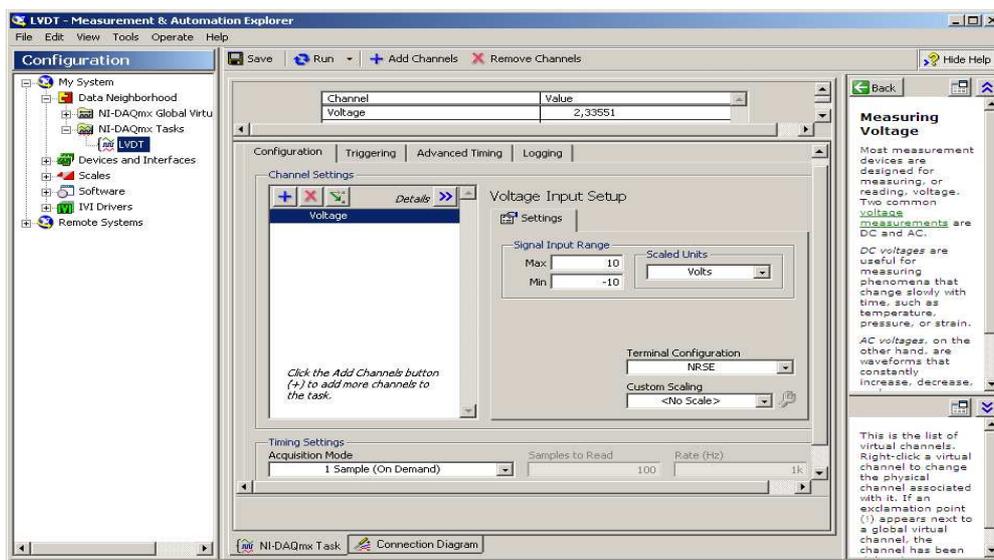


Figura 3.17: Configuración y test de los parámetros de la tarea de adquisición.

3.1.6. Ensayos previos al desarrollo del sistema

Para el correcto diseño de esta sistema, es necesario primero conocer los valores mínimos y máximos de las magnitudes que se van a visualizar. Por lo tanto, se realizarán unos ensayos que comprueben los extremos de estas magnitudes, con el fin de otorgar a los indicadores rangos que sean coherentes.

Una vez delimitados los rangos para la visualización, se debe precisar qué tipo de adquisición se empleará para la captación de la señal. Durante el desarrollo de este trabajo se han utilizado dos modos diferentes de adquisición, por lo que se ensayará con ambos y se decidirá cuál de ambos se escoge y por qué motivo, además de indicar cuáles serán las especificaciones que se le atribuirán al método elegido.

El último paso previo a la realización del sistema es analizar el proceso que se quiere controlar y visualizar, consta básicamente de definir qué objetivos tiene que cumplir este sistema y lograr una estructura que los cumpla.

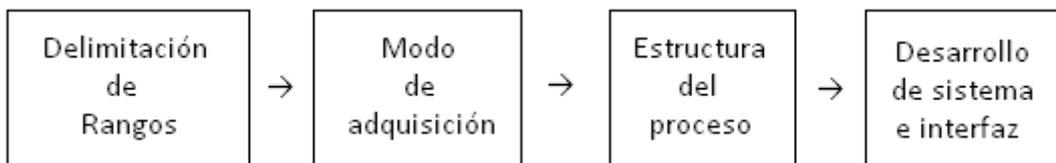


Figura 3.18: Etapas previas al desarrollo de sistemas

3.1.6.1. Delimitación de rangos.

En primer lugar comprobaremos cuales son los valores mínimos y máximos que pueden alcanzar las 3 magnitudes con las que se trabaja. Éstas van a ser la distancia, la velocidad y la aceleración

- Distancia

Partiendo de las especificaciones que entrega el sensor LVDT para la medida de distancia, esta magnitud se encuentra entre ± 25 mm. Para verificar este rango, realizaremos un ensayo en el que se representará la salida que produce el sensor en sus puntos de medida máximo y mínimo.

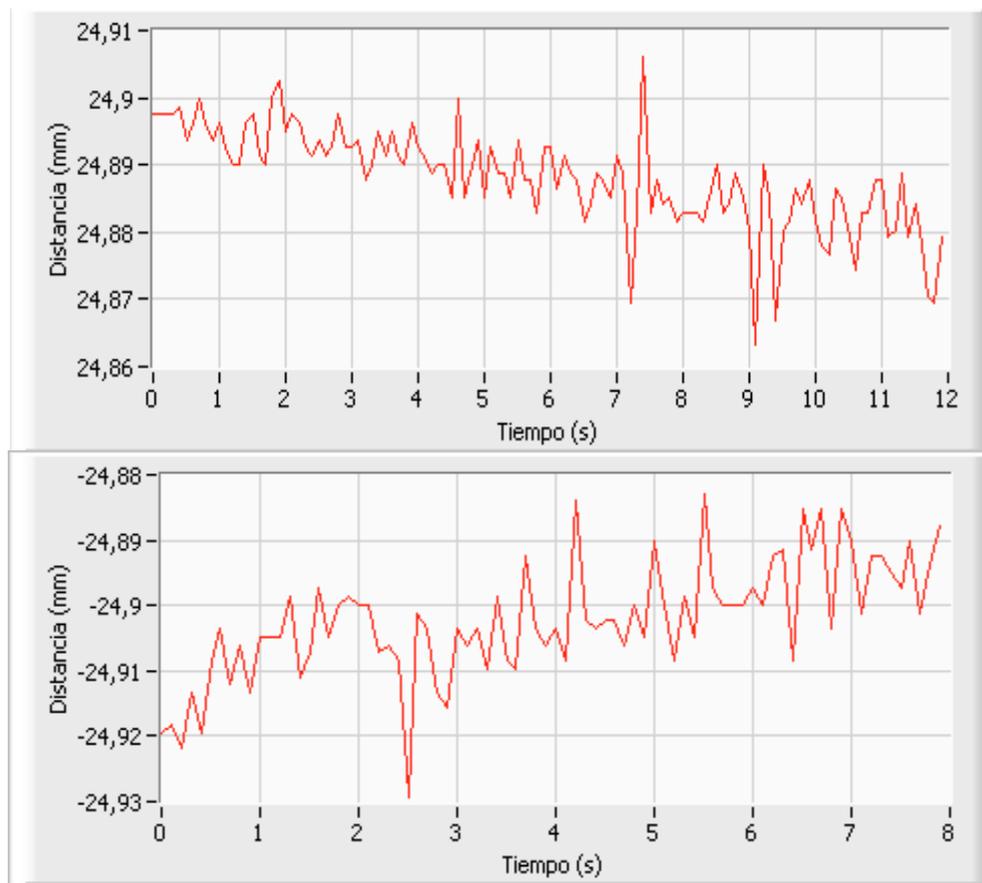


Figura 3.19: Representación de valores extremos de distancia.

Tras este ensayo se comprueba un valor máximo de 24,90 mm y mínimo de -24,93 mm, por tanto un rango de ± 30 mm será el escogido para el indicador del valor instantáneo de distancia, con el fin de que existan márgenes que faciliten la visualización.

- **Velocidad y aceleración**

A continuación se analizará el valor máximo que pueden alcanzar tanto la velocidad como la aceleración. Para ello se realizará un ensayo, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz en la que se provocarán bruscos cambios de desplazamiento y de velocidad con el fin de evaluar los picos producidos en las gráficas de velocidad y aceleración.

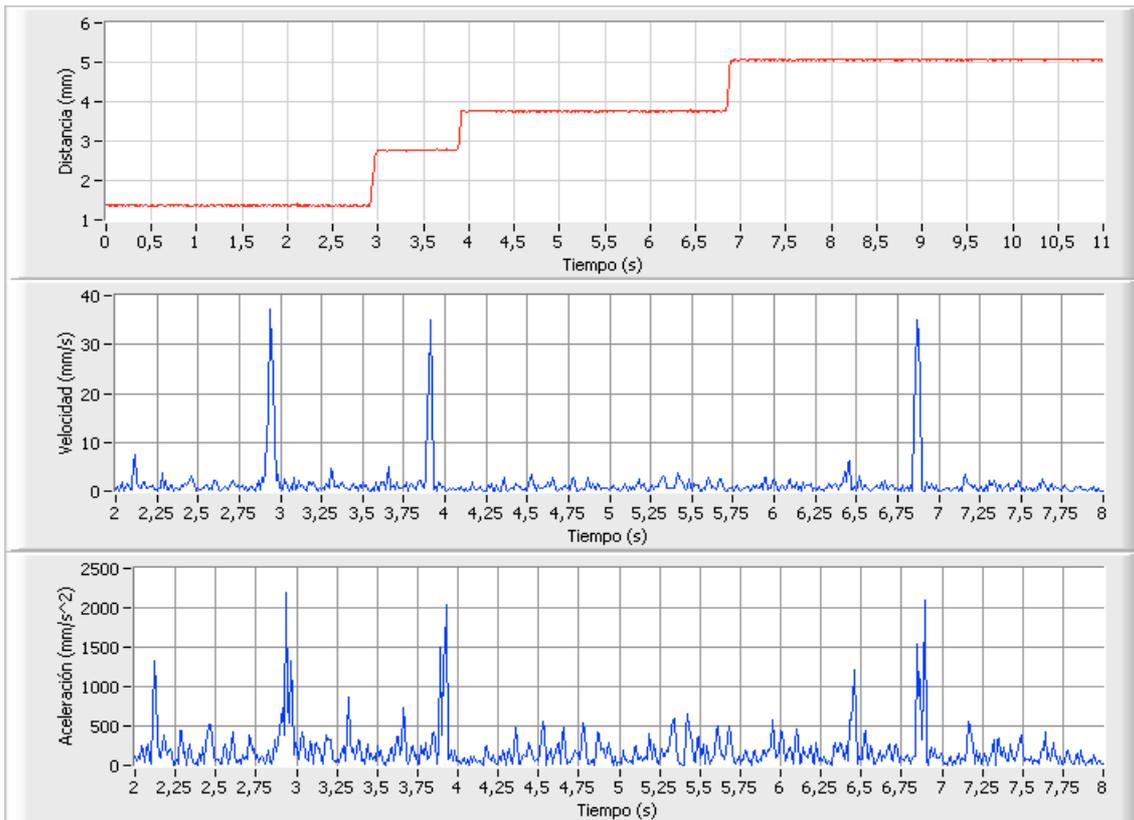


Figura 3.20: Análisis de picos de velocidad y aceleración.

El valor máximo que se ha alcanzado en este ensayo es de 38 mm/s, pero debido a que el desplazamiento que se le ha aplicado al sensor, a pesar de haber sido en un rápido período de tiempo, no se puede precisar que sea la máxima que éste pueda adquirir no se considerará medida máxima. Por lo tanto, aplicando un margen de seguridad de un 30% propondremos un rango para el indicador de velocidad de [-50,50] mm/s.

Es importante indicar que este ensayo se ha realizado aplicando valor absoluto a los alores de velocidad y aceleración, pero éstos podrán ser negativos. La velocidad negativa, pues además del módulo se le mantendrá el sentido a estas dos magnitudes.

En el caso de la aceleración se muestra que se alcanzan valores superiores a los 2000 mm/s². Puesto que no se mostrará un valor instantáneo de aceleración y las gráficas de visualización son de autoajuste, no es necesario proponer un rango de medidas.

3.1.6.2. Modo de adquisición

El siguiente paso del proceso de diseño de un sistema es precisar qué tipo de adquisición se empleará para la captación de la señal. Durante el desarrollo de este trabajo se han utilizado dos modos diferentes de adquisición. Una de ellas de forma continua con la *AI Continuous Scan.vi* y la otra tomando muestras individuales mediante *DAQmx Read.vi*, configurada para una muestra, con una frecuencia marcada por el bucle de tiempo.

Estas dos maneras de adquirir datos no son las únicas que permite LabVIEW, pero como son las dos que se han utilizado a lo largo de este proyecto, son las dos que se compararán en detalle, y para ello se realizará un ensayo en el cual se captará mediante la tarjeta DAQ PCI 6014 una señal senoidal generada mediante un instrumento tradicional y se representará tras ser adquirida de mediante ambos VIs.

Ambas adquisiciones se realizarán tomando 100 muestras por segundo, es decir con frecuencia de muestreo de 100 Hz .

En el caso de *AI Continuous Scan.vi*, la frecuencia de muestreo se puede definir de manera concreta y se le dará el mencionado valor de 100 Hz. Por el contrario, la adquisición *DAQmx Read.vi* configurada para una muestra, no tiene la opción de definirle una frecuencia de muestreo concreta, puesto que se toma una única muestra cada vez que se ejecuta, por lo tanto, se generará un bucle tipo *while* que actuará cada 10 milisegundos, de esta manera se tomarán 100 medidas cada segundo que es la cantidad requerida.

A continuación se muestran las representaciones de estas dos adquisiciones, de color rojo la correspondiente a *AI Continuous Scan.vi* y de color azul la realizada mediante *DAQmx Read.vi*, correspondientes a una señal senoidal de una frecuencia de 4 Hz.

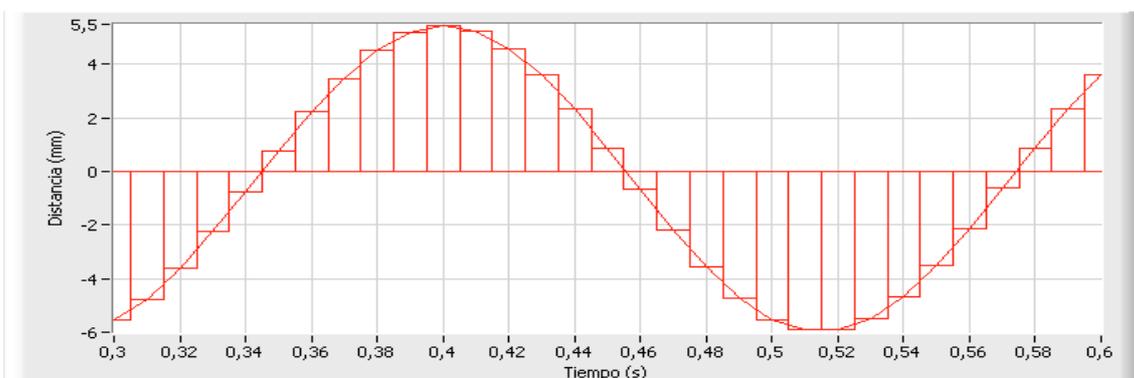


Figura 3.21: Representación de onda senoidal mediante *AI Continuous Scan.vi*



Figura 3.22: Representación de onda senoidal mediante DAQmx Read.vi

Puesto que es complicado, con el nivel de definición de la representación de ambas gráficas, comprobar cuál de ellas ha generado una señal más fiel a la adquirida, el estudio se basará en la precisión ligada entre la representación de los ceros de la senoidal y el diagrama de barras que acompaña a la visualización.

En la primera figura, correspondiente a *AI Continuous Scan.vi*, se ve cómo en el punto en el que el valor de la amplitud de entrada cambia de signo, se produce también un cambio de signo del bloque correspondiente con un nivel de precisión más elevado que en la figura con representación en color azul.

Este método no permite comprobar con certeza el nivel de precisión de un tipo de muestreo concreto, pero sí da la capacidad de decidir entre dos métodos que están siendo analizados. Una vez analizados los resultados obtenidos se descarta el método de adquisición de una única muestra y se incorporará al sistema la adquisición tipo *AI Continuous Scan.vi*.

En ambos casos existía una frecuencia de muestreo igual, pero el motivo por el que la adquisición continua ha dado mejor resultado que la adquisición de muestras simples, es debido a la diferencia del temporizador. En la adquisición continua se ha utilizado el timer que tiene incorporado la tarjeta de adquisición de datos mientras que en el muestreo simple, puesto que se ha realizado mediante bucle y tiempo de espera, se ha utilizado el timer que lleva incorporado el PC, el cual es mucho menos preciso debido a que las funciones propias de un PC no requieren una precisión tan elevada de un diferencial de tiempo.

Una vez elegido el tipo de adquisición se explicará por qué se ha elegido una frecuencia de muestreo de 100 Hz, cuando con 8 se cumpliría el teorema de Nyquist y ya se podría representar la señal.

Partiendo de nuevo de una onda senoidal de 4 Hz generada mediante un generador de señales se realizará una adquisición con 3 frecuencias de muestreo diferentes: 8 Hz, 40 Hz y 100 Hz.

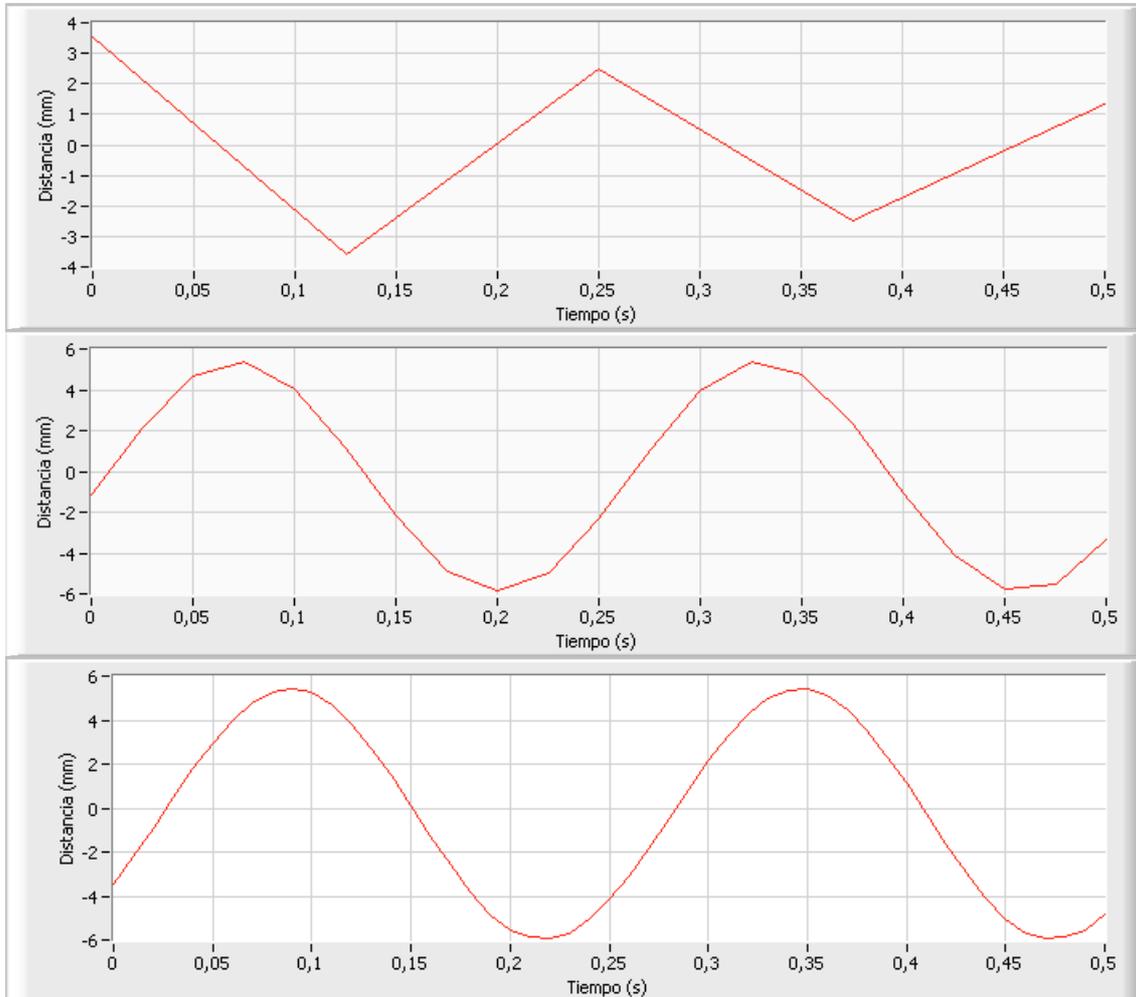


Figura 3.23: muestreo a frecuencias de 8 Hz, 40 Hz y 100 Hz respectivamente

Se ve claramente en las figuras como las frecuencias de muestreo de 8 y 40 Hz son insuficientes para una representación correcta de la señal. Por el contrario, con una frecuencia de adquisición de 100 muestras por segundo (Hz), la representación corresponde de manera fiel a la señal que senoidal que está siendo generada.

3.1.6.3. Estructura del proceso de control

En este apartado se busca concretar con exactitud cuáles van a ser los requerimientos del proceso que se quiere controlar mediante el sistema que se desarrollará posteriormente con LabVIEW.

Se desarrollará un sistema capaz de adquirir la señal proveniente de un sensor LVDT para la medida de distancia y visualizarla de forma continua a medida que se va adquiriendo, permitiendo, además, que se indique en un marcador el valor instantáneo de la dicha magnitud.

Una vez esta señal es adquirida y representada, se quiere que se muestre por gráfica las variaciones que sufren las magnitudes de velocidad y aceleración con el desplazamiento del sensor LVDT de distancia.

Además de los requerimientos sobre la visualización introducidos en los párrafos anteriores, se busca que este sistema permita delimitar un rango de valores entre los cuales la distancia se tomará como adecuada, y tendrá como comprobación un indicador de tipo booleano.

Por último, este sistema requerirá que sea posible el almacenamiento de los valores de estas magnitudes que han sido captados y analizados, pero que este almacenamiento se produzca únicamente cuando el usuario lo demande y no cada vez que se realiza una medición.

Con todas estas especificaciones se desarrollará ahora un sistema mediante instrumentación virtual que entregue un panel frontal con el que el usuario pueda interactuar para cumplir todos estos requerimientos.

3.1.7. Filtrado de la señal.

Al probar el método de adquisición de señales se ha comprobado que ésta presenta mucho ruido, por lo tanto se filtrará esta señal.

El filtro que se utilizará será el filtro de Butterworth, diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte, y será de tipo pasa bajo, con el fin de atenuar las frecuencias más altas.

LabVIEW presenta entre sus instrumentos virtuales la siguiente función para el filtrado de señales adquiridas, *Butterworth Filter.vi*.

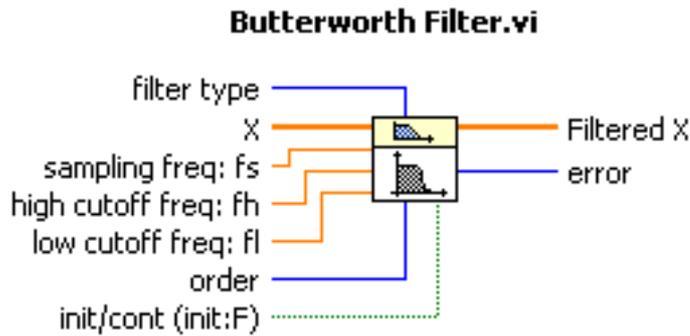


Figura 3.24: Filtro Butterworth

Para el funcionamiento de esta VI, en primer lugar se debe indicar qué tipo de filtro se quiere utilizar que en este caso será de tipo pasa bajo.

Una vez indicado el tipo de filtro, es necesario indicar el valor de la frecuencia de muestreo, que deberá coincidir con la frecuencia de muestreo que se está utilizando en el VI de adquisición, y también se deberá indicar el valor de la frecuencia mínima de corte, que atendiendo a las especificaciones del sensor, será de 4 Hz.

Por último debe seleccionarse el orden del filtro, en este proyecto se trabajará con un filtro de sexto orden. El filtrado podría producirse con un orden mayor, pero, puesto que se requiere que la visualización de la señal se produzca a medida que se va adquiriendo, es importante que el filtrado se produzca con rapidez, destacando, por supuesto, que este orden permite un filtrado suficiente para los requerimientos del sistema que se desarrollará.

Una vez especificadas todas las características del filtro, solo queda conectar en la entrada la señal que quiere filtrarse y se obtendrá, en la salida, un vector con los valores de las muestras tomadas pero ya filtradas.

3.1.8. Representación de la señal de entrada.

Con el motivo de avanzar en las mediciones y los ensayos para la realización de este proyecto, se procederá al diseño y al montaje de un potenciómetro que sea capaz de entregar tensiones entre los valores de 6,25V y -6,25V, los cuales serán los producidos por dicho sensor. Los cálculos y las simulaciones realizadas para el diseño y el montaje del potenciómetro multivuelta de simulación de señal de entrada se adjuntan en el apartado de Cálculos de esta memoria.

En primer lugar el potenciómetro necesita una tensión de entrada, por lo que se conectará a un generador de tensión que proporcionará una tensión de salida de 12V. Éste valor de tensión permitirá que el potenciómetro multivuelta genere a la salida valores entre los +6,25V y los -6,25V requeridos para la simulación.

Una vez generada una tensión de salida en el potenciómetro, ésta tiene que ser adquirida por la tarjeta de adquisición de datos, y para ello se conecta la pata de salida del potenciómetro al pin 68 del bloque conector, que corresponde a la entrada analógica del canal 0 (AI0), además de esto, se conecta la salida de tierra del generador de tensión al pin número 32, el cual corresponde a la toma de tierra de las entradas analógicas (AIGND).

Una vez conectado, se puede comprobar en el apartado de configuración y test de MAX que los valores de la señal adquirida se corresponden con lo que debe mostrarse. A continuación se desarrollará mediante LabVIEW un sistema para la monitorización de dicha señal.

Para la representación de la señal de entrada se utilizará en LabVIEW la función de adquisición tradicional *AI Continuous Read.vi*. Concretada para una frecuencia de muestreo de 100 Hz.

La visualización de la señal de entrada en función del tiempo se realizará con una aplicación que, tras adquirir esta señal y descomponerla en sus valores de amplitud y diferencial de tiempo, tomará el primero de ellos, que es el correspondiente al voltaje y le aplicará la sensibilidad de 250mv/mm.

Al realizar la primera adquisición se comprobó que la señal se adquiere con demasiado, por lo que aplicará un filtro Butterworth de tipo pasa bajo de 6º orden configurado para una frecuencia de muestreo de 100 Hz y con un corte inferior de frecuencia de 4 Hz como se indica en el apartado de filtrado explicado con anterioridad.

Una vez convertidos los valores de voltaje en valores de distancia, éstos se conformarán de nuevo en un vector que al aplicarle de nuevo el diferencial de tiempo obtenido en la descomposición anterior permitirán una representación detallada del avance de la distancia en función del tiempo.

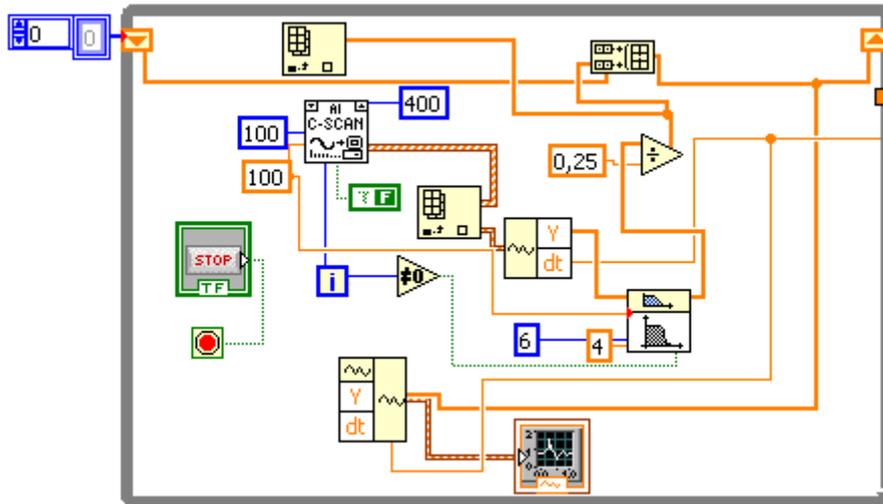


Figura 3.25: Diagrama de bloques de la aplicación

Este diagrama de bloques tiene asociado un panel frontal en el que se muestra la representación de la señal de entrada filtrada y convertida a valores de distancia en milímetros.

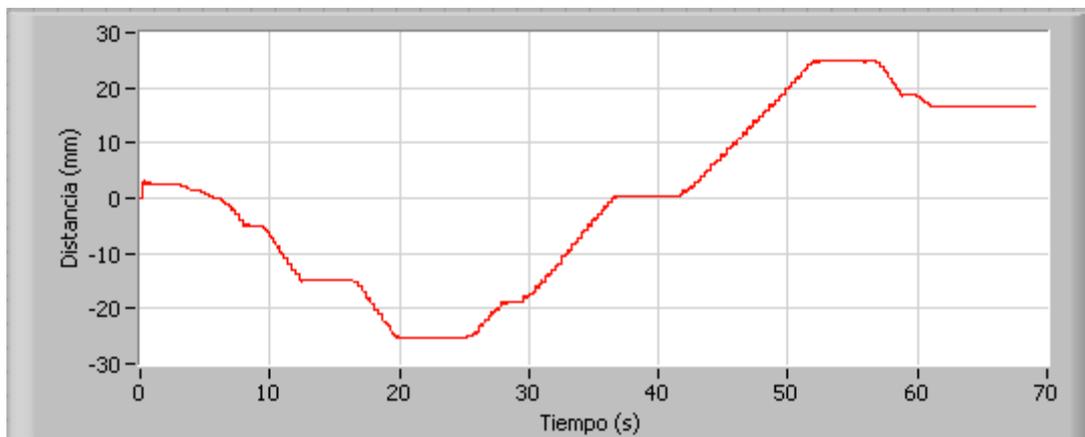


Figura 3.26: Panel frontal con visualización de valores de distancia.

3.2. Subsistema 2: análisis, almacenamiento de datos y control de procesos.

Este subsistema consta del proceso de análisis y tratamiento de la señal previamente adquirida con la tarjeta DAQ y el cálculo y la monitorización de algunos de los indicadores básicos relacionados con el entorno industrial.

Este análisis y el desarrollo de las interfaces de monitorización se realizarán mediante LabVIEW y, debido a que la señal de entrada proviene de un sensor cuya magnitud de medida es la distancia, los indicadores básicos que se estudiarán en detalle serán la velocidad y la aceleración.

Además del análisis y monitorización de datos, LabVIEW permite la creación de sistemas para el control de procesos. Éste es un apartado no especificado en los objetivos iniciales, pero en un entorno industrial, como el que engloba a este proyecto, es posible que el futuro cliente pueda solicitar el desarrollo de algún módulo de control, por lo que es de gran interés demostrar la flexibilidad del sistema en este campo, puesto que ha sido uno de los motivos principales por lo que se ha elegido este software y no otro para el desarrollo.

Por último, se verá cómo se pueden almacenar los datos obtenidos en archivos de una extensión diferente a la extensión propia de LabVIEW, concretamente hojas de cálculo de Excel, para poder disponer de estos datos fuera del entorno de LabVIEW. Esto también permite que los datos sean de nuevo recuperados mediante una VI y ser de nuevo utilizados.

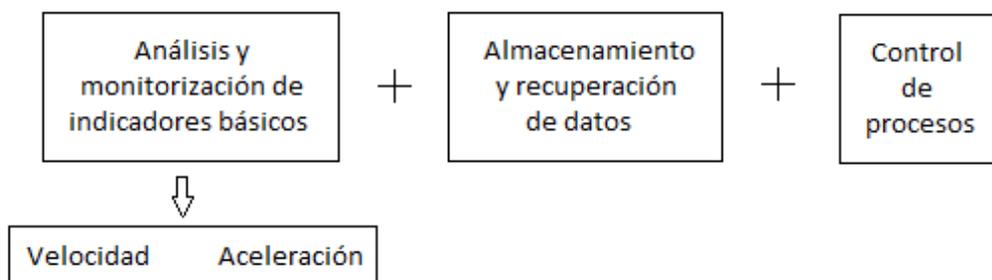


Figura 3.27: División en subpartados del subsistema 2

3.2.1. Análisis y monitorización de indicadores básicos.

Una vez mostrada por pantalla la señal de entrada convertida de voltaje a distancia aplicándole la sensibilidad de 250 mV/mm, se analizará esta señal para obtener algunos de los indicadores básicos referidos al entorno industrial.

En primer lugar se realizará un sistema que, mediante diferentes Vis calculará, la velocidad de avance del sensor utilizando como base las medidas de distancia que se van tomando a partir del *AI continuous Read.vi*.

Se parte del sistema elaborado para la visualización de la distancia, pero en esta ocasión, el vector de distancia se introduce en un bucle *for*. Dentro de este bucle, el vector de distancia se descompone para que, con la ayuda de un *shift register*, se pueda calcular la velocidad correspondiente en cada iteración.

Una vez calculados los valores de velocidad, éstos se vuelven a vectorizar y, tras aplicar el correspondiente diferencial de tiempo, tomado de la descomposición anterior, se puede representar el avance de la velocidad con respecto al tiempo.

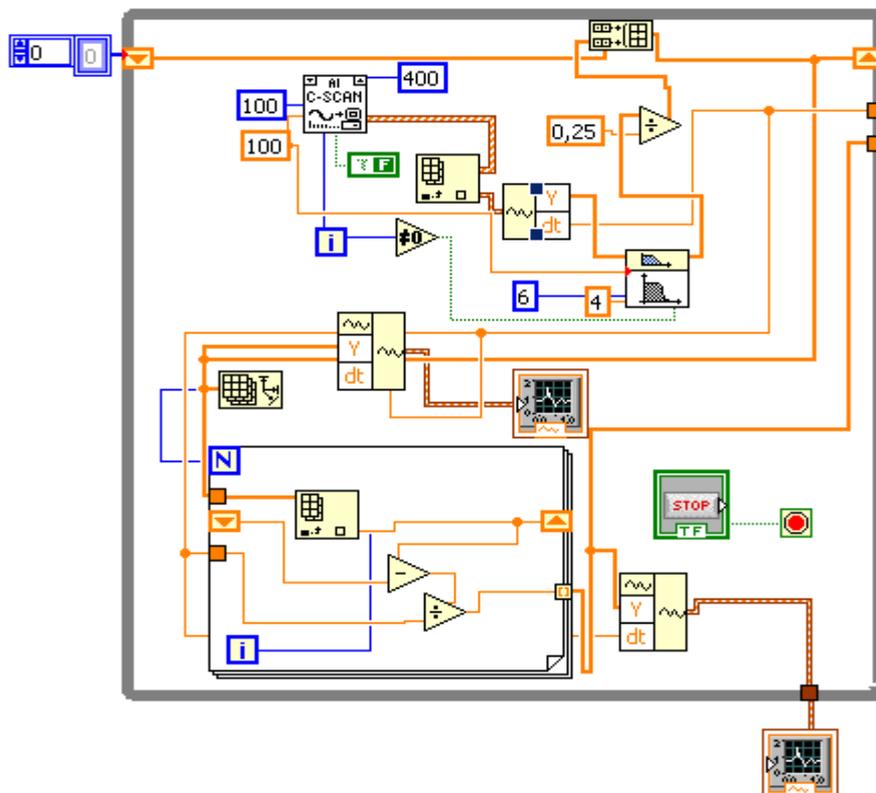


Figura 3.28: Diagrama de bloques del sistema para visualización de velocidad

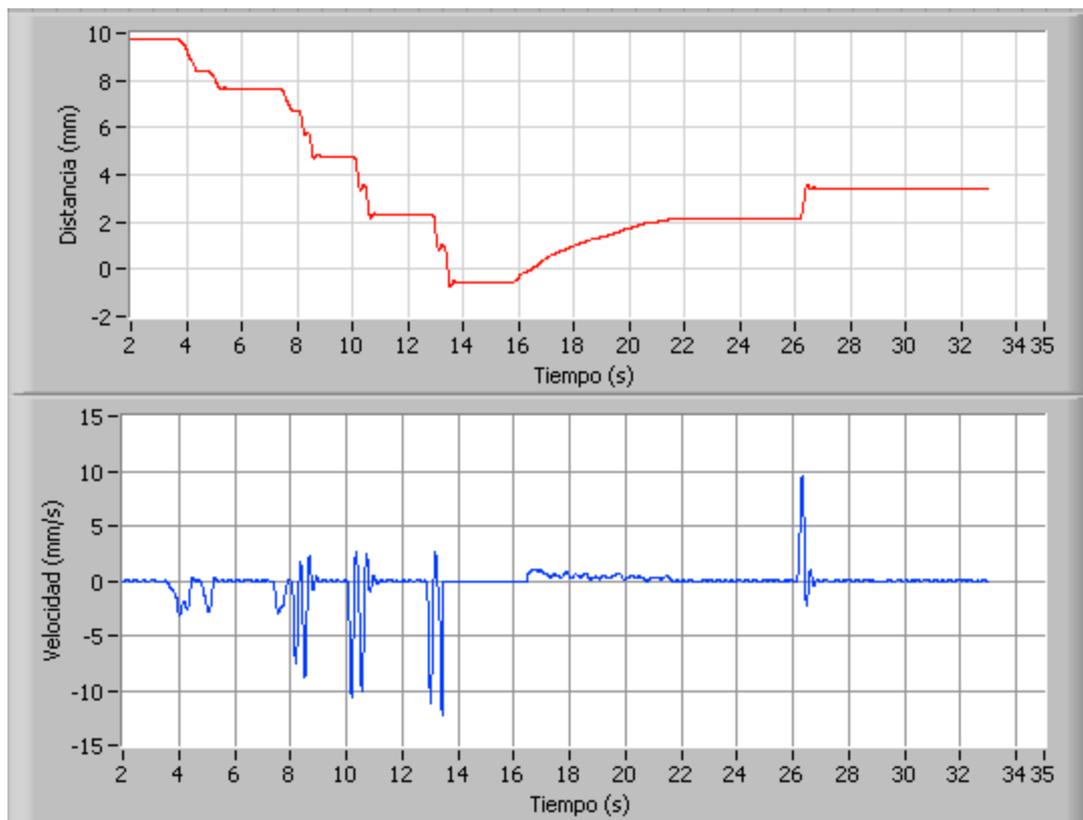


Figura 3.29: representación gráfica de distancia y velocidad

Además de la velocidad, se pueden mostrar otros indicadores básicos. En este caso se añadirá la aceleración. Ésta se hallará de una manera similar a la velocidad, utilizando, de nuevo, el *shift register* para conseguir tras cada iteración la diferencia de velocidad y posteriormente conseguir el valor de la aceleración con el diferencial de tiempo.

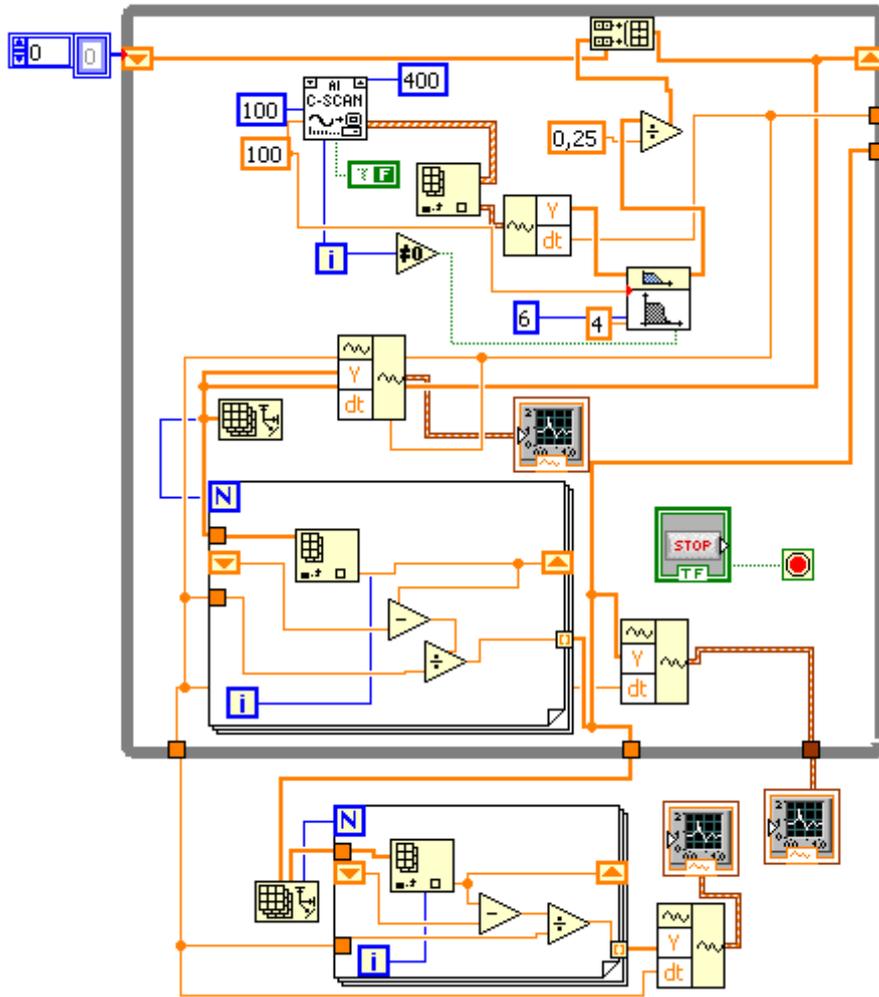


Figura 3.30: Diagrama de bloques para la visualización de velocidad y aceleración

Los valores de distancia se muestran en la gráfica de manera instantánea, por el contrario, la representación de las otras dos magnitudes requiere que se accione el pulsador de STOP que detiene la ejecución del bucle *while* de adquisición de valores.

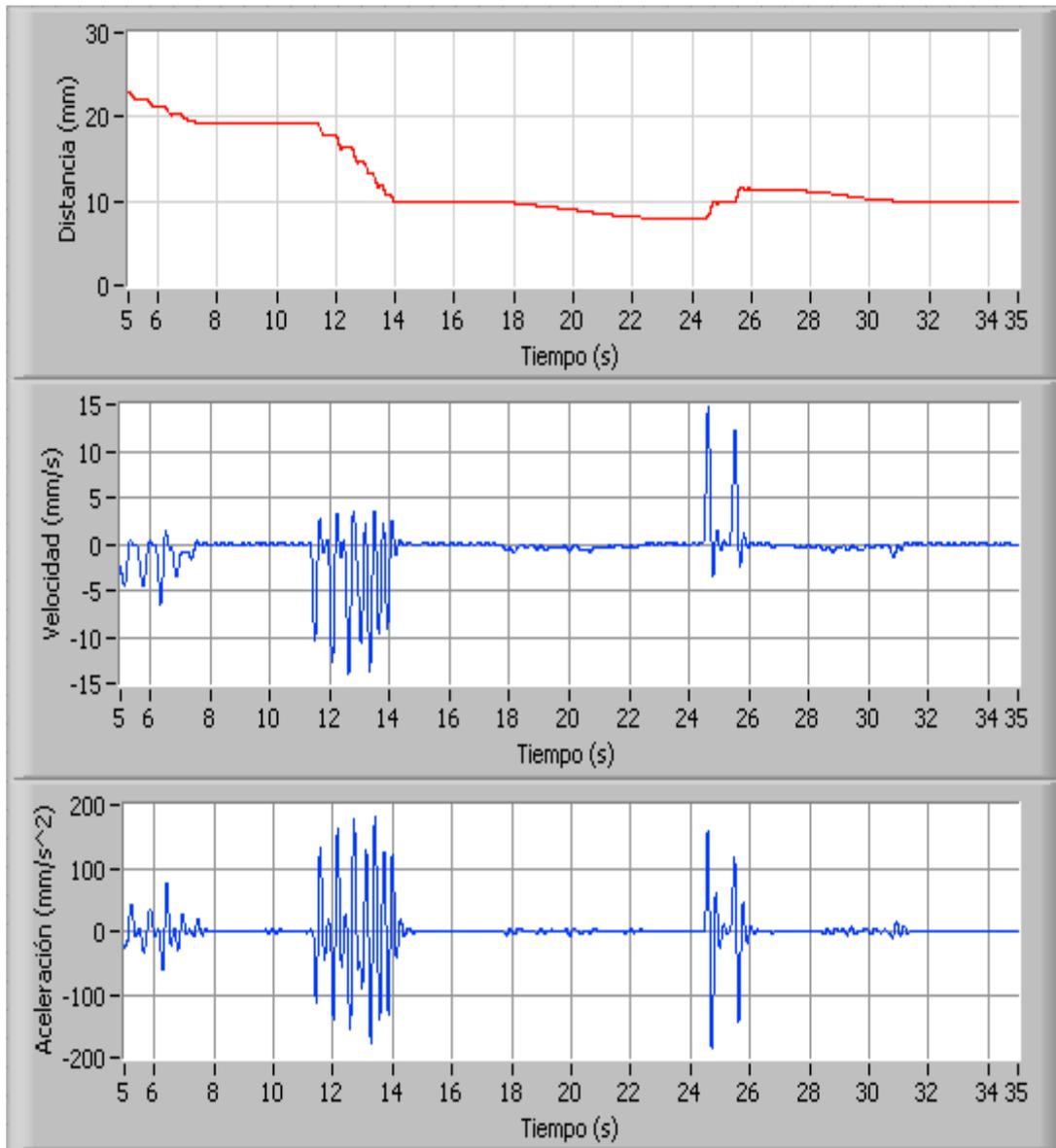


Figura 3.31: Panel frontal para visualización de velocidad y aceleración.

Se puede comprobar como ante descensos suaves de la distancia la velocidad adquiere valores de bajo valor en módulo, mientras que en puntos como los que se encuentran entre los segundos 12 y 14 el descenso pronunciado provoca unos valores de velocidad mucho más elevados. Además en los puntos situados entre los segundos 24 y 26 se producen 2 variaciones en forma de escalón, que son los que entregarán los valores de velocidad y de aceleración más elevados

3.2.2. Otras funciones en LabVIEW

LabVIEW es un sistema de representación gráfico que además de permitir la visualización de los datos adquiridos y procesados, permite la elaboración de diagramas de bloques para el control de procesos, la generación de señales de salida o el almacenaje de los datos adquiridos en archivos de otro formato entre otras funciones, y su posterior recuperación.

A continuación se expondrán unos sencillos ejemplos de algunos de estos sistemas, principalmente de las que más puedan estar relacionadas con el uso industrial de los sensores LVDT para la medida de distancia.

Se trabajarán los sistemas relacionados con el control de procesos y posteriormente, los relacionados con el almacenaje y recuperación de datos.

Para estas otras funciones de LabVIEW, cambiaremos el modo de adquirir la señal. Anteriormente se adquiría esta señal mediante la función *AI continuous Read.vi*, perteneciente a las funciones de traditional DAQ. Por el contrario, en los próximos ejemplos, con el fin de utilizar ambos métodos de adquisición, se utilizará la función de DAQmx, *DAQmx Read.vi*, cuyo uso y configuración vienen explicados en esta memoria en el apartado 3.1.5.

Como se comprobará en el apartado de resultados, este tipo de adquisición es mucho menos fiable que la continua, ya que requerirá de bucles de tiempo, que al utilizar temporizadores del PC y no de la tarjeta DAQ entregan valores menos precisos. Aun así, se utilizará con el fin de ver diferentes actuaciones en los diagramas de bloques.

3.2.2.1. Control de procesos

En primer lugar se tratan sistemas referidos al control de procesos.

Los sensores LVDT de distancia tienen como principales aplicaciones la medida en máquinas de ensayos, la función de palpadores para metrología o la medida de desplazamientos en ingeniería entre otras cosas, por lo que es muy importante el valor de la distancia sirva como controlador para el funcionamiento de un determinado proceso.

En este caso se crea un sistema que a partir de la adquisición de la medida de distancia active o desactive un motor, en función de unos valores mínimo y máximo, y permitiendo, además, que el usuario decida que el motor se apague automáticamente o no en función de este rango.

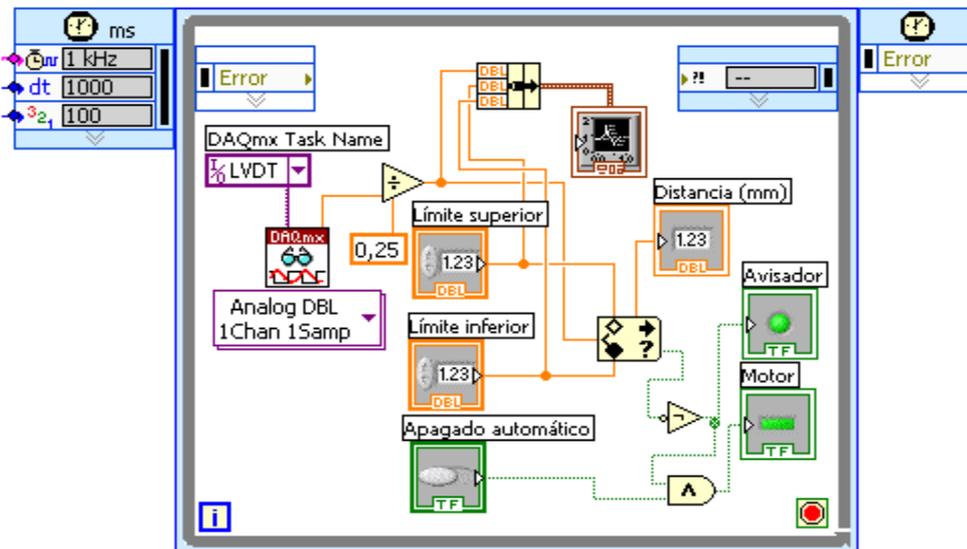


Figura 3.32: Diagrama de bloques del sistema para control de motor

En este sistema se podrá indicar qué valores máximo y mínimo quiere para que este proceso siga funcionando. Una vez el valor de la distancia esté fuera del rango exigido, un led con el nombre de *indicador* se activará para reflejar que la medida está fuera de los valores requeridos. En el caso del sistema final, estos valores podrán ser seleccionados por parte del usuario mediante unos controles

Además, el usuario podrá activar o desactivar el control *Apagado automático* con el fin de que el motor, que está conectado a la salida de este proceso, se detenga en el instante en el que se empieza a salir del rango establecido. En este caso, al no tener ningún motor conectado a la salida de la tarjeta de datos, este motor estará representado mediante un led que será verde cuando el motor simule estar en marcha y rojo cuando simule encontrarse apagado.

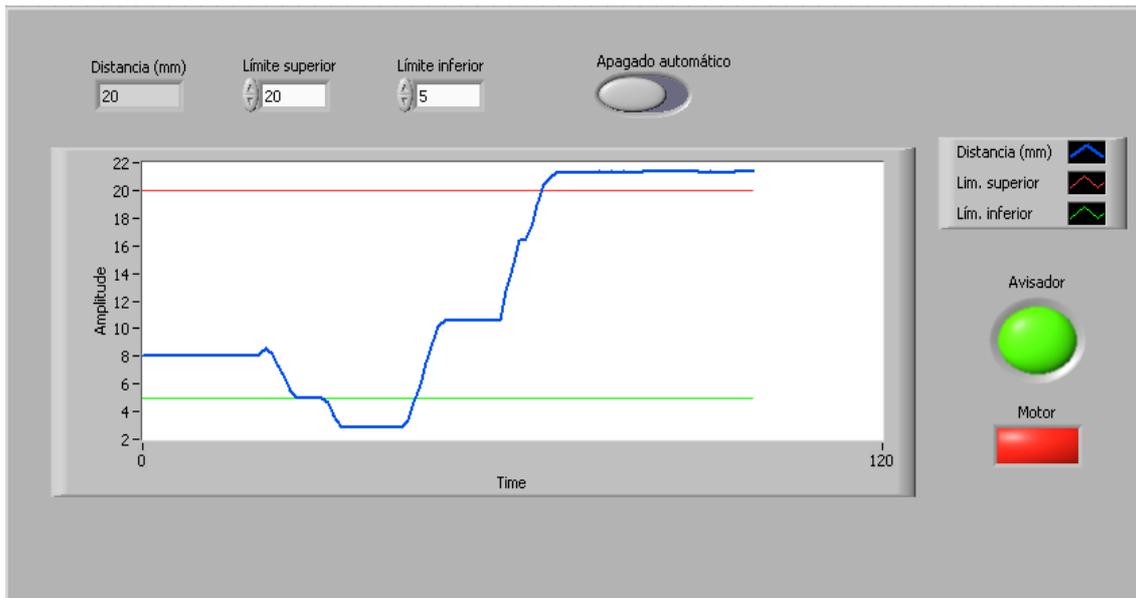


Figura 3.33: Panel frontal para el control del motor

Es importante indicar que el mecanismo utilizado para controlar la magnitud de distancia sería el mismo que se usaría en caso de querer controlar otra de las variables, ya sea la velocidad o la aceleración. Esto podría ser importante puesto que muchos procesos relacionados con la ingeniería y la industria tienen limitaciones respecto a valores de velocidad o aceleración, que en caso de encontrarse fuera de unos determinados rangos, implicarían un fallo en el correcto desarrollo, lo que acaba significando un aumento de costes

3.2.2.2. Almacenaje y recuperación de datos

Otra posible función que se puede lograr con LabVIEW es el almacenamiento de datos en archivos con formato diferente a LabVIEW, para ejemplificarlo, se creará un sistema en el que el usuario sea capaz de guardar los datos que considere oportunos en una hoja de cálculo de Excel.

Partiendo de un sistema de monitorización de velocidad aceleración desarrollado utilizando el método de adquisición de muestras sencillas, se añadirán unos vectores que mostrarán por pantalla los valores instantáneos adquiridos y calculados en el proceso de captación de la señal. Éstos sirven para mostrar tantos

valores instantáneos de cada magnitud como muestras tome el bucle de tiempo (*Timed Loop*).

Para que sea posible guardar estos datos se utilizará la función *Write to Spreadsheet File.vi* del menú *Programming* → *File I/O*. Esta vi permite que una vez se pare la ejecución de un sistema, aparezca una ventana que permita elegir el nombre y el tipo de documento en el que guardar los datos de salida que estén conectados a ella.

Cada una de las magnitudes estudiadas va asociada a un determinado vector y estos vectores, a su vez, asociados cada uno a una acción de guardado. De esta manera, cada vez que se detenga el bucle de adquisición, mediante el pulsador de Stop, los valores muestreados aparecerán mostrados en los vectores y se permitirá el almacenaje de estos valores en vectores de tamaño n , siendo n el número de muestras adquiridas, en archivos de la extensión que se desee.

La VI *Write on Spreadsheet File.vi* permite el almacenaje en matrices de las dimensiones que se deseen, más allá de vectores de una única fila como este ejemplo, y ese será el caso de la solución final que permite el almacenaje de las variables de distancia y velocidad en una única matriz de dimensiones $2 \times n$, siendo, de nuevo, n el número de muestras adquiridas.

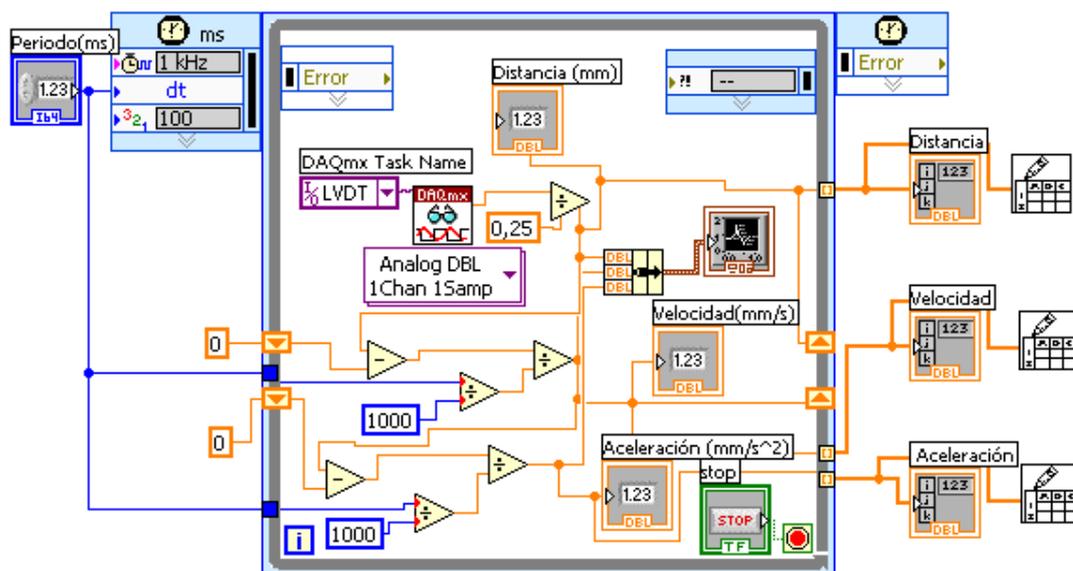


Figura 3.34: Diagrama de bloques del sistema de almacenamiento de datos

En la imagen anterior se muestra el diagrama de bloques del sistema mencionado en el que se posibilita la visualización de los valores en vectores y su posterior almacenaje en archivos de escritura, en este caso Excel, mientras que la siguiente imagen muestra su panel frontal asociado.

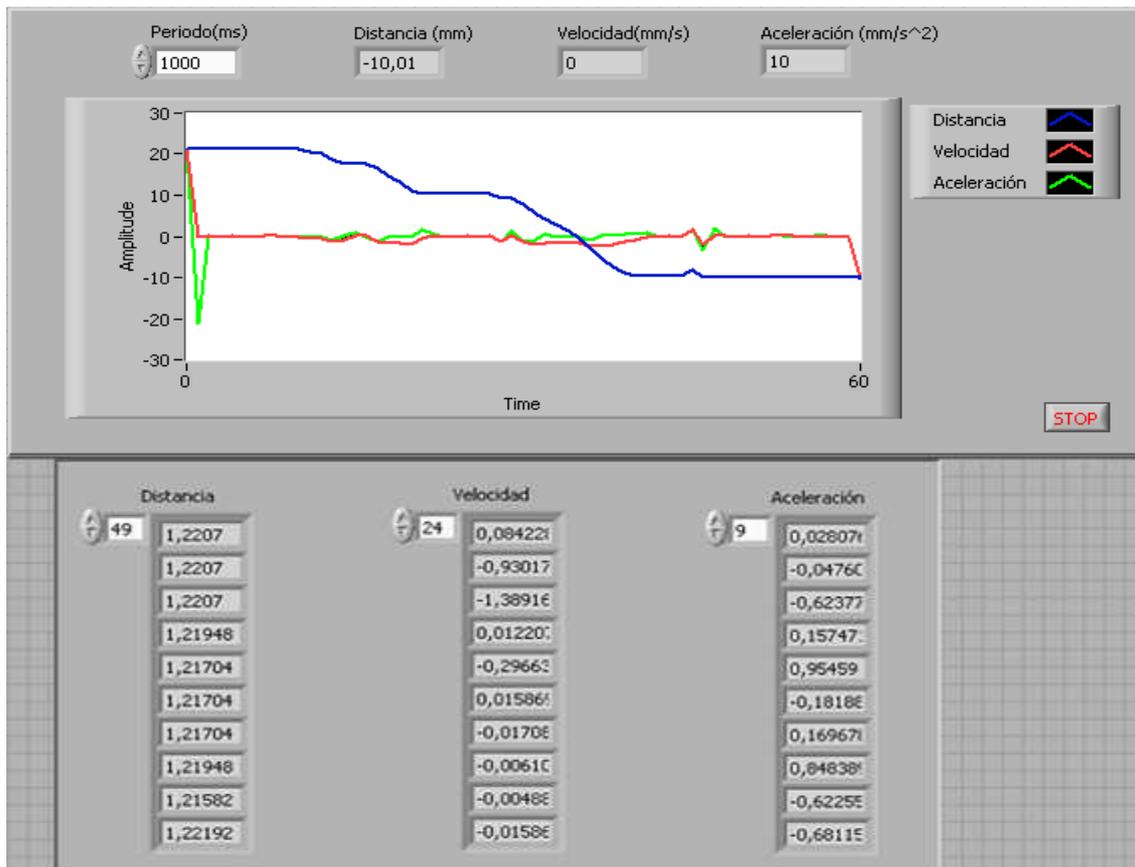


Figura 3.35: panel frontal del sistema de almacenaje de datos

En este panel frontal vemos 3 vectores, uno para cada una de las magnitudes representadas. Puesto que el tamaño de las interfaces es limitado, no se pueden tomar vectores de muchos valores. Por tanto, puesto que el número de muestras tomadas es mucho mayor al de los vectores que generalmente se pueden incluir en las interfaces, éstos tienen la opción de mostrar valores recopilados con anterioridad a los que se muestran por pantalla.

El número de datos que aparecen por cada una de las magnitudes es 10, pero esto no implica que sólo se estén registrando 10 valores. El número que aparece en la parte superior izquierda del vector indica a partir de qué muestra se están enseñando los datos, es decir, para distancia se observan los valores de las muestras 49 a 58, para velocidad de la 24 a la 33 y para la aceleración de la 9 a la 18.

Estos vectores son para la visualización por pantalla pero para el almacenaje de datos no son necesarios. Una vez se pulsa el botón de STOP, en la esquina inferior derecha de la gráfica, el programa termina de tomar muestras y posibilita automáticamente la opción de guardar los datos correspondientes a todas esas medidas. Para ello aparecerá una ventana con la opción de *Choose file to write* en la que se introducirá el nombre del archivo y su extensión, en este caso, para obtener una hoja de cálculo de Excel será *.xls*.

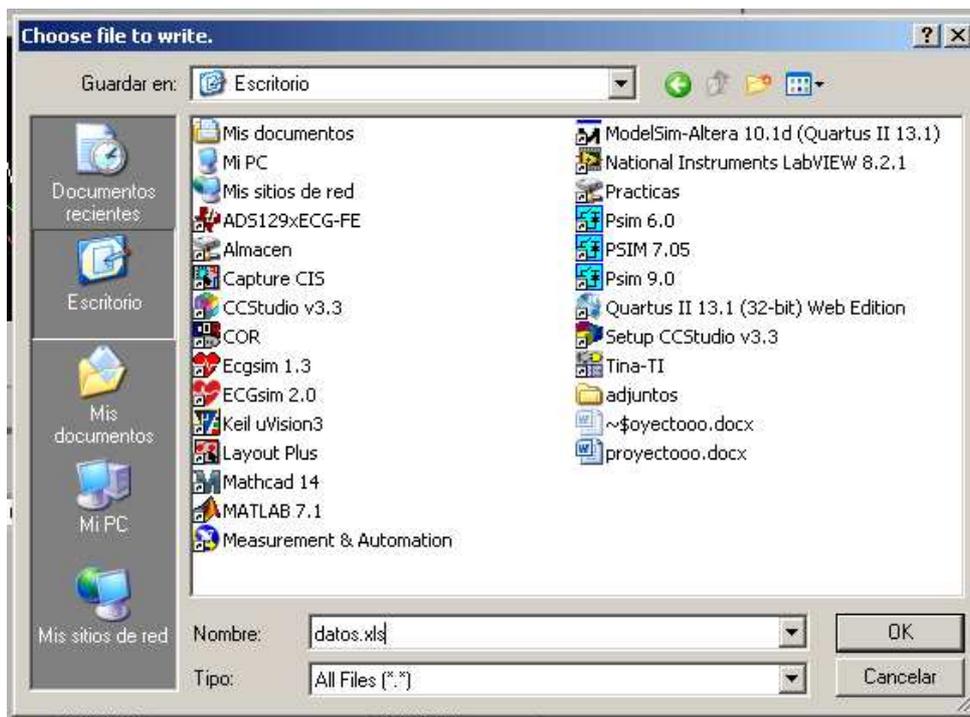


Figura 3.36: Ventana para guardar archivos

Una vez guardados estos datos en un fichero, éste podrá ser de nuevo volcado sobre LabVIEW para seguir trabajando con dichos valores. Para ello, de nuevo en la paleta de funciones *Programming* → *File I/O*, encontramos *Read from Spreadsheet*

File.vi, la cual realiza el proceso inverso a la función anteriormente utilizada para guardar los datos.

Al contrario que en la función de guardar, para la lectura se exige indicar el nombre del archivo y su localización en el PC con anterioridad a ejecutar el programa, y ésto se realiza mediante un controlador alfabético.

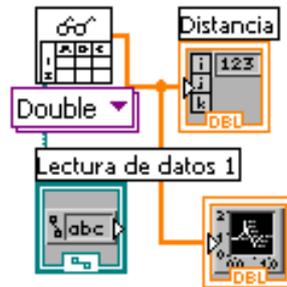


Figura 3.37: Diagrama de bloques de subsistema para recuperación de datos.

El subsistema que se muestra en la figura 3.30 muestra una manera sencilla de cómo volcar datos anteriormente almacenados de nuevo a LabVIEW, y de cómo pueden mostrarse los valores recuperados en un vector o ser representados en una gráfica que muestre la distancia en función del tiempo.

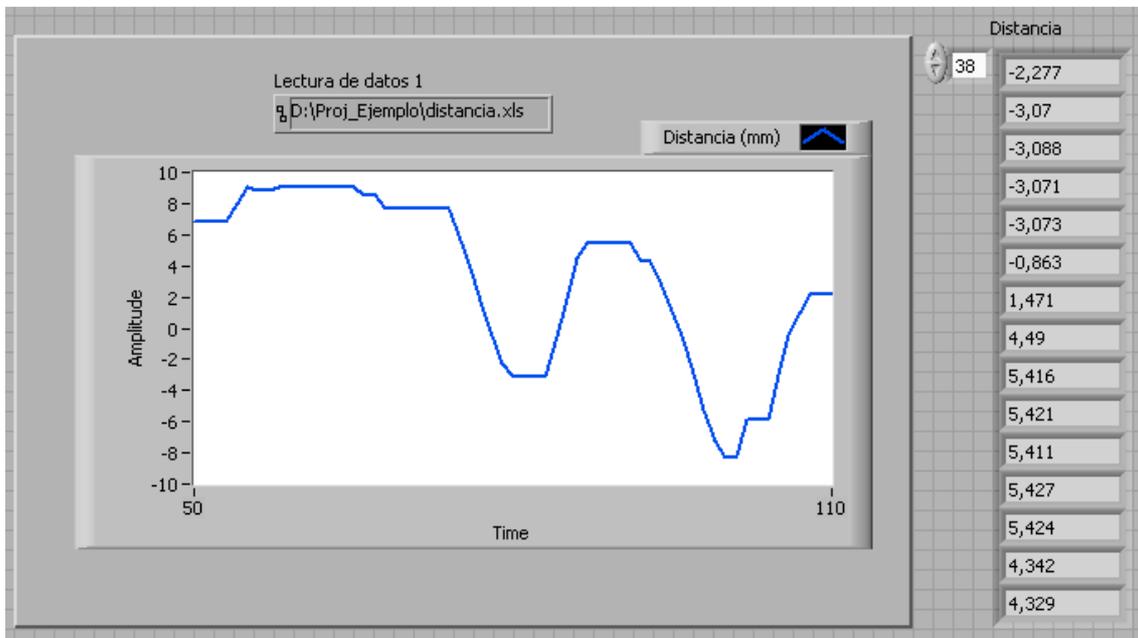


Figura 3.38: Panel frontal para el sistema de recuperación de datos.

3.3. Instrumento virtual final

Como parte final del desarrollo de este proyecto se ha desarrollado el sistema final con su correspondiente panel frontal que será el que utilizará el cliente para cumplir los objetivos de adquirir, visualizar y tratar las señales provenientes de sensores basados en LVDT para la medida de distancia

En el proceso de elaboración de este sistema se han utilizado las funciones, aplicaciones e instrumentos virtuales que han ido explicándose en el desarrollo de la estructura de este proyecto, anexionadas todas ellas de forma que permiten un funcionamiento correcto además de una interfaz clara y de sencillo uso para el usuario que interactuará con ella.

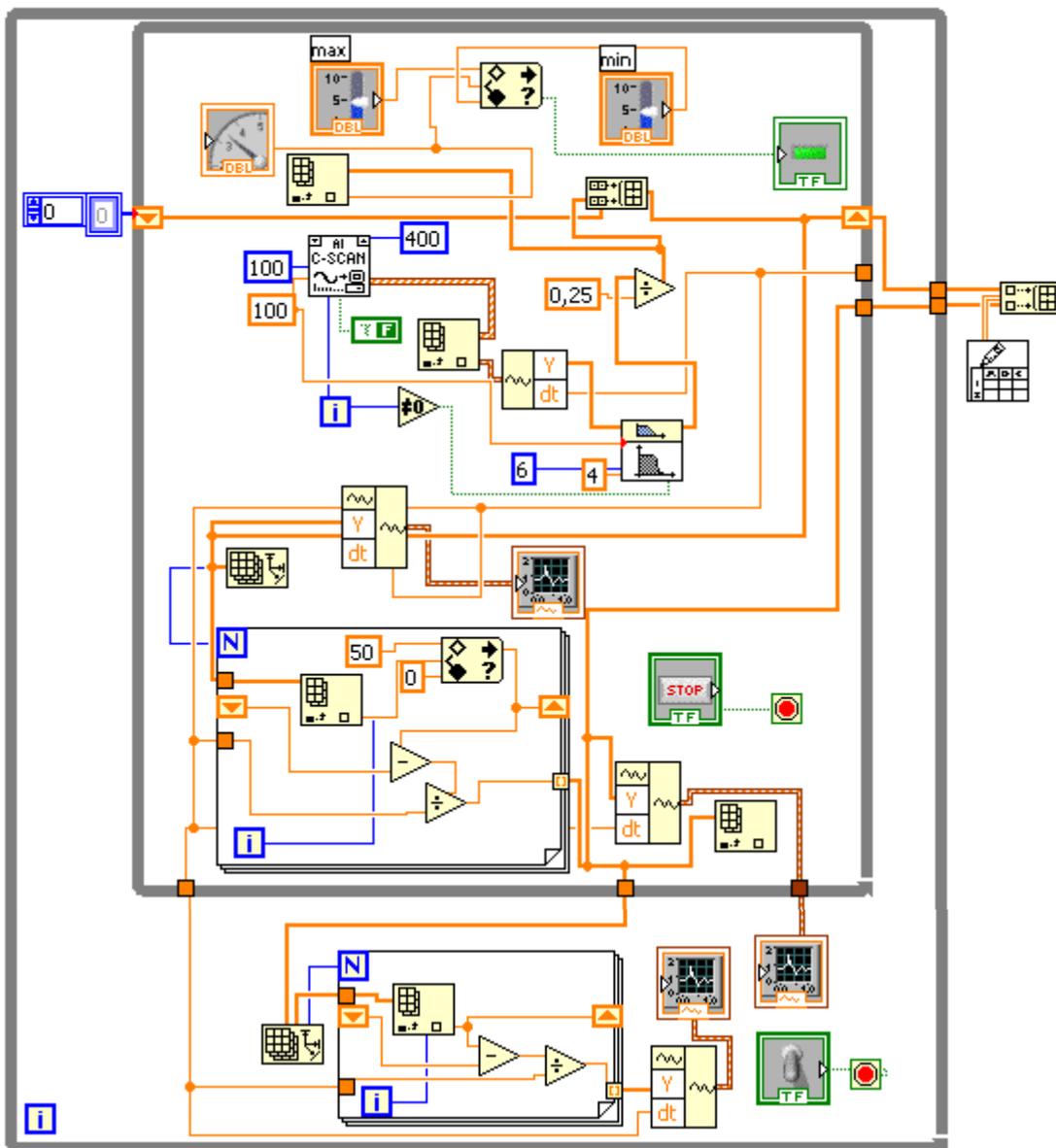


Figura 3.39: Diagrama de bloques del sistema solución.

Este diagrama de bloques conforma el sistema final y tendrá asociado el siguiente panel frontal, que es la parte que conforma el objetivo principal del proyecto que se ha desarrollado

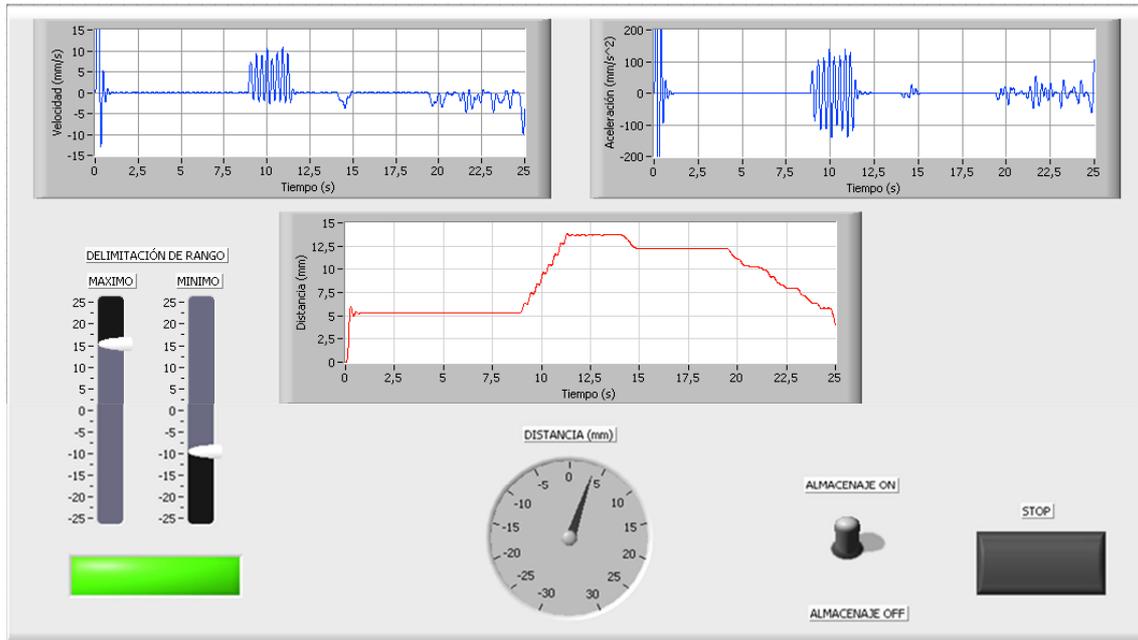


Figura 3.40: Panel frontal del sistema solución.

Ésta interfaz permite al usuario realizar todas las visualizaciones y mediciones que ha requerido este proceso además del almacenaje de datos cuando así lo precise.

Para el correcto manejo de esta interfaz por parte del usuario, se adjunta en el anexo un manual que incluye todas las instrucciones de uso.

4. Normativa y requerimientos:

La finalidad de este apartado es regular la ejecución del proyecto recogiendo los aspectos legales y de seguridad referentes al mismo y fijando las condiciones que regirán su ejecución.

Cada uno de los componentes de este proyecto tendrá unas condiciones específicas, por tanto se diferenciará para cada uno de ellos.

La tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014 debe cumplir los siguientes estándares para seguridad y medida de control y uso en laboratorio de equipos eléctricos:

- **IEC 61010-1, EN 61010-1**
- **UL 61010-1**
- **CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1**

Respecto al bloque conector NI CB-68LP, éste cumple con la norma **RoHS directive 2011/65/EU**, la cual regula en los estados miembros de la UE el uso de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos.

Por último, indicar que los requerimientos de los cuales deberá disponer un PC para soportar la instalación de LabVIEW 8.2 son, para el caso concreto de tener instalado el sistema operativo Windows, las siguientes:

- Procesador Pentium 4/M o equivalente
- 1GB de memoria RAM
- Resolución de pantalla de 1024 x 768 píxeles
- Sistema operativo:
 - Windows 8.1/8/7/Vista (32 bits y 64 bits)
 - Windows XP SP3 (32 bits)
 - Windows Server 2003 R2 (32 bits)
 - Windows Server 2008 R2 (64 bits)
- 3,5 GB de espacio en disco

5. Resultados y ensayos.

A lo largo de este proyecto se ha desarrollado el proceso de captación de una señal proveniente de un sensor LVDT para la medida de distancia, con el fin de poderla visualizar y analizar, además de poder procesar los datos que ésta contiene.

Para ello, tras haber sido instalado y configurado todo el hardware necesario para la adquisición, se ha ido desarrollando, mediante el software de programación gráfico LabVIEW, un sistema a partir de instrumentación virtual, capaz de adquirir, mostrar y procesar los datos de esta señal.

Este sistema contará con una interfaz en el denominado panel frontal, que permitirá al usuario visualizar la señal que está siendo adquirida, además de permitirle, de una manera muy sencilla, analizar indicadores básicos del entorno industrial relacionados con la magnitud sensorizada y almacenar los datos obtenidos.

5.1. Resultados

En el último apartado del desarrollo se muestra el sistema final que se ha diseñado para cumplir con los objetivos requeridos en este proyecto.

Con el fin de comprender con más claridad cómo funciona este instrumento virtual, en primer lugar se explicará cada pequeño subsistema que se ha incorporado al sistema final, haciendo referencia tanto al diagrama de bloques como al panel frontal.

Una vez quede desarrollado el funcionamiento de este instrumento virtual, se procederá a realizar una serie de ensayos en las que se plantearán unos casos, como ejemplo, relacionados con el entorno industrial, con el fin de comprobar que, efectivamente, el sistema cumple las condiciones que se le requieren.

5.1.1. Instrumento Virtual solución.

Con el objetivo de que se conozca el funcionamiento del instrumento virtual final se indicará cual es la función específica de cada subsistema del diagrama de bloques de la solución final y su correlación directa con el panel frontal, el cual servirá de interfaz de interacción con el usuario.

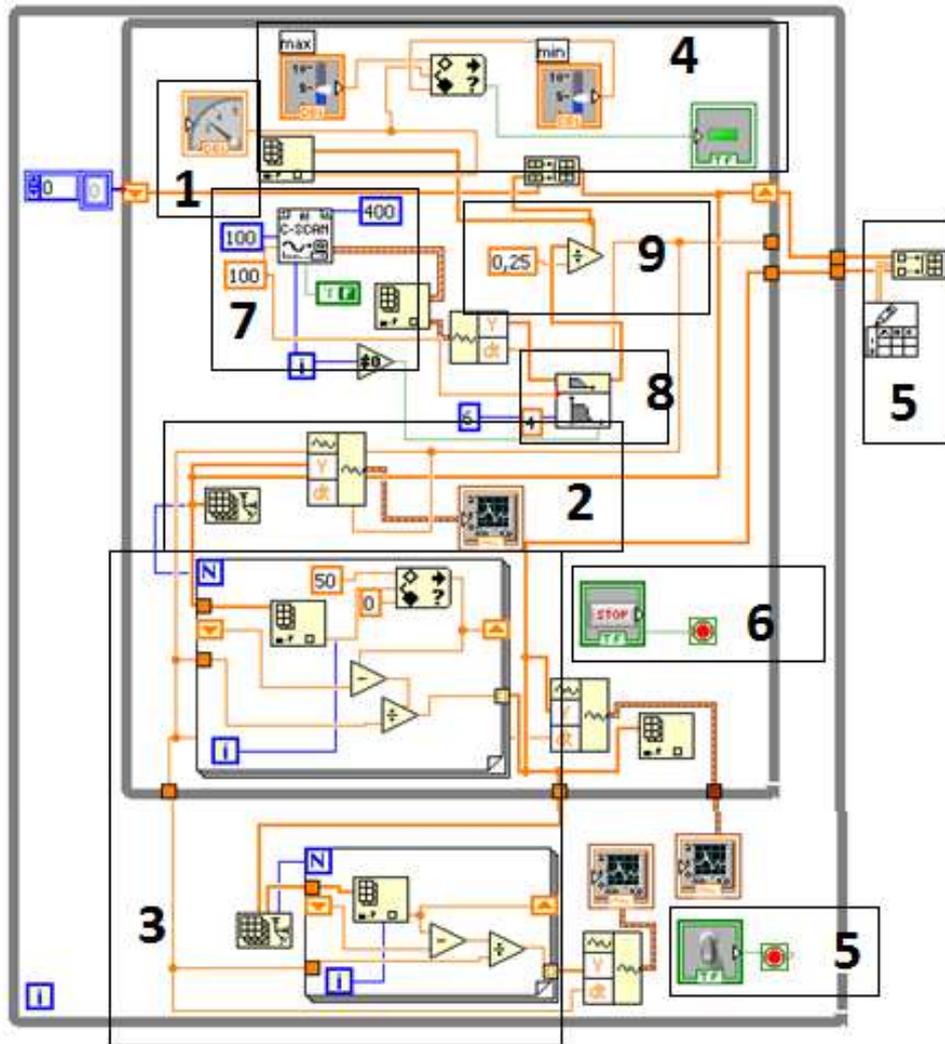


Figura 5.1: Numeración por subsistemas del diagrama de bloques

Con el objetivo de que se exprese el mecanismo de uso de cada subsistema con la mayor claridad posible, y con el fin de no repetir información, se empleará una numeración asociada entre diagrama de bloques y panel frontal.

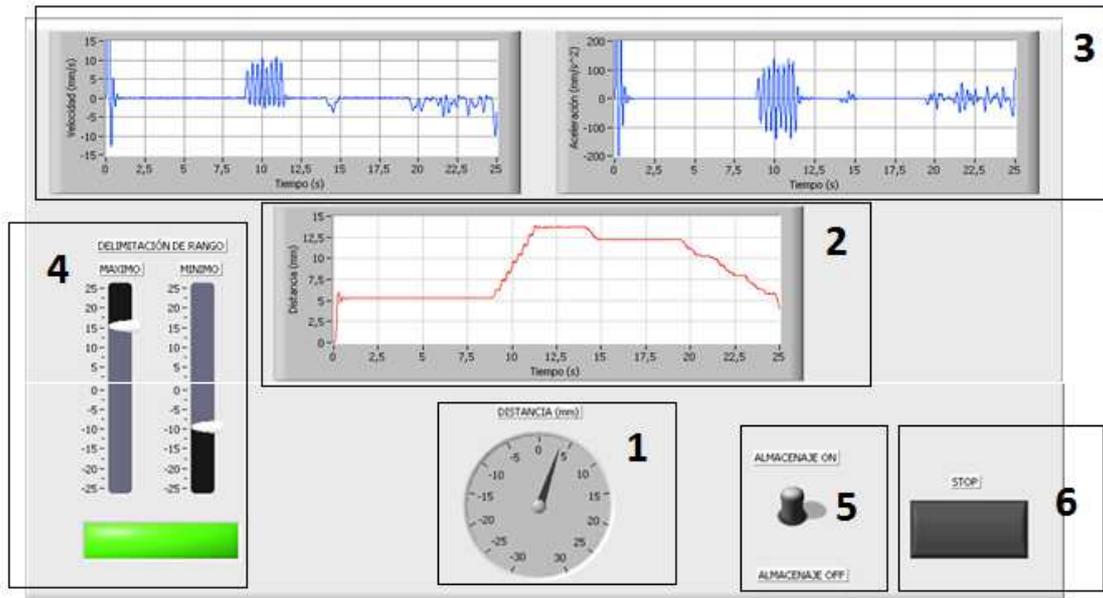


Figura 5.2: Numeración por subfunciones del panel frontal

A continuación se detallarán los elementos anteriormente numerados:

1. Este subsistema corresponde a la representación del valor instantáneo de la distancia ejecutada mediante un indicador de tipo *Knob*.
2. Gráfica de representación de distancia. Se encarga de representar los valores de distancia que han sido adquiridos, en función el tiempo, utilizando una *Waveform Graph*. Esta gráfica representa constantemente los valores de distancia siempre que el programa se encuentre en ejecución.
3. Al igual que en el caso de la distancia, se utilizan *Waveform Graphs* para la representación, en este caso, de los valores de velocidad y aceleración. Al encontrarse los medios de representación fuera del bucle *while* de adquisición, es necesario activar una vez el pulsador de Stop (elemento 6) para que se produzca una representación.
4. Este subsistema permite que el usuario delimite un rango determinado mediante dos controladores de barra vertical. Se le ha asociado un indicador de tipo Booleano que se encontrará de color

verde cuando el valor de distancia se halle dentro de los valores del rango seleccionado y será rojo en caso contrario.

5. Se trata de un controlador Booleano relacionado directamente con el almacenaje. Cuando éste se encuentra activado(pulsador hacia arriba) la parada del sistema mediante el botón de Stop (elemento 6) permite que el usuario pueda almacenar los datos de velocidad y de distancia que se han ido recabando. En caso contrario, esta opción permanecerá inactiva.
6. Pulsador de Stop, no tiene una función directa, pero como se ha visto en la definición de los elementos anteriores, se encarga de proporcionar al usuario la capacidad de decisión de cuando realizar cada una de las funciones que están relacionadas a este pulsador.
7. El subsistema 7 no se encuentra como tal en el panel frontal, pero es la base de todo este sistema, pues es el encargado de la captación de la señal proveniente del sensor. Se trata de la función *AI Continuous Scan.vi* que se encarga de adquirir una señal continua con unos valores determinados, en este caso una frecuencia de muestreo de 100 Hz para captar 100 muestras en cada adquisición, las cuales serán almacenadas en un buffer de tamaño 400 muestras.
8. Este subsistema es la etapa de filtrado, se encarga de eliminar el ruido que acompaña a los valores adquiridos en la señal. Se emplea un filtro Butterworth de tipo pasa bajo de orden 6 y aplicándole un corte inferior de frecuencia de 4 Hz.
9. La etapa que se muestra consta de un divisor aplicado consecutivamente a la adquisición, ésta se encarga de aplicar la sensibilidad de 250 mv/mm que tiene como especificación el sensor del que se está adquiriendo la señal.

5.2. Ensayos

Con el fin de probar el buen funcionamiento del instrumento virtual desarrollado, se realizarán unos ensayos que simulen comportamientos que pueden darse en situaciones reales de un entorno industrial.

Ensayo 1: Aviso por superación del máximo.

Con el fin de comprobar que el sistema de delimitación programable de rangos y su correspondiente indicador funcionan, se ha situado el valor máximo admisible en 10 mm y el indicador de rango como correcto, puesto que se ha partido de un valor de 0 mm.

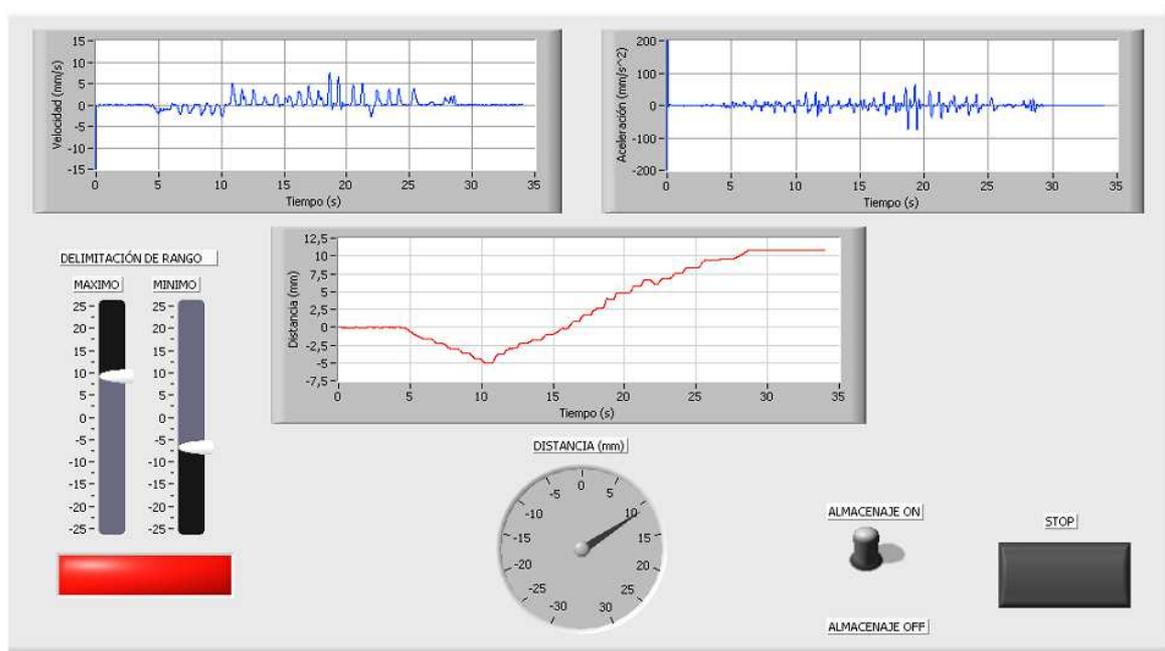


Figura 5.3: Prueba de superación de valor máximo

Se comprueba como, una vez el valor de la distancia ha superado el valor máximo admisible de 10 mm, el indicador booleano que se encontraba en color verde ha cambiado a rojo, indicando que se ha superado el rango impuesto.

Ensayo 2: Comprobación del rango de amplitud.

En las especificaciones del sensor basado en LVDT que se ha implementado se indicaba que éste tenía un rango de medida de distancia de ± 25 mm, con el fin de comprobar si estos valores son correctos, se ha llevado a ambos extremos el sistema de medida y se han visualizado los valores.

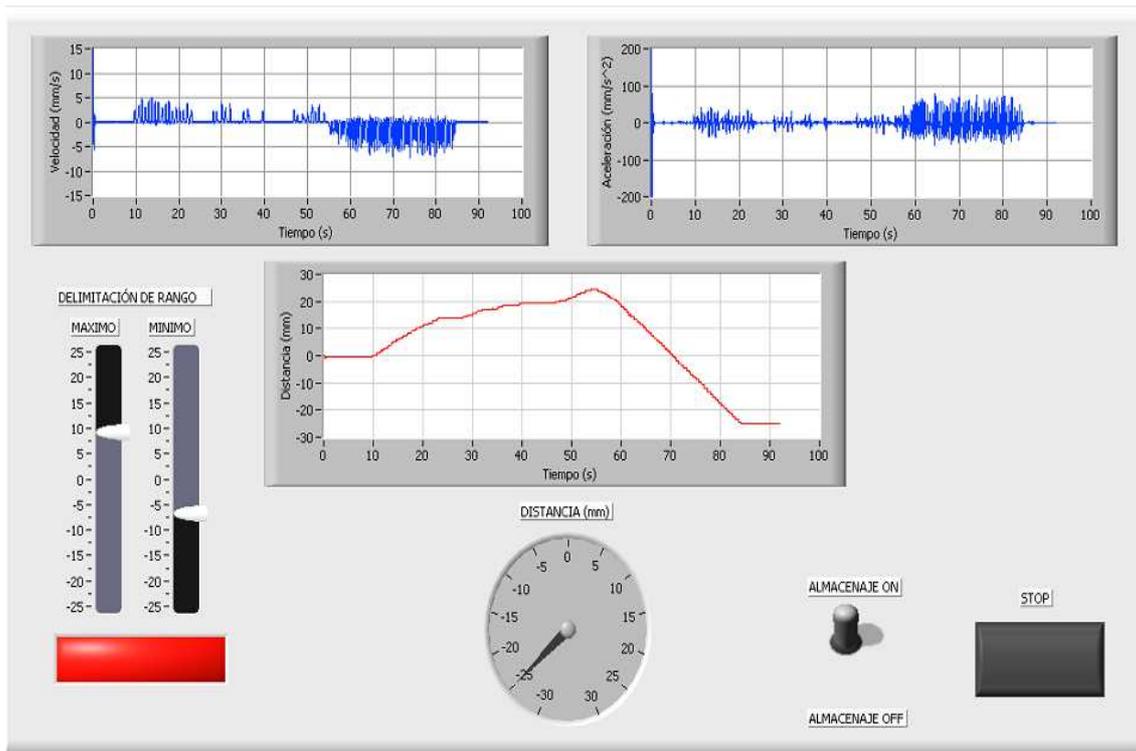


Figura 5.4: Comprobación de rangos de medida

Se comprueba en la gráfica de representación de los valores de distancia, como éstos alcanzan pero sin superar los valores de 25 mm y -25 mm, como se había indicado en las especificaciones.

Ensayo 3: Variaciones ante señales periódicas.

Con el fin de comprobar cómo evoluciona este sistema ante diferentes tipos de señales se ha utilizado un generador de señales para simular la entrada de una onda senoidal y de una onda triangular.

Se ensayará en primer lugar con la onda triangular.

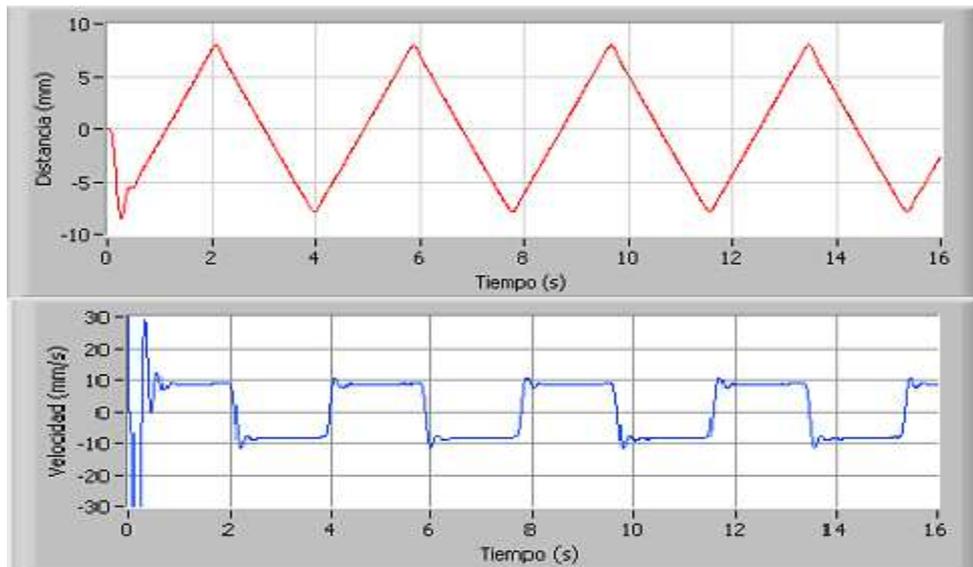


Figura 5.5: Representación de la señal de entrada triangular

La gráfica muestra como se ha representado una onda triangular, cuya variación es periódica y lineal, lo que debería producir en la velocidad una señal con una forma de onda cuadrada. Sin embargo se ve en la gráfica de velocidad que esto no se cumple. Esto se debe a la acción del filtro, éste, a la hora de eliminar el ruido, produce en los picos un suavizado que produce esas variaciones en la velocidad. Se muestra con más detalle en la siguiente figura.

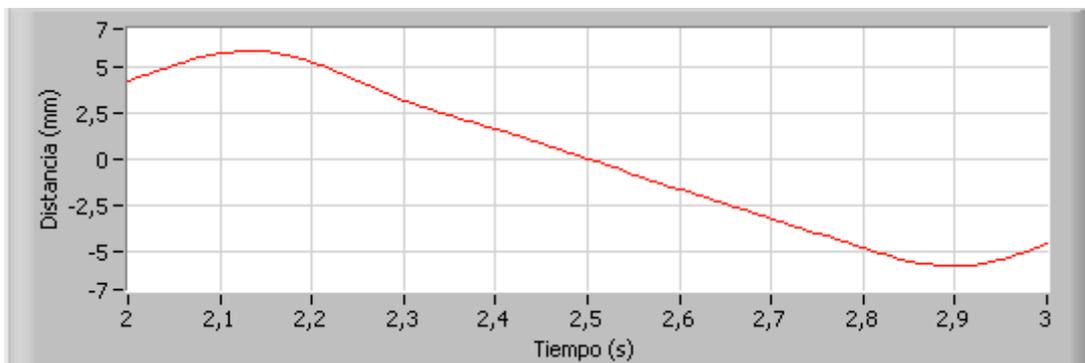


Figura 5.6: Representación ampliada de un pico de una señal triangular filtrada

En la imagen 5.6 se comprueba como en el lugar donde debería encontrar un pico con un cambio brusco, se encuentra un cambio suavizado similar al de una onda senoidal. Como hemos mencionado antes, esto se debe al bajo corte de frecuencia que se le ha impuesto al filtro pasa bajo a la hora de la adquisición.

Se tratará ahora una onda senoidal.

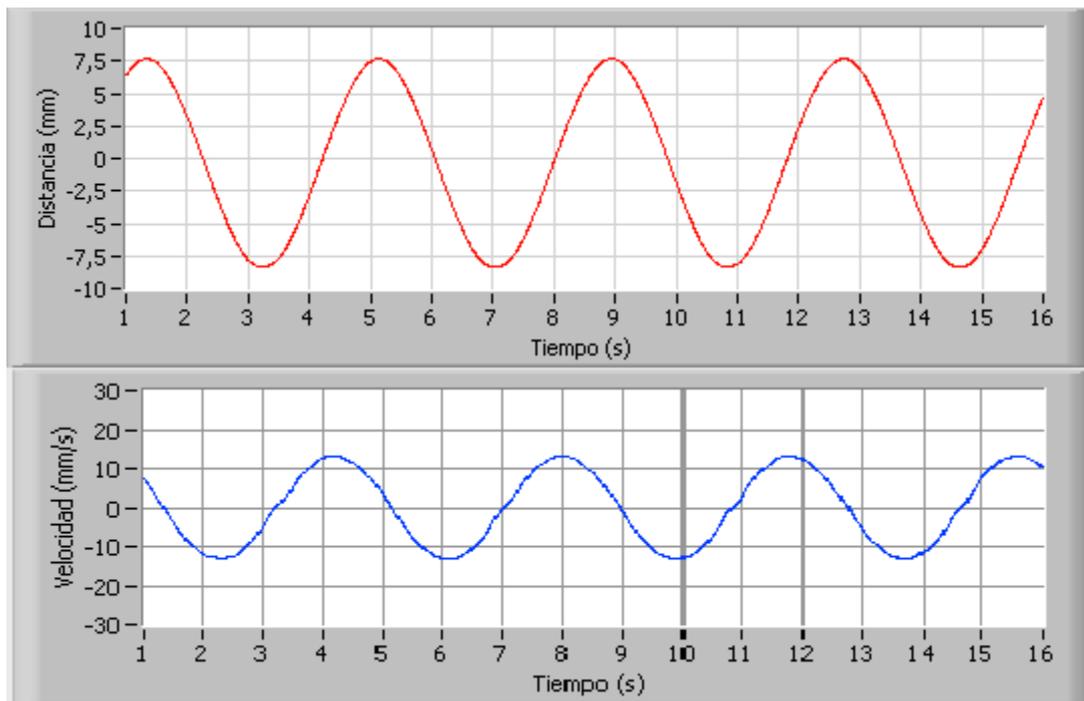


Figura 5.7; Representación de una onda senoidal.

En este caso, y puesto que la entrada no presenta alteraciones tan bruscas como en el caso de la señal triangular y debido a que la derivada de una señal senoidal es otra señal senoidal, la velocidad referida a la entrada de distancia está menos alterada que en el caso anterior.

Ensayo 4: Almacenamiento de valores en tabla Excel.

Una de las funciones que permite este instrumento virtual es el almacenamiento de los valores adquiridos. En este caso concreto, tras una adquisición, se han guardado los valores de distancia y aceleración en una tabla Excel. Por lo tanto se comprobará que, efectivamente, estos valores corresponden a los valores que se han muestreado y representado.

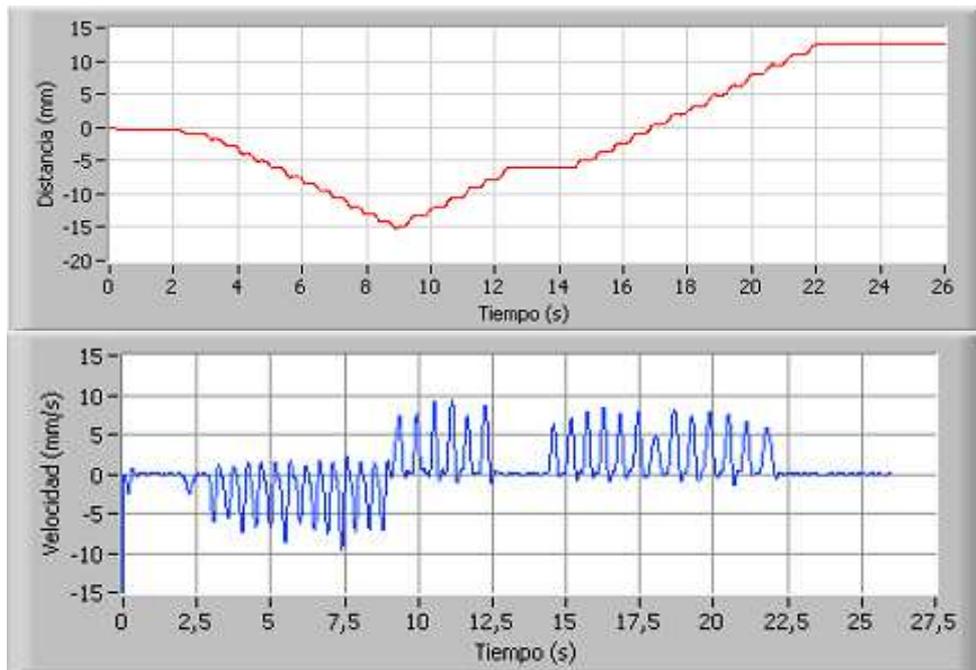


Figura 5.8: Gráficas obtenidas del panel frontal para el ensayo4

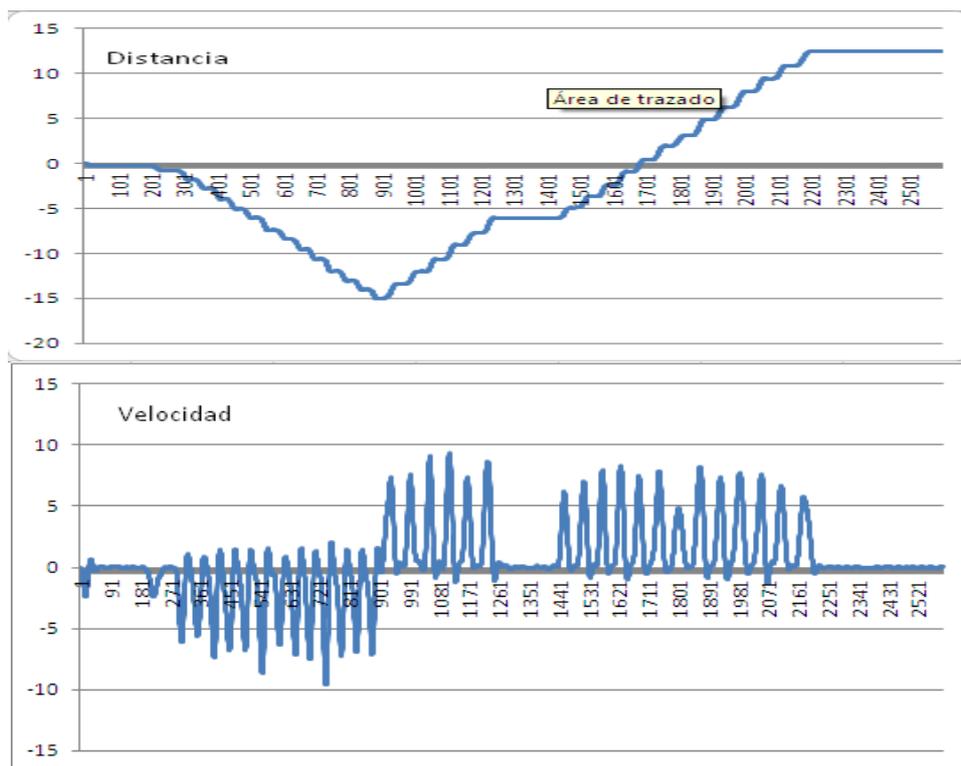


Figura 5.9: Gráficas obtenidas de Excel para el ensayo 4

Comparando las gráficas obtenidas del panel frontal con las gráficas obtenidas de la hoja de cálculo de Excel tras representar los valores almacenados, se comprueba la coincidencia de ambas representaciones.

6. Conclusiones

El objetivo de este proyecto ha sido desarrollar los subsistemas necesarios para la captación, el análisis y la visualización de señales provenientes de un circuito de acondicionamiento para la medida de distancia basado en el LVDT (Transformador Diferencia de Variación Lineal). Además, se plantean algunas soluciones añadidas que permiten el almacenamiento de los datos adquiridos y el control de las variables del sistema.

La tarjeta de datos, mediante la cual se han adquirido los datos, es un hardware suficiente, puesto que ha permitido una captación con una frecuencia de muestro de 100Hz, que ha permitido una representación fiel además de una conversión a digital, con una resolución muy superior a la mínima necesaria, de la señal que en su origen era de tipo analógico. A su vez, el entorno de programación LabVIEW ha hecho posible el desarrollo completo de manera sencilla de un sistema capaz de cumplir con todos los requerimientos iniciales que, además, presenta una interfaz de fácil manejo y entendimiento para el usuario.

En la interfaz final se han incluido gráficas de las magnitudes de distancia, velocidad y aceleración pero no se ha representado el voltaje, pues el cliente que interactuará con el sistema final no tiene la necesidad de visualizar ni tratar esa variable.

La gran ventaja que ha quedado demostrada en este proyecto del uso de la instrumentación virtual, en lugar de la tradicional, para la implementación de sistemas de medida, es la versatilidad que ofrece. Pueden desarrollarse sistemas que controlen procesos de gran complejidad, y además, gracias a la multifuncionalidad de las tarjetas de datos como la que se ha utilizado, se podrán asociar señales de entrada y de salida tanto digitales como analógicas.

Para mostrar el nivel de versatilidad mencionado en el párrafo anterior se han decidido añadir otras funciones al sistema final. La primera de ellas consta de un delimitador de rangos ajustables por el usuario, se ha esbozado lo que correspondería a un sistema de control que avise de la superación de algún valor máximo o mínimo en el desplazamiento, de tal forma que pudiera, a través de una salida de la tarjeta, actuar sobre el sistema controlado. Mientras que la segunda permite el almacenaje de los valores que han sido adquiridos, siendo posible, además, la elección por parte del usuario de la extensión que debe tener ese archivo de almacenamiento. Se han elegido estas dos funciones debido a que, en un entorno industrial, ambas pueden ser de gran

utilidad, pero, como se ha mencionado antes, la instrumentación virtual permite también otras opciones.

Respecto al panel frontal final que se muestra en el apartado de resultados, indicar que éste se ha pensado para un uso correspondiente a un entorno industrial de trabajo, por lo que, a la hora de su diseño, ha prevalecido la claridad y sencillez de uso sobre la presentación estética.

Cabe indicar que la solución es, además, flexible a mejoras y modificaciones de una manera sencilla, rápida y barata, puesto que, una vez adquirido el conjunto software-hardware empleado en este proyecto, se podrán realizar cuantos procesos de visualización y control se requieran sin ningún coste añadido. Por el contrario, a pesar de que la tarjeta multifunción utilizada es de una buena resolución, la fiabilidad y precisión de los instrumentos tradicionales es mayor, debido a la calidad de sus componentes, pero esto propicia que el coste sea muy elevado, a pesar de unifuncionalidad que predomina en estos instrumentos.

En resumen, el conjunto formado por Tarjeta DAQ NI PCI 6014 y el entorno de programación gráfico LabVIEW ha permitido el desarrollo de un instrumento virtual adaptado a las necesidades que se requerían al inicio de este proyecto. El sistema que se ha desarrollado permite una precisa adquisición y representación de la señal proveniente del sensor LVDT, además de permitir un tratamiento de ésta para el diseño de un módulo de control acorde a las especificaciones.

6.1. Desarrollos futuros

El sistema que se ha diseñado en este proyecto cumple todos los requerimientos que se han marcado en los objetivos, pero para un desarrollo futuro, se han ideado algunas mejoras que podrían permitir mayor funcionalidad.

Una mejora sería la incorporación de más canales de registro en el sistema, de esta manera, se podrían capturar simultáneamente los datos provenientes de dos o más equipos de medida. Esto permitiría una monitorización y un análisis de las diferentes entradas de forma directa, sin necesidad de un traslado de información a otra fuente donde ser interpretadas.

Otro ejemplo de mejora sería incorporar un sistema de recuperación de datos. En muchos procesos, el avance de sus etapas viene definido por los valores que han sido

adquiridos, por lo que si éstos, tras haber sido almacenados, pudieran ser recuperados y utilizados de una manera que simule a la adquisición, se podría lograr una gran ventaja tanto en tiempo como en movilidad, pues se podrían realizar simulaciones sin la necesidad de una conexión hardware-software.

En este sistema se ha desarrollado un mecanismo para el control de los valores mínimos y máximos de la distancia por parte del usuario, pues, para desarrollos siguientes al actual, se pueden incluir controles similares, pero en este caso, para las magnitudes de velocidad y de aceleración.

Para concluir este apartado de mejoras, indicar que, con el fin de poder utilizar los instrumentos virtuales en ordenadores que no dispongan del software completo de LabVIEW instalado, sería una buena opción diseñar el sistema de control con una extensión que permita su ejecución (.exe) sin la instalación del paquete completo.

7. Bibliografía y referencias.

A continuación se incluye un listado de la bibliografía consultada:

Helfrick, A.D. y Cooper, W.D. (1991) . *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. Prentice Hall.

Hernández, H (1996). *Análisis Dinámico de Sistemas*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lázaro, A.M. y Del Río Fernández, M. (2004). *LabVIEW 7.1. Programación Gráfica para el Control de Instrumentación*. Thomson.

Lajara Vizcaíno, J.R. y Pelegrí Sebastián, J. (2007). *LabVIEW. Entorno Gráfico de Programación*. Marcombo.

Proakis, J. G. (2007). *Digital Signal Processing. Principles and applications*. Pearson.

En cuanto a las referencias de internet, las páginas web consultadas son las siguientes:

National Instruments (2010). Tarjeta NI PCI-6014. Recuperado de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/11442>

National Instruments (2010).Manual de uso de Tarjeta NI PCI-6014. Recuperado de <http://www.ni.com/pdf/manuals/370844b.pdf>

National Instruments (2012).Bloque conector CB-68LP. Recuperado de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1187>

National Instruments (2012). Manual de uso Bloque conector CB-68LP. Recuperado de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5F6E0E5867D78C7D86256C4B007DB758>

National Instruments (2008). Entradas no referenciadas. Recuperado de <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466V-01/measfunds/refsingleended/>

National Instruments (2006). Conversión ADC. Recuperado de <http://www.ni.com/white-paper/4806/en/>

Huarpe.com (2010). Registro de aproximaciones sucesivas. Recuperado de <http://huarpe.com/electronica2/capitulo/capitulo12/html/aproxsuces.html>

Sensing SL (2014). Catálogo de sensores de distancia. Recuperado de http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/Sensores-de-distancia-LVDT_55/

8. Anexos

8.1. Anexo 1: Cálculos para el diseño del potenciómetro de simulación

Para la simulación de la señal de entrada se ha utilizado un potenciómetro multivuelta cuyos cálculos de diseño se muestran a continuación:

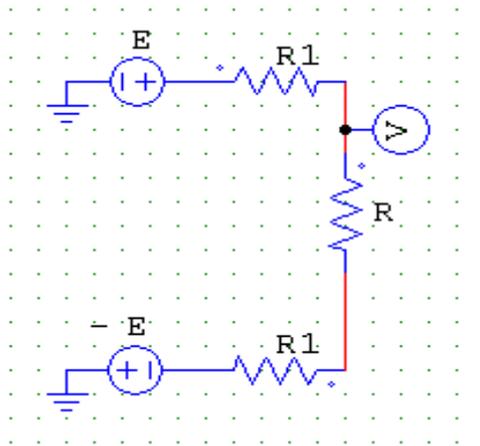


Figura 7.1: Esquema de montaje

A partir de este esquema de montaje, debemos calcular los valores de las resistencias R1 y del potenciómetro R. Para ello aplicamos el teorema de Millman en el punto V

$$v = \frac{\frac{E}{R1} + \frac{-E}{R + R1}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R + R1}}$$

Despejando y simplificando en la ecuación queda:

$$v = \frac{(R + R1) * E - R1 * E}{R + R1 + R1}$$

$$v = \frac{R * E}{R + 2 * R1}$$

Sustituyendo ahora los valores de $E=12V$ y $v=6,25V$ en la ecuación y despejando queda

Probando con los valores normalizados para las resistencia y los potenciómetros, se acaban tomando los valores de $R=20\text{ K}\Omega$ y $R_1= 8,2\text{ K}\Omega$.

Para comprobar que estos valores son adecuados, se realizará una prueba en el programa de simulación de circuitos eléctricos Psim.

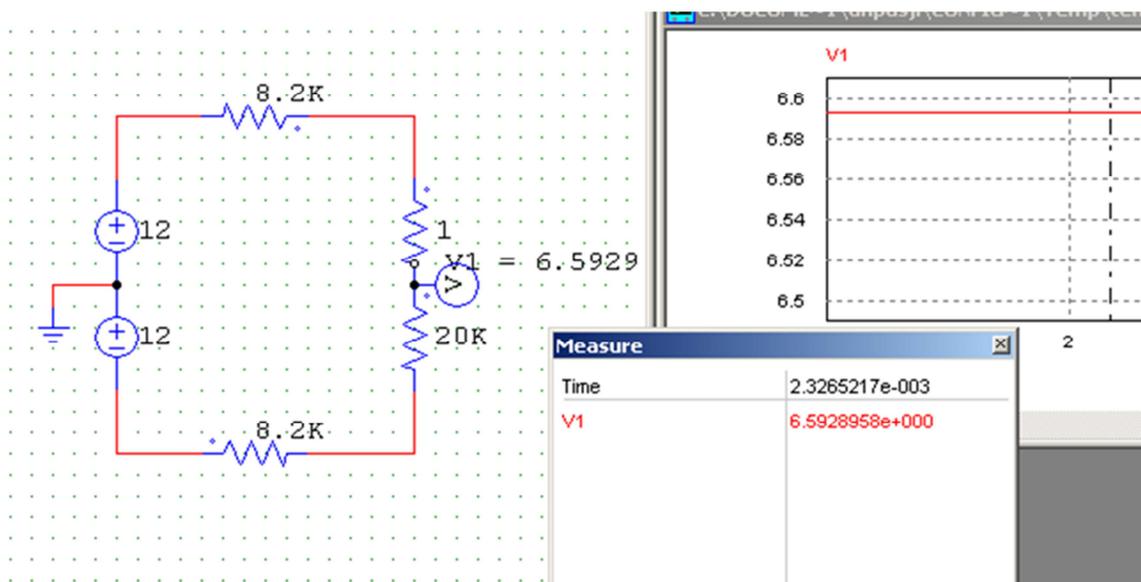


Figura 7.2: Prueba de simulación en PSim

Como se observa en el valor de la medida de V , el voltaje generado es de 6,59 Voltios, superior al requerido.

Se desea alcanzar un valor de salida del potenciómetro de 6,25 Voltios, y puesto que la tensión adquirida por el potenciómetro proviene de un generador de tensión programable, se reducirá de 12V a 11,4V con el fin de ajustar a los valores requeridos.

8.2. Anexo 2: Manual de usuario

Con el fin de que el usuario final de este instrumento virtual pueda instalar y utilizar de forma correcta todos los componente que forman este sistema, se incluye un manual de usuario.

Los primeros pasos consisten el instalación del software y el hardware correspondientes, cuyos manuales vienen incluidos en los paquetes de compra de cda componente, pero con el fin de que se recabe toda la información en un punto se incluirá a continuación una lista con los enlaces correspondientes a cada etapa de instalación.

- 1- Instalación del software de programación gráfico Labview:

<http://www.ni.com/gettingstarted/installsoftware/esa/instrumentcontrol.htm>

- 2- Instalación de la tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014:

<http://www.ni.com/gettingstarted/setuphardware/dataacquisition/esa/pci-pxi.htm#PCI/PCI Express DAQ Hardware>

Una vez instalados ambos subsistemas, el siguiente paso es ya la ejecución del instrumento virtual. El cual vendrá entregado al cliente en un CD que incluye un archivo con el nombre *Solución* y una extensión *.vi*.

En este mismo CD se incluye un manual detallado con todas las aplicaciones que cumple este sistema, que permitirá al usuario utilizarlo de manera correcta y obtener el máximo provecho de sus capacidades de visualización y control.

A pesar de que se incluye un manual junto al fichero a ejecutar, a continuación se explica brevemente el manejo de la interfaz de control con el fin de explicar las funciones principales que lo conforman:

Para iniciar el uso de este instrumento virtual, se introducirá el CD que lo contiene y se hará doble click sobre el fichero *Solución.vi*. Una vez abierto aparecerá un panel frontal como el de esta figura:

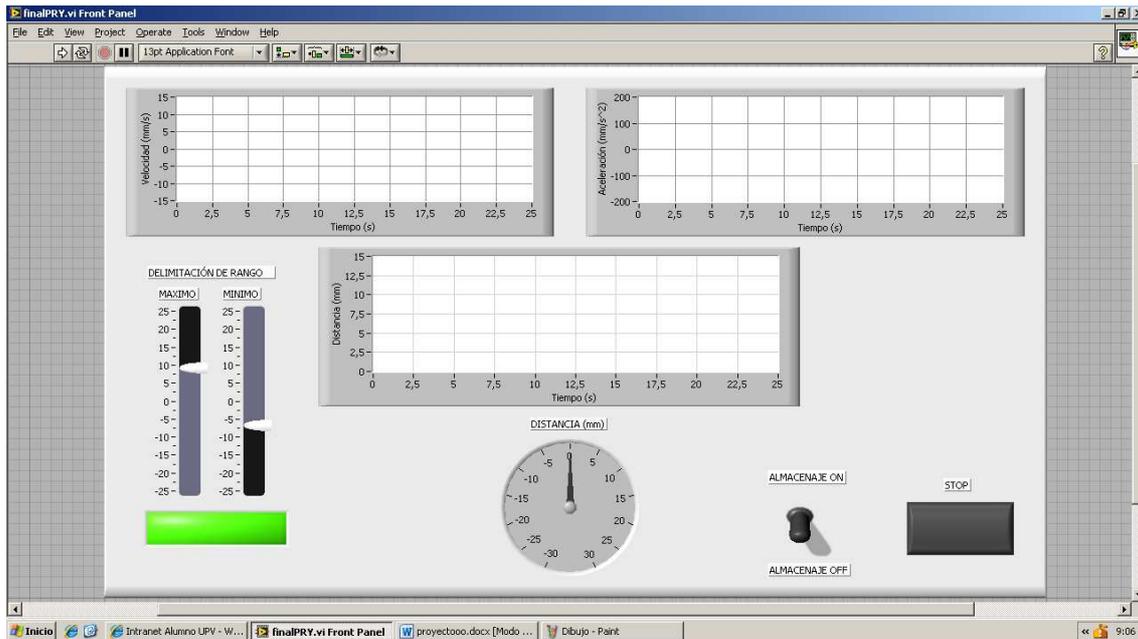


Figura 7.3: Panel frontal del instrumento virtual

En primer lugar, se debe comprobar que todos los componentes electrónicos estén conectados correctamente, y es entonces cuando se presiona el botón de iniciar ejecución marcado con la flecha en la parte superior izquierda.

Una vez esté en ejecución los valores de distancia tanto instantáneo como en función del tiempo se irán mostrando por la gráfica central y por el indicador de tipo rueda que está situado debajo.

Los controladores de la parte inferior izquierda, serán regulables por el usuario, delimitando así unos rangos mínimo y máximo para el valor de la distancia. Mientras el valor de la distancia se encuentre dentro del rango admitido el indicador booleano permanecerá de color verde, cambiando a rojo cuando se salga de dicho rango.

Para visualizar el avance de la velocidad y la aceleración es necesario activar el pulsador de STOP, situado en la parte abajo derecha, y a su vez, se iniciará, siempre que la palanca de almacenaje se encuentre en ON un proceso de almacenado de datos en un archivo de extensión seleccionable por el usuario.

Esta es una breve descripción del uso de este instrumento virtual, para una información más precisa y detallada consultar el manual de instrucciones de uso incluido en el CD junto al fichero ejecutado.

8.3. Anexo 3: Hojas de Especificaciones.

Con el fin de ayudar a preservar el Medio Ambiente, no se incluirán los *Datasheets* u Hojas de especificaciones ni de la tarjeta DAQ ni del bloque conector, ya que ocuparían un volumen de folios y tóner muy elevado.

Las mencionadas hojas de especificaciones vienen incluidas en los paquetes de compra de cada uno de los componentes, pero se facilitará su acceso desde esta memoria con el fin de ahorrar tiempo en futuras consultas.

Puesto que las hojas de especificaciones contienen información importante para el correcto desarrollo de este proyecto, se incluyen a continuación los enlaces web que permitirán al usuario acudir a las mismas.

Hoja de Especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014:

<http://www.ni.com/pdf/manuals/370844b.pdf>

Hoja de Especificaciones del bloque conector CB-68LP:

<http://www.ni.com/pdf/manuals/373853a.pdf>

Documento nº 2, presupuesto:

1. Precios descompuestos

Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
Adquisición, visualización y análisis de señales.			
Instalación de Hardware			
Tarjeta DAQ NI PCI-6014	1,000	690,00	690,00
Bloque conector CB-68LP	1,000	91,00	91,00
Cable blindado SH68-68-EP (2m)	1,000	132,00	132,00
Graduado en Ingeniería en Tec. Industriales	5,000	24,00	120,00
Costes complementarios	0,020	1.033,00	20,66
Clase: Mano de Obra			120,00
Clase: Material			913,00
Clase: Medio auxiliar			20,66
Coste Total			1.053,66
Instalación de Software			
Sistema de Desarrollo completo de LabVIEW	1,000	2.630,00	2.630,00
Graduado en Ingeniería en Tec. Industriales	3,000	24,00	72,00
Costes complementarios		2.702,00	
Clase: Mano de Obra			72,00
Clase: Material			2.630,00
Coste Total			2.702,00
Potenciómetro de simulación			
Resistencia 8.2K	2,000	0,14	0,28
Potenciómetro 20 K	1,000	1,50	1,50
Placa baquelita 60x40mm	1,000	1,30	1,30
Graduado en Ingeniería en Tec. Industriales	2,000	24,00	48,00
Costes complementarios	0,020	51,08	1,02
Clase: Mano de Obra			48,00
Clase: Material			3,08
Clase: Medio auxiliar			1,02
Coste Total			52,10
Análisis y visualización			
Graduado en Ingeniería en Tec. Industriales	280,000	24,00	6.720,00
Costes complementarios	0,020	6.720,00	134,40
Clase: Mano de Obra			6.720,00
Clase: Medio auxiliar			134,40
Coste Total			6.854,40

En este primer apartado se han descompuesto cada una de las unidades de obra en los recursos que se han empleado.

El precio/hora del ingeniero se ha fijado en base a una búsqueda por varios medios, que ha arrojado un valor medio de aproximadamente 24 €/hora.

En el apartado de rendimiento se indica las unidades de cada uno de los recursos.

Por último indicar que el recurso *costes complementarios* hace referencia a los gastos asociados a cada una de las unidades de obra. Estos gastos incluyen desde el transporte, hasta la instrumentación utilizada en laboratorios tales como osciloscopios, ordenadores, etc.

2. Presupuesto general

Presupuesto General	Importe
Adquisición, visualización y análisis de señales.	10.662,16
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	10.662,16
21% I.V.A.	2.239,05
TOTAL PRESUPUESTO C/IVA	12.901,21

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:
DOCE MIL NOVECIENTOS Y UN EURO CON VEINTE Y CINCO CÉNTIMOS

En este apartado se ha aplicado el IVA correspondiente al 21 % para presentar el presupuesto general de este proyecto.