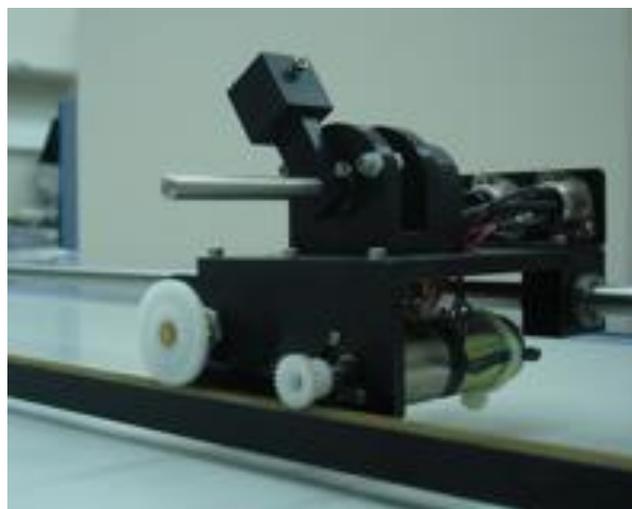


# CONTROL DE POSICIÓN DE UN CARRO

Trabajo fin de grado de física

2012-2013



**Autor:** Izaskun Atxa Andrés

**Director:** Josu Jugo García

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2. TEORÍA .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.1 SENSORES.....</b>	<b>- 4 -</b>
2.1.1 DEFINICIÓN DE SENSORES.....	- 5 -
2.1.2 ACONDICIONADORES Y PROCESADORES DE SEÑAL.....	- 6 -
2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES .....	- 6 -
• <i>SENSORES DE TEMPERATURA</i> .....	- 6 -
• <i>HIGÓMETROS (SENSORES DE HUMEDAD)</i> .....	- 6 -
• <i>SENSORES DE POSICIÓN</i> .....	- 7 -
• <i>SENSORES DE MOVIMIENTO</i> .....	- 7 -
• <i>SENSORES DE CAUDAL</i> .....	- 7 -
• <i>SENSORES BIOMÉTRICOS</i> .....	- 8 -
• <i>SENSORES DE GAS/QUÍMICOS</i> .....	- 8 -
<b>2.2 CODIFICADORES Y SUS APLICACIONES .....</b>	<b>- 8 -</b>
2.2.1 CODIFICADOR ROTATIVO .....	- 9 -
2.2.1.1 TIPOS DE CODIFICADORES ROTATIVOS.....	- 9 -
2.2.1.2 APLICACIONES .....	- 11 -
<b>2.3 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....</b>	<b>- 12 -</b>
2.3.1 LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....	- 12 -
2.3.2 SOFTWARE PARA CONTROL DE INSTRUMENTOS VIRTUALES .....	- 14 -
2.3.3 HARDWARE PARA CONTROL DE INSTRUMENTOS VIRTUALES .....	- 14 -
2.3.3 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL VERSUS TRADICIONAL .....	- 15 -
2.3.4 PROGRAMACIÓN GRÁFICA.....	- 16 -
2.3.4.1 LABVIEW .....	- 17 -
<b>3. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS.....</b>	<b>- 21 -</b>
<b>3.1 CARACTERIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SENSOR .....</b>	<b>- 21 -</b>
3.1.1 TRABAJANDO CON EL OSCILOSCOPIO.....	- 21 -
3.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR.....	- 21 -
3.1.1.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR.....	- 23 -
3.1.2 TRABAJANDO CON LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....	- 23 -
3.1.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR.....	- 25 -
3.1.2.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR.....	- 26 -

3.2 APLICACIÓN DEL SENSOR.....	- 27 -
3.2.1 MODELO MECÁNICO DEL SISTEMA .....	- 28 -
3.2.2 VI CONTROL POSICIÓN .....	- 30 -
<b>4. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>-34-</b>
<b>5.ANEXO .....</b>	<b>-35-</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>-36-</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la instrumentación virtual se emplea en distintos ámbitos, como pueden ser la educación, la investigación o la industria. En el ámbito de la educación es de gran utilidad puesto que se ha podido aplicar la teoría aprendida de una manera más fácil. En la investigación ha sido de gran ayuda, puesto que ha facilitado el acceso a muchos sistemas los cuales hasta el momento no eran naturaleza portátil.

El objetivo principal de este trabajo ha sido hacer el control de la posición de un carro que se desplazaba horizontalmente mediante una transmisión piñón-cremallera. El carro lleva incorporado un codificador angular el cual se ha utilizado para adquirir el número de pulsos. Este codificador ha ido unido a la tarjeta de adquisición de datos NI-6024. Como esta tarjeta no dispone de una entrada válida para codificadores, se ha debido implementar mediante software esa funcionalidad, necesitando de una lógica que determine el sentido del desplazamiento. En este caso se ha utilizado LabVIEW, un programa de programación gráfica, el cual además de crear un sistema lógico también se ha utilizado para crear el VI para el control de la posición. Aunque antes de crear el controlador, se ha tenido que hacer la calibración y caracterización del codificador, puesto que no se tenía ningún dato sobre él. Para hacer ambas medidas se ha hecho el mismo procedimiento usando un osciloscopio y LabVIEW. Para hacer la caracterización se ha obtenido la frecuencia máxima calculando el número de pulsos en un determinado tiempo. Dividiendo ambos datos se ha conseguido la frecuencia máxima.

En cambio, para hacer la calibración se ha calculado la velocidad máxima con la que se puede mover el carro. Cuando se ha trabajado con el osciloscopio tanto la distancia recorrida por el carro como el tiempo transcurrido se han calculado manualmente. Sin embargo, con LabVIEW el tiempo transcurrido se ha calculado mediante un VI.

Por último, el proyecto está dividido en tres partes principales. En la primera parte se hace una introducción a los sensores y los distintos tipos que hay. También se hablar sobre los codificadores y sus aplicaciones y por último se habla sobre la instrumentación virtual, dando una breve introducción a LabVIEW. En la segunda parte se explica el procedimiento seguido para hacer la calibración y caracterización del sensor usando el osciloscopio y LabVIEW y los resultados obtenidos en ambos casos. Además se hace una explicación sobre la aplicación del sensor y los resultados obtenidos de la misma. En el último apartado se explican las conclusiones obtenidas

## 2. TEORÍA

### 2.1 SENSORES

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Se puede decir que los sensores llevan existiendo toda la vida, es más que el hombre los lleva incorporados en su cuerpo, existiendo además de diversos tipos. [1]

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no, etc. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, etc. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas. Los sensores electrónicos además de ayudar a medir dichas magnitudes con mayor exactitud,

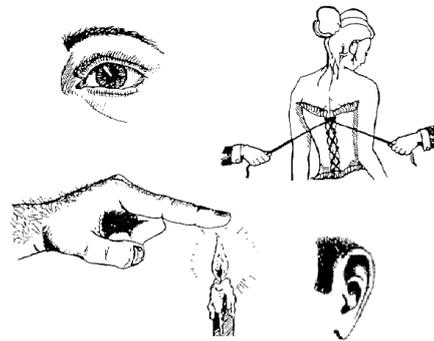


Figura 1. Distintos sensores del cuerpo humano

también han ayudado a poder operar con ellas. Debido a la variación de señal tan pequeña que ofrecen normalmente los sensores, estos siempre van acompañados de los acondicionadores de señal. También es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito para que le permita medir, acondicionar, procesar y actuar adecuadamente con dichas medidas. A la combinación de todos estos elementos se le llama sistema de medida. El sensor es un elemento fundamental en un sistema de medida. El sistema de medida es una combinación de elementos cuya función es la asignación objetiva y experimental de un valor numérico a una propiedad de un objeto o a una característica de un evento. En otras palabras, un sistema de medida extrae información sobre una magnitud medible de algún medio o sistema de interés y comunica los resultados a un observador. La medida de cualquier variable es llevada a cabo por un sistema de medida, también llamado instrumentación, compuesto de diversos elementos, de los cuales como ya se ha mencionado previamente que los sensores son los principales. Cada proceso de medición implica la transferencia de energía entre el medio a medir y el sistema de medida, y por tanto, el medio y la propia variable medida son modificadas, en cierto grado, por el propio proceso de medir. Por ejemplo la medida de la presión implica un cambio de volumen y la medida de un voltaje cierto flujo de corriente.

Las aplicaciones de la electrónica, presentes actualmente en innumerables aspectos de nuestra vida cotidiana, no serían posibles sin los sensores. Sin la capacidad que estos ofrecen de medir magnitudes físicas para su conocimiento o control, muchos de los dispositivos electrónicos no serían más que simples curiosidades de laboratorio.



Figura 2. Descripción del proceso de adquisición de datos

La utilización de sensores es indispensable en la automatización de industrias de proceso y manufacturados, incluida la robótica, en ingeniería experimental, en sectores no productivos como son el ahorro energético y el control ambiental (aire, ruido, calidad del agua, etc.), en automóviles y electrodomésticos, en la agricultura y medicina, etc. Incluso los equipos de gestión de datos, alejados de las aplicaciones industriales, incorporan internamente para su correcto funcionamiento varios sensores. Piense, por ejemplo, en el control de la posición de las cabezas de lectura en discos magnéticos. En el futuro, el diseño de sensores basados en semiconductores (en particular silicio), fibras ópticas y nuevos materiales como polímeros y elastómeros, no hará sino aumentar su importancia, al extender sus campos de aplicación.

### 2.1.1 DEFINICIÓN DE SENSORES

En general se habla de sensores, pero se pueden distinguir las siguientes definiciones [2]:

- ❖ Sensor: es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica. Además los sensores pueden ser activos o pasivos.
  - Sensor activo: es un sensor que requiere una fuente externa de excitación como las RTD (Resistance Temperature Detector) o células de carga.
  - Sensor pasivo: es un sensor que no requiere de una fuente externa de excitación, como los termopares o fotodiodos.
- ❖ Transductor: es un convertidor de un tipo de energía a otra.

## 2.1.2 ACONDICIONADORES Y PROCESADORES DE SEÑAL

No se puede hablar de sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver cómo se pueden adaptar a un sistema de adquisición y control. Por lo que se tendrán que ver las nuevas tecnologías de adaptación de estos sensores como parte de una cadena de dispositivos que forman el sistema de medida ya mencionado. [1]

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un DSP o microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor de digital a analógico.

## 2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

La clasificación de los sensores se puede hacer de diversas maneras. En función de la magnitud medida, del parámetro variable, según el aporte de energía, la señal de salida, el campo de aplicación, etc. Aquí se van a clasificar según la magnitud medida. [2]

- **SENSORES DE TEMPERATURA**

Como el propio nombre indica, son aquellos que miden la temperatura del elemento a medir. Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, esta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada. Entre los tipos de sensores de temperatura se encuentran los termopares, los sensores resistivos y los sensores semiconductores.

- **HIGÓMETROS (SENSORES DE HUMEDAD)**

Los sensores de humedad son muy utilizados en lugares donde se pretende controlar la humedad, ya sea porque hay elementos que son muy susceptibles a ella, como por ejemplo en lugares donde se encuentran grandes procesadores, conmutadores o en general elementos electrónicos muy delicados y con gran costo puesto que se procura tenerlos en lugares especiales en los cuales se regula la temperatura y la humedad para que estos aspectos afecten lo menos posible al aparato.

Los aparatos electrónicos no son los únicos a los que se les necesita regular la humedad, también están los que mantienen plantas o animales fuera de su ecosistema y necesitan tener la temperatura y la humedad reguladas. Otro ejemplo podría ser en los laboratorios farmacéuticos los cuales crían bacterias y por lo tanto necesitan ambientes adecuados para que su crecimiento en las poblaciones sea el requerido. Y así hay muchos más ejemplos donde se necesita controlar la humedad.



Figura 3. Ejemplo de dispositivo que contiene sensor de movimiento.

Hay dos tipos de sensores de humedad: capacitivos y resistivos. Estos sensores se utilizan en distintas industrias, como la alimenticia, maderera, textil, farmacológica, meteorología, etc.

- **SENSORES DE POSICIÓN**

Los sensores de posición pueden dar según su construcción o montaje una posición lineal o angular. Pueden ser electromecánicos, magnéticos, inductivos, potenciométricos u ópticos.

- **SENSORES DE MOVIMIENTO**

Los sensores de movimiento permiten la medida de la fuerza gravitatoria estática (cambios de inclinación), la medida de la aceleración dinámica (aceleración, vibración y choques), y la medida inercial de la velocidad y la posición (la velocidad midiendo un eje y la posición midiendo los dos ejes). En definitiva, son sensores que responden a un movimiento físico. Un ejemplo de sensor de movimiento se indica en la figura 3.

Se encuentran generalmente, en sistemas de seguridad o en circuitos cerrados de televisión. Las nuevas tecnologías también incluyen sensores de movimiento, como por ejemplo la wii o la kinect para la X-box.

- **SENSORES DE CAUDAL**

Los sensores de caudal más comunes miden la gota de presión a través de una obstrucción insertada en la cabina presurizada en donde se desea medir la relación de flujo.

El roto-mediador funciona comparando la presión inicial en la entrada del cono, con la presión final en la salida de este. Para presiones muy altas el cono suele hacerse de materiales como aluminio o metal en lugar de vidrio.

Las aplicaciones son muy variadas y hay bastantes ejemplos pero las utilizations más frecuentes de este sensor son las siguientes: motores de combustión

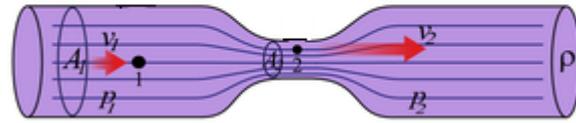


Figura 4. Ejemplo de sensor de caudal

interna, cámara de compresión de turbina, registros de flujo de agua, control de caudal en tratamiento de aguas residuales, etc.

### • **SENSORES BIOMÉTRICOS**

Los sensores biométricos se basan en sensores de imagen CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), que posteriormente procesan la imagen obtenida con un DSP (Digital Signal Processor) para identificar los puntos necesarios para después utilizarlos como identificación.

Sus principales aplicaciones son, el sensor de huella digital, el escáner de la retina, el escáner de la mano y el reconocimiento facial.

### • **SENSORES DE GAS/QUÍMICOS**

El sensor químico es un sensor que está constituido por un elemento químico orgánico o inorgánico. El elemento químico del sensor se selecciona de tal manera que interactúa con la especie a analizar de manera muy exclusiva o selectiva.

Para aumentar la selectividad del sensor se pueden utilizar elementos bioquímicos o biológicos (enzimas, anticuerpos, ácidos nucleídos, células, tejidos, microorganismos, etc.) como elementos sensores de tal manera que se obtiene un biosensor.

## **2.2 CODIFICADORES Y SUS APLICACIONES**

Los codificadores son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son utilizados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranajes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición. Este documento se centrará en el codificador rotativo puesto que es el que se utiliza en posteriores prácticas. [6],[7],[8].

## 2.2.1 CODIFICADOR ROTATIVO

Los codificadores rotativos, también llamados codificadores de eje motriz o codificadores de ángulo rotatorio del eje, son transductores electromecánicos que convierten la rotación del eje en pulsos de salida que pueden ser contados para medir las evoluciones del eje motriz o ángulo de rotación de eje. Existen además codificadores de contacto directo o tipo escobilla y codificadores rotativos magnéticos, pero no son utilizados tan ampliamente en los sistemas de control de movimiento.

### 2.2.1.1 TIPOS DE CODIFICADORES ROTATIVOS

El tipo absoluto produce un código digital único para cada ángulo distinto. En cambio, el tipo incremental proporciona información sobre el movimiento del eje.

- **CODIFICADOR INCREMENTAL**

Este tipo de codificador se caracteriza porque determina su posición contando el número de impulsos que se genera cuando un rayo de luz es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje. La figura 5 muestra los componentes fundamentales de un codificador rotatorio, que

consiste en un diodo emisor de luz (LED), un disco y un detector de luz en el lado opuesto al disco. El disco, que está montado en el eje de rotación, tiene patrones de sectores opacos y transparentes codificados

en él. Al girar el disco, los

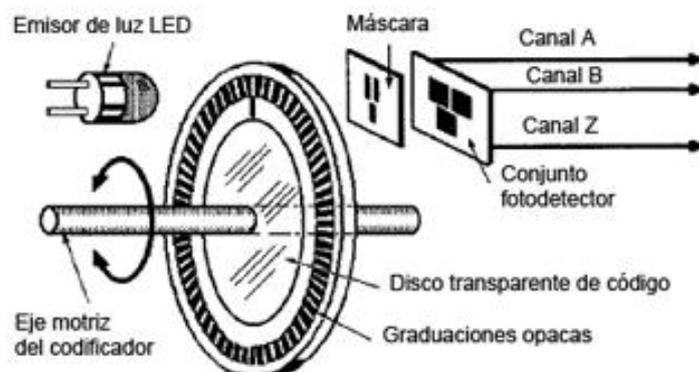


Figura 5. Elementos básicos de un codificador rotativo óptico incremental.

segmentos opacos bloquean la luz y los transparentes la dejan pasar. Esto genera pulsos de una forma de onda cuadrada, la cual puede ser interpretada como posición o movimiento.

Los codificadores suelen tener entre 100 a 6000 segmentos por revolución. Esto significa que estos codificadores pueden proporcionar 3.6 grados de resolución para un codificador con 100 segmentos y 0.06 grados de resolución para un codificador con 6000 segmentos.

Los codificadores lineales trabajan bajo el mismo principio que los codificadores rotativos, excepto que en lugar de un disco giratorio, hay una franja opaca estacionaria con

rendijas transparentes a lo largo de su superficie y el conjunto LED-detector esta unido al cuerpo en movimiento.

Un codificador que suministre una simple serie de pulsos no sería útil porque no podría indicar la dirección de rotación. Al usar dos pistas codificadas con sectores de posición desfasados 90 grados (figura 6) se puede indicar tanto la posición como la dirección de

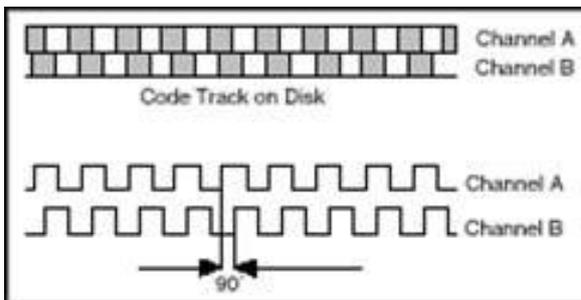


Figura 6. Señales A y B en un codificador en cuadratura.

rotación mediante dos canales de salida del codificador en cuadratura. Por ejemplo, si ocurre primero un pulso en A y luego en B, el disco está girando en sentido horario. Si tiene lugar primero un pulso en B y luego en A, entonces el disco está girando en el sentido antihorario. Por lo tanto, si se

monitoriza tanto el número de pulsos como la fase relativa de las señales A y B, se puede hacer un seguimiento de la posición y de la dirección de la rotación.

Además, algunos codificadores de cuadratura incluyen un tercer canal de salida, llamado cero o señal de referencia, que suministra un único pulso por revolución. Puede utilizarse este único pulso para la determinación precisa de una posición de referencia. En la mayoría de los codificadores, esta señal se llama terminal-Z o índice.

#### • CODIFICADOR DIFERENCIAL

Hasta el momento, este documento solo se ha ocupado de los que se llaman codificadores incrementales en cuadratura de un solo terminal. Se llaman de un solo terminal debido a que las señales A y B están referidas a tierra, por lo que existe un solo hilo (o terminal) para cada señal. Otro tipo de codificador de uso común es el codificador diferencial, donde hay dos líneas por cada señal A y B. Las dos líneas de las señales A y B son A' y A, y B' y B, respectivamente. Este tipo de configuración se llama también "push-pull", porque las cuatro líneas están siempre suministrando una tensión conocida (ya sea 0V ó  $V_{cc}$ ). Cuando A esta a  $V_{cc}$ , A' esta a 0V y cuando A esta a 0V, A' esta a  $V_{cc}$ . En el caso de un codificador de una única terminal, A es  $V_{cc}$ . Los codificadores diferenciales se utilizan a menudo en ambientes eléctricamente ruidosos porque la toma de medidas diferenciales protege la integridad de la señal.[5],

- **CODIFICADOR ABSOLUTO**

Los codificadores incrementales sirven para medir cambios en la posición (a partir de la cual se pueden determinar la velocidad y la aceleración), pero con ellos no es posible determinar la posición absoluta de un dispositivo. Un tercer tipo de codificador, llamado codificador absoluto, es capaz de determinar la posición absoluta de un objeto y mantener la información de la posición cuando se retira la alimentación del sistema. Este tipo de codificador está compuesto de segmentos alternos opacos y

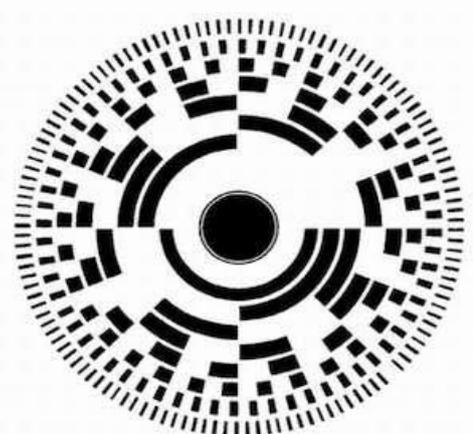


Figura 7. Disco de código binario para un codificador óptico rotativo absoluto.

y transparentes al igual que el codificador incremental, pero el codificador absoluto utiliza múltiples grupos de segmentos que forman círculos concéntricos en la rueda del codificador, como si de una diana se tratase. Los círculos concéntricos comienzan en el centro de la rueda del codificador y al mismo tiempo que se extienden hacia el exterior, cada círculo posee el doble de segmentos que el anillo anterior interno. Un ejemplo de cómo se hace la separación se muestra en la figura 7. El anillo más interno tiene un segmento transparente y uno opaco. El segundo anillo empezando a contar desde el centro tiene dos segmentos transparentes y uno opaco y el tercero tiene cuatro de cada tipo de segmento. Si el codificador tuviese 10 anillos, su anillo más externo tendría 512 segmentos y si tuviese 16 tendría 32768 segmentos. En el caso de la figura 7 el anillo más externo está compuesto de 127 segmentos.

Los valores forman números de un sistema binario debido a que cada anillo tiene el doble de segmentos que el anterior. En este tipo de codificador por cada anillo hay un receptor y una fuente de luz. Con el consecuente significado que un codificador con 10 anillos tendrá 10 conjuntos de fuentes de luz y receptores.

### 2.2.1.2 APLICACIONES

A día de hoy los codificadores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones que requieran una rotación del eje precisa e ilimitada. Actúan como transductores de retroalimentación para el control de la velocidad en motores, como sensores para la medición de corte y posición. También como entrada para la velocidad y controles de rango. A continuación se relacionan algunos ejemplos: dispositivo de control de puertas, robótica, máquinas de lente demolidor, soldadura ultrasónica, dispositivos de entrada al ordenador (tales como el ratón y el trackball), etc.

## 2.3 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

De acuerdo al sentido común, un dispositivo virtual es un objeto que posee la capacidad de producir un efecto, sin estar presente físicamente. Debido a que no es necesario disponer de los instrumentos para realizar las aplicaciones, la denominada instrumentación virtual ha revolucionado el mercado de la instrumentación .

Desde principios de la década de los 80, y como consecuencia de los avances en la tecnología, basándose en la instrumentación virtual varias empresas empezaron a desarrollar sistemas para implementar aplicaciones. Debido principalmente a la eficiencia y beneficios que esta nueva tecnología conlleva, le permite al usuario configurar y crear sus propios sistemas. De esta forma se consigue un alto desempeño del sistema, flexibilidad, reutilización y reconfiguración. Además de estos beneficios se logra una notoria disminución de costos de desarrollo, de mantenimiento, etc.

### 2.3.1 LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

En las últimas décadas las aplicaciones que se mueven a través de redes se han aumentado considerablemente por la creación de nuevas tecnologías. Estas nuevas tecnologías han cambiado la forma de trabajo y producción en distintos ámbitos de la sociedad: industrial, educación, militar, salud e investigación.

En la rama de la ingeniería y la ciencia la instrumentación virtual ha surgido como una herramienta muy importante para la adquisición de datos y el monitor remoto proporcionando grandes ventajas sobre la instrumentación tradicional.

Los instrumentos virtuales se consideran "reales" en el

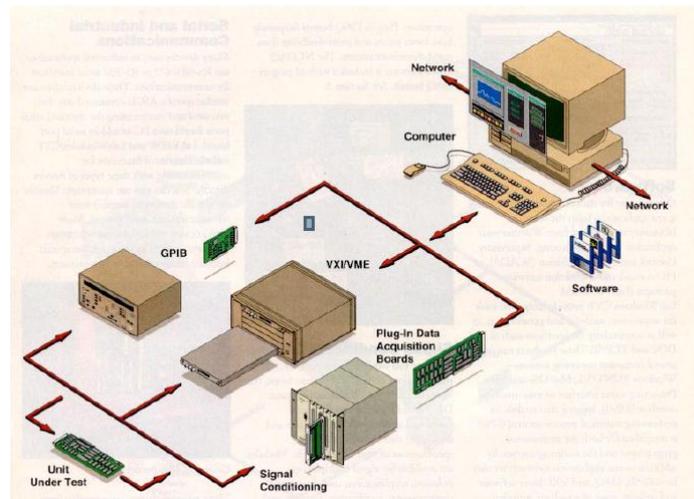


Figura 8. Sistema de instrumentación virtual

sentido de que son capaces de adquirir y procesar datos originados a partir de un fenómeno físico producido en el mundo real. Estos instrumentos se consideran "virtuales" en el sentido de que se hace uso del software para llevar a cabo algunas de las operaciones.

Un instrumento virtual está constituido de un ordenador o estación de trabajo equipada con poderosos programas (software), tarjetas de adquisición de datos (hardware) y drivers que en conjunto completan las funciones de los instrumentos tradicionales.

Los instrumentos virtuales aprovechan los beneficios de la última tecnología puesto que están basados en el ordenador. Los avances en tecnología y rendimiento incluyen poderosos procesadores y sistemas operativos, debido a los cuales la brecha entre los instrumentos autónomos y los ordenadores personales se está cerrando. Además de incorporar estas poderosas características, esas plataformas también ofrecen un acceso sencillo a herramientas tan importantes como Internet.

Los ingenieros y científicos necesitan gran flexibilidad para la creación de sus propias soluciones debido a la rapidez con la que varían las necesidades, aplicaciones y requerimientos de las mismas. Con los instrumentos virtuales, estos construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a las necesidades que ellos desean (definidas por el usuario) en lugar de estar limitadas por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidas por el fabricante).

Un instrumento virtual no está limitado a estar confinado en un ordenador autónomo. En realidad, con los recientes desarrollos en tecnologías de redes e Internet, es más común utilizar la potencia de conectividad de los instrumentos con el objetivo de compartir tareas. Ejemplos típicos incluyen superordenadores, monitoreo distribuido y dispositivos de control, así como también datos o visualización de resultados desde múltiples sitios.

Aunque el ordenador personal y la tecnología de circuitos integrados han experimentado avances significativos en las últimas dos décadas, es el software el que realmente tiene la ventaja para construir sobre una potente base de hardware los instrumentos virtuales, proveyendo mejores maneras de innovar y de reducir los costos de manera significativa.

Mediante cambios realizados por software el usuario tiene la posibilidad de redefinir, expandir o modificar las funciones existentes de los instrumentos virtuales.

La instrumentación virtual aprovecha el bajo costo de los ordenadores personales o las estaciones de trabajo y su alto grado de rendimiento en procesos de análisis para implementar un hardware y un software que permiten al usuario incrementar la funcionalidad del instrumento tradicional. Sin embargo, el que al usuario se le permita establecer las características del instrumento y de esta forma sus potencialidades y limitaciones es la

principal característica de esta herramienta. Con la ayuda de la instrumentación virtual se pueden simular distintos instrumentos tales como milímetros, osciloscopios, analizadores de señal, etc. Agregando además características tales como: análisis numérico, visualización, almacenamiento y procesamiento de datos, entre otras.

### **2.3.2 SOFTWARE PARA CONTROL DE INSTRUMENTOS VIRTUALES**

Como ya se ha mencionado previamente, el software es la parte fundamental del instrumento virtual. Este se utiliza para el manejo y control de los instrumentos de prueba, para la medición de magnitudes ó para el procesamiento de datos y señales. [8]

Siempre que se tenga el software adecuado, el diseñador del instrumento virtual será capaz de crear sus propias aplicaciones, implementando e integrando rutinas que requieren un proceso en particular. También es el que se encarga de programar las interfaces que mejor satisfagan el objetivo de la aplicación y de aquellos que van a interactuar con ellas; define como y cuando adquiere la aplicación los datos desde el dispositivo, como los procesa, como los manipula y almacena y como representar los resultados al usuario.

Si se tiene un software poderoso, se puede dotar a los instrumentos con capacidades de inteligencia y de toma de decisiones de tal manera que se adapten cuando las señales medidas varíen inadvertidamente o cuando se requiera mayor o menor potencia de procesamiento.

### **2.3.3 HARDWARE PARA CONTROL DE INSTRUMENTOS VIRTUALES**

Estos dispositivos son fundamentales para implementar cualquier aplicación en la instrumentación virtual, puesto que permiten relacionar en forma directa el concepto virtual desarrollado en el ordenador y el concepto instrumentación que se desarrolla físicamente, donde se encuentran instalados los sensores y actuadores, transformándose así en una interfaz absolutamente necesaria.

Los tipos de hardware que más se utilizan hoy en día son las tarjetas de adquisición de datos y los puertos de comunicación. Los puertos de comunicación son una serie de puertos que sirven para comunicar un ordenador con dispositivos externos. Un ejemplo de este tipo de puertos puede ser el puerto serie RS-232. La finalidad de las tarjetas es obtener un conjunto de

señales físicas y digitalizarlas, para que se puedan procesar mediante un ordenador. Un ejemplo de una tarjeta de adquisición de datos se muestra en la figura 9.

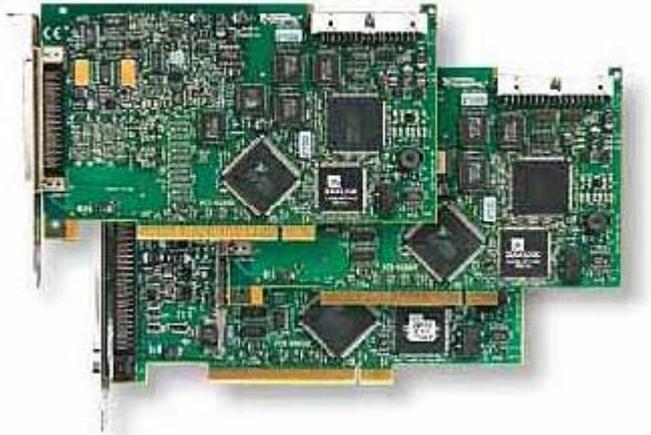


Figura 9. Tarjeta de adquisición de datos NI-6024

Dentro de las tarjetas de adquisición de datos se pueden distinguir dos tipos, aquellas que aceptan en sus contadores

entradas de señales proporcionadas por codificadores en cuadratura y las que no. Si no aceptan la señal del codificador en cuadratura mediante un hardware distinto o un software se tiene que obtener un sistema lógico, el cual interprete los resultados obtenidos por la tarjeta.[8],[9].

### 2.3.3 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL VERSUS TRADICIONAL

La arquitectura de los instrumentos tradicionales es muy similar a la de un instrumento virtual basado en un ordenador personal. Tanto la instrumentación tradicional como la virtual necesitan uno o más microprocesadores, puertos de comunicación y capacidad de mostrar resultados. Ambos cuentan con módulos de adquisición de datos. Lo que diferencia y proporciona ventaja al instrumento virtual es la flexibilidad y que es el usuario quien modifica la funcionalidad del instrumento.

La instrumentación virtual involucra tareas de procesamiento, análisis, almacenamiento y despliegue de datos relacionados con la medición de una señal específica, las cuales varían en función de las necesidades del usuario; la instrumentación tradicional, en cambio, se caracteriza por realizar funciones específicas, definidas por el fabricante, que no pueden ser modificadas por el usuario.

Los instrumentos tradicionales frecuentemente carecen de falta de portabilidad, mientras que los instrumentos virtuales que funcionan en los ordenadores portátiles automáticamente incorporan esta naturaleza portátil.

Los instrumentos autónomos tradicionales, como osciloscopios o generadores de onda entre otros, son muy poderosos, caros y diseñados para llevar a cabo tareas concretas definidas por el fabricante, sin que el usuario pueda extender o personalizar esas tareas. Las perillas y botones del instrumento, sus circuitos electrónicos y las funciones disponibles para el

usuario son todas específicas a la naturaleza del instrumento. Además son aparatos muy caros y lentos para adaptarlos debido a la tecnología especial y costosos componentes que se necesitan para construirlos.

En la siguiente tabla se mencionan algunas de las ventajas que ofrecen los instrumentos virtuales respecto a los tradicionales.[9]

<b>INSTRUMENTO TRADICIONAL</b>	<b>INSTRUMENTO VIRTUAL</b>
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones, conectividad amplia.
Hardware es la clave	Software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, variedad de funciones, reutilizable.
Arquitectura "cerrada"	Arquitectura "abierta"
Lenta incorporación de nuevas tecnologías	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento	Altas economías de escala, bajo costos de mantenimiento

Tabla 1. Diferencias entre la instrumentación tradicional y la instrumentación virtual.

### 2.3.4 PROGRAMACIÓN GRÁFICA

En el mercado hay una gran variedad de lenguajes de programación. Se distinguen en dos grupos generales, los lenguajes de programación y los lenguajes de programación gráfica. Algunos de los lenguajes de programación utilizan la denominación visual en su nombre (Ej., Visual C, Visual Basic, etc.) aunque no estén compuestos ni en un 50% de elementos visuales. Se les llama de esta manera por ser una combinación de objetos gráficos y texto. Sin embargo, los lenguajes de programación gráfica son un 100% gráficos, es decir permiten programar y desarrollar una aplicación sin utilizar texto. Este tipo de programas son la base de la instrumentación virtual. La programación gráfica se basa en cuatro elementos básicos [11],[12].:

- ❖ El uso de iconos, cables gráficos y controles-indicadores.
- ❖ Programación en base a un diagrama de bloques.
- ❖ El uso de dos ventanas de programación: panel frontal y diagrama de bloque.

- ❖ Ejecución del programa en base de flujo de datos, en forma paralela.

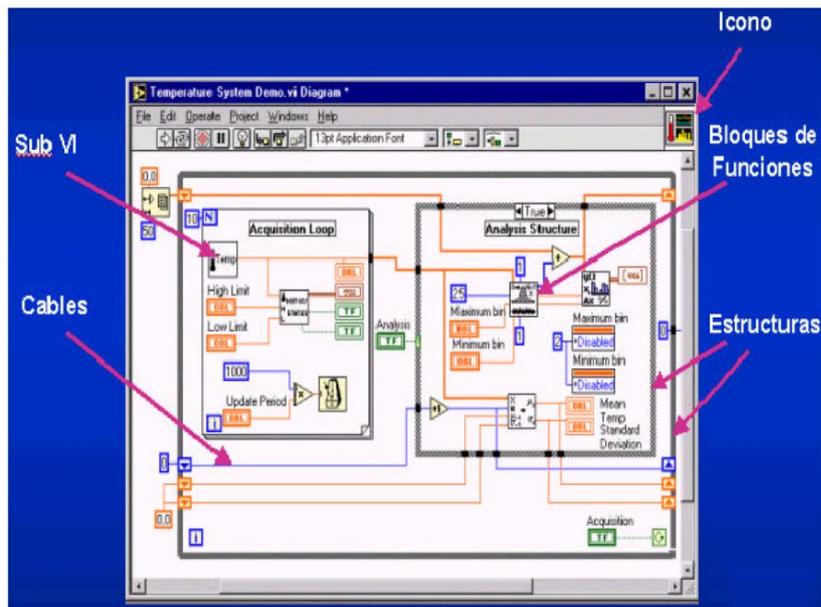


Figura 10. Aplicación desarrollada en programación grafica con software LabVIEW

Cada bloque o función cuenta con terminales de entrada y salida a derecha e izquierda respectivamente. La ejecución de los bloques es llevada a cabo cuando los datos son recibidos por las terminales de entrada. Esta ejecución puede darse en varios bloques a la vez y en un mismo programa. Cada programa se denomina como "Instrumento Virtual" o VI (según sus siglas en el idioma inglés), y puede incluir uno o más sub-VIs como una especie de subrutina.

En este tipo de programación, a cada tipo de dato (entero, punto-flotante, cadena de caracteres, etc.) se le asigna un color específico, permitiendo una rápida identificación en el código fuente. De este modo, se puede desarrollar una aplicación completa, basada en un lenguaje de programación altamente intuitivo, fácil de aprender, pero a la vez, tan poderoso y rápido como cualquier otro lenguaje de programación. Puesto que en este trabajo se trabaja concretamente con la programación gráfica en LabVIEW, se hará una breve introducción sobre ella y sus funciones básicas.

### 2.3.4.1 LABVIEW

La palabra LabVIEW está formada por las iniciales de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para el desarrollo de aplicaciones en el campo de la instrumentación. Con LabVIEW se puede hacer desde una adquisición de datos hasta el control remoto de instrumentos, pasando por el análisis de los datos o la presentación de los mismos. A continuación se resumen algunas de las ventajas que tiene el trabajar con LabVIEW [12],[13],[14]:

- ❖ Se reduce entre 4 y 10 veces el tiempo de desarrollo de las aplicaciones, puesto que es más intuitivo y fácil de aprender.
- ❖ Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones de tanto el hardware como del software.
- ❖ Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- ❖ Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- ❖ El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad posible.
- ❖ Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

La finalidad de LabVIEW es muy similar a la del lenguaje C o BASIC, en ambos el objetivo es el desarrollo de aplicaciones. Sin embargo, como ya se ha mencionado previamente, LabVIEW por ser un sistema de programación gráfica se diferencia del resto por la utilización del lenguaje G a la hora de crear los programas.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere de gran experiencia en programación, puesto que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros. Además, a la hora de construir las aplicaciones se basa en símbolos gráficos en lugar de

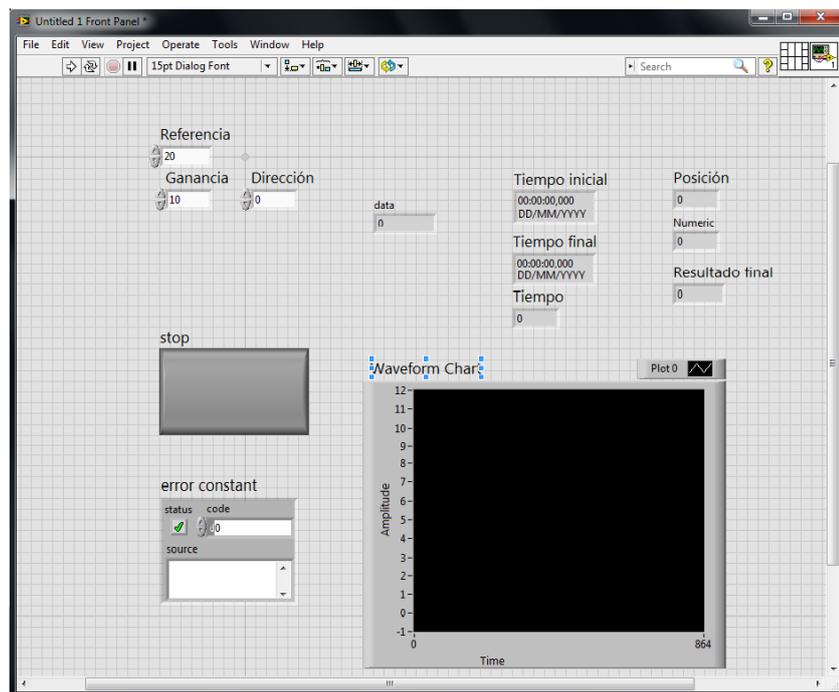


Figura 11. Panel frontal de un VI para el control de la posición.

lenguaje escrito. Por esta razón resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación.

LabVIEW además de poseer las funciones básicas de todos los lenguajes de programación, posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Entre las librerías específicas que incluye hay algunas específicas para la adquisición de datos, para el control de

instrumentación VXI, GPIB, y otras para el análisis, presentación y guardado de datos. LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

- **COMO TRABAJAR CON LABVIEW**

Los programas desarrollados mediante LabVIEW, aunque sean análogos a los creados por lenguajes de programación convencionales, se denominan instrumentos virtuales (VIs) puesto que su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real.

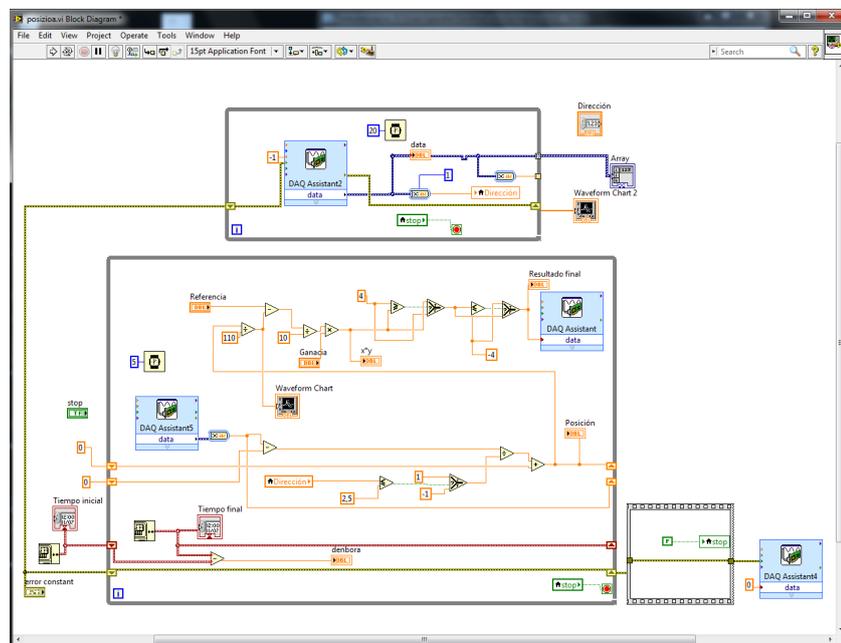
En LabVIEW todos los VI's están compuestos de un panel frontal y un diagrama de bloque. Para hacer la construcción de estos VI's se hace uso de las diferentes paletas. A continuación se dará una breve explicación de los componentes del VI.

→ **PANEL FRONTAL**

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de los elementos puede estar definido como un control o un indicador. Los controles sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos o resultados de alguna operación.

→ **DIAGRAMA DE BLOQUES**

El diagrama de bloque constituye el código fuente del VI. Aquí es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.



Las funciones y **Figura 12. Diagrama de bloques de un VI para el control de la posición.**

estructuras integradas en las librerías de LabVIEW se incluyen en el diagrama de bloque. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogos a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

El diagrama de bloques se construye conectando distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

LabVIEW posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle, for, while, case, etc.)

Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura o un terminal. Cada cable tiene un color o un estilo diferente, esto hace que se diferencien unos datos de otros.

#### → PALETAS

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



Figura 13. Paleta de controles

## 3. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

### 3.1 CARACTERIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SENSOR

El sensor con el cual se ha trabajado a lo largo de todo el proyecto ha sido un codificador angular, es decir, se han podido analizar distintas magnitudes debido al cambio en el ángulo. Este cambio se ha medido contando los pulsos en un determinado tiempo. Al no tener ningún dato conocido sobre el sensor se ha hecho la caracterización y la calibración del mismo manualmente y con la instrumentación virtual.

#### 3.1.1 TRABAJANDO CON EL OSCILOSCOPIO

##### 3.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR

La primera parte de este proyecto se ha basado en trabajar con el osciloscopio para hacer una descripción del sensor con el que se va a trabajar. El objetivo de ello ha sido hacer la caracterización del mismo, es decir saber cuál es la frecuencia máxima que puede alcanzar el sensor, para así saber la velocidad máxima con la que puede moverse el carro. Para hacer la caracterización se ha hecho un recuento del número de pulsos en un tiempo determinado, teniendo en cuenta un potencial de entrada constante. Este potencial ha sido de 5V para ambas señales. El tiempo durante el cual se ha hecho la caracterización ha variado entre 0.002 y 0.2 segundos. Para obtener la frecuencia máxima con la que puede trabajar el dispositivo se ha dividido el número de pulsos entre el tiempo transcurrido. Las gráficas obtenidas en dicho procedimiento se pueden observar en la figura 14.

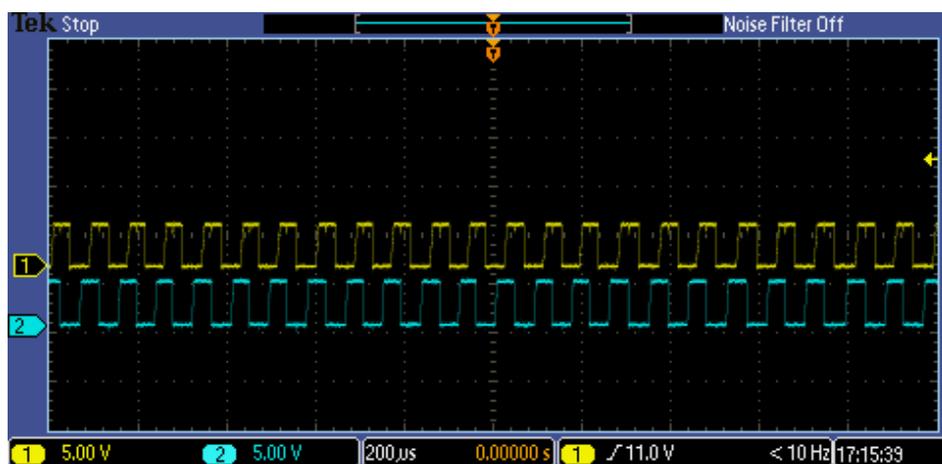


Figura 14. Indica los pulsos para ambas señales cuando el tiempo es de 0.002 segundos

Después de hacer varias medidas para los tiempos de 0.002, 0.02 y 0.2 segundos, los datos obtenidos se observan en la tabla 2.

$t_{\text{osci}} \text{ (s)}$	Pulsos	$\bar{v} \text{ (KHz)}$	$t_{\text{osci}} \text{ (s)}$	Pulsos	$\bar{v} \text{ (KHz)}$	$t_{\text{osci}} \text{ (s)}$	Pulsos	$\bar{v} \text{ (KHz)}$
0.002	21	10.5	0.02	185	9.25	0.2	1650	8.25
0.002	22	11	0.02	190	9.5	0.2	1750	8.75
0.002	21	10.5	0.02	220	11	0.2	1900	9.5
0.002	21	10.5	0.02	210	10.5	0.2	1750	8.75
0.002	23	11.5	0.02	200	10	0.2	1650	8.25
0.002	20	10	0.02	210	10.5	0.2	1800	9
0.002	22	11	0.02	205	10.25	0.2	1950	9.75
0.002	21	10.5	0.02	210	10.5	0.2	1900	9.5
0.002	22	11	0.02	62	3.1	0.2	1850	9.25
0.002	20	10	0.02	54	2.7	0.2	1850	9.25

Tabla 2. Valores de la frecuencia y el número de pulsos para 0.002, 0.02 y 0.2 segundos.

Una vez obtenidos los datos, se ha procedido a calcular la media y varianza en los tres casos. Para hacer estos cálculos se han utilizado las expresiones 1 y 2, respectivamente.

$$s_v^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad 1$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad 2$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

	0.002 seg	0.02 seg	0.2 seg
$\bar{v} \text{ (KHz)}$	10.65	10.18	9.03
$s_v^2 \text{ (KHz}^2\text{)}$	0.203	0.238	0.243

Tabla 3. Resultados de la media y la varianza cuando se ha trabajado con el osciloscopio

En la misma se puede observar los valores obtenidos de la media de la frecuencia y la varianza para los tres casos ya mencionados. Haciendo una observación se puede ver que el valor medio de la frecuencia esta alrededor de 10KHz, considerando este el valor máximo que se puede alcanzar, aunque en el caso en que el tiempo sea de 0.2 sea más pequeño. Si se estudia la varianza se observa que en los tres casos es similar y que al ser del orden de 0.2 se puede considerar que los datos son bastantes similares entre sí.

### 3.1.1.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR

También se ha calculado la velocidad con la que se ha movido el carro. Para ello en cada medida se ha obtenido manualmente la distancia recorrida por el carro y el tiempo transcurrido en recorrer dicha distancia. Para calcular la velocidad se ha utilizado la expresión 3.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad 3$$

donde  $\Delta x$  es la distancia recorrida por el carro y  $\Delta t$  es el tiempo que el carro ha estado en movimiento. Los resultados obtenidos para la velocidad se muestran en la tabla 4.

x (cm)	t <sub>crono</sub> (s)	v (cm/s)	x (cm)	t <sub>crono</sub> (s)	v (cm/s)	x (cm)	t <sub>crono</sub> (s)	v (cm/s)
32.2	0.16	201.25	41.3	0.16	258.12	28.3	0.15	188.67
37.7	0.15	251.33	33	0.18	183.33	29.5	0.16	184.38
41	0.16	256.25	36.5	0.19	192.11	28.5	0.19	150
39	0.16	243.75	39	0.15	260	28.3	0.16	176.88
40	0.16	250	35	0.16	218.75	28.4	0.15	189.33
38.5	0.16	240.63	37	0.16	231.25	28.5	0.15	190
38.2	0.16	238.75	35.5	0.16	221.88	28.4	0.16	177.5
39.5	0.17	232.35	36.5	0.15	243.33	28.6	0.16	178.75
38.9	0.16	243.35	35.5	0.15	236.67	28.4	0.17	167.06
38.4	0.16	240	36	0.17	211.76	28.5	0.18	158.33

Tabla 4. Muestra los resultados obtenidos para la velocidad en distintos tiempos trabajando con el osciloscopio.

Así se puede ver que las velocidades obtenidas en la columna de la izquierda son cuando el tiempo del osciloscopio ha sido de 0.002 segundos. Los valores del centro cuando el tiempo ha sido de 0.02 segundos y los de la derecha cuando el tiempo ha sido de 0.2 segundos. Como los tiempos transcurridos son muy pequeños se ha hecho la medición del tiempo con un cronómetro para ver el tiempo que el carro ha estado en movimiento.

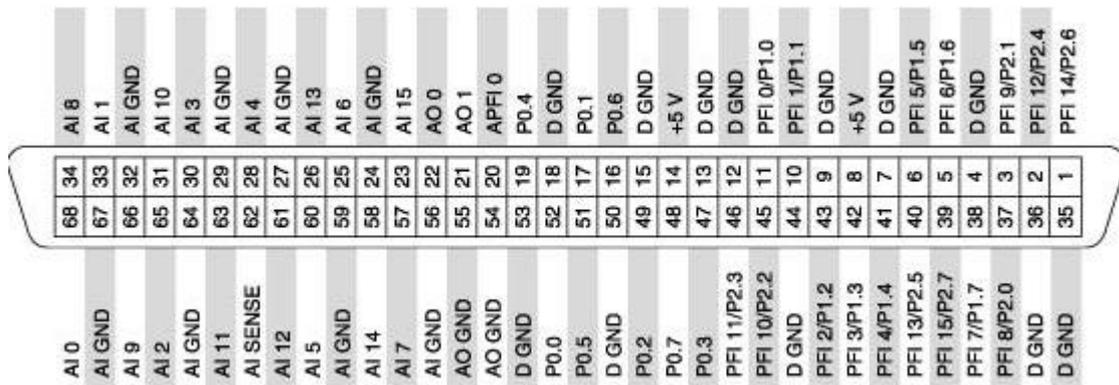
### 3.1.2 TRABAJANDO CON LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Una vez finalizada esta parte se ha empezado a trabajar con la instrumentación virtual. El objetivo ha sido crear un controlador para la posición de un carro, aunque antes de comenzar a crearlo se ha vuelto a hacer la caracterización y calibración de la señal.



Figura 15. Esquema del sistema completo con el cual se ha trabajado

Para ello se ha necesitado un codificador, una tarjeta de adquisición de datos y un software. El esquema con el que se ha trabajado se observa en la figura 15. El codificador angular ha ido incluido en un motor dc que a lo largo de todo el procedimiento se le ha llamado como un carro, en este caso, el codificador ha sido como una caja negra, puesto que no se ha conocido ningún dato de él. El motor ha ido unido a una tarjeta de adquisición de datos, en concreto la NI-6024, se puede ver en la figura 9, la cual ha sido el hardware del sistema. Este tipo de tarjetas no aceptan en sus señales contadores proporcionados por señales de codificador de cuadratura, por lo tanto es necesario lograr un sistema lógico para la detección de la dirección de movimiento y también para el contaje de pulsos. Este sistema se ha obtenido haciendo uso de LabVIEW .



### 3.1.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR

Para hacer la caracterización se ha construido un VI con el cual se han creado gráficas como las que se muestran en la figura 18. De estas gráficas se han obtenido el número de pulsos para distintos intervalos de tiempo, los cuales han sido los mismos que los utilizados para el osciloscopio.

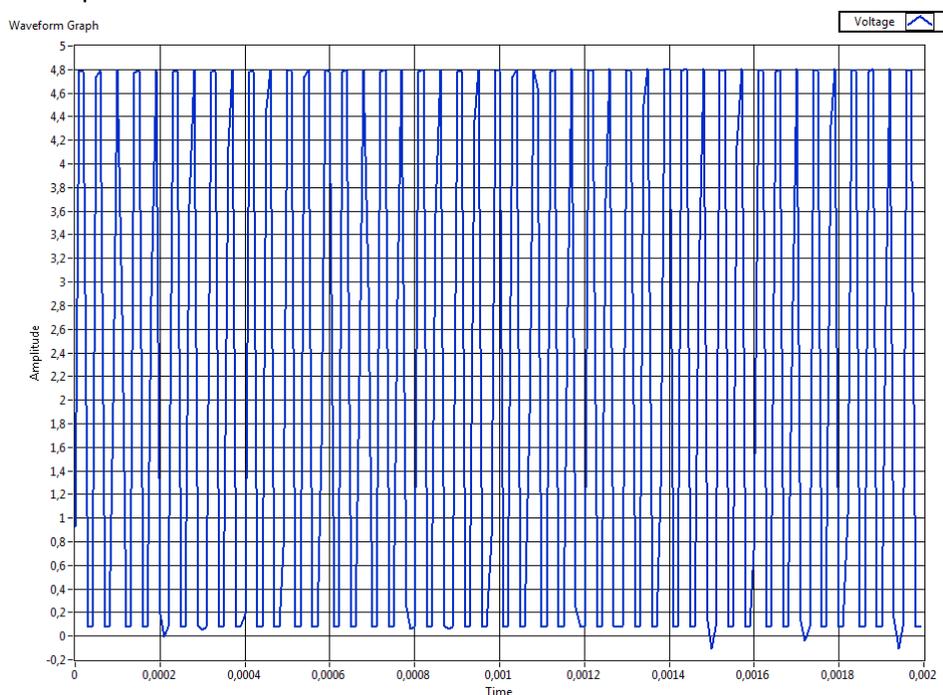


Figura 18. Gráfica de la señal obtenida en 0.002 segundos.

Al igual que con el osciloscopio en este caso también se ha calculado la frecuencia máxima y se hecho la media y la varianza de los tres casos. Los datos obtenidos para la frecuencia máxima se muestran en la tabla 5 y los resultados de los posteriores cálculos se muestran en la tabla 6.

$t_{labview}$	Pulsos	$\bar{v}$ (KHz)	$t_{labview}$	Pulsos	$\bar{v}$ (KHz)	$t_{labview}$	Pulsos	$\bar{v}$ (KHz)
0,002	24	12	0,02	430	21,5	0,2	4500	22,5
0,002	35	17,5	0,02	305	15,25	0,2	4000	20
0,002	42	21	0,02	460	23	0,2	3900	19,5
0,002	35	17,5	0,02	450	22,5	0,2	4100	20,5
0,002	27	13,5	0,02	440	22	0,2	3900	20
0,002	43	21,5	0,02	375	18,75	0,2	4350	21,5
0,002	34	17	0,02	470	23,5	0,2	4300	21
0,002	24	12	0,02	440	22	0,2	4300	21,25
0,002	49	24,5	0,02	400	20	0,2	3800	21
0,002	41	20,5	0,02	470	23,5	0,2	3900	20,5

Tabla 5. Valores de la frecuencia para distintos tiempos obtenidos con Labview.

La tabla 5 muestra el número de pulsos, el tiempo y la frecuencia que se han obtenido en tres casos distintos. Con estos datos se ha calculado la media de la frecuencia y la varianza con las expresiones 1 y 2. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

	0.002 seg	0.02 seg	0.2 seg
$\bar{v}$ (KHz)	17.7	21.2	20.53
$s_v^2$ (KHz <sup>2</sup> )	16.26	5.97	1.31

Tabla 6. Resultados de la media y la varianza cuando se ha trabajado con LabVIEW

Haciendo una observación de la media de la frecuencia se observa que el valor obtenido es bastante distinto en cada caso, además la varianza es bastante alta, esto significa que los datos obtenidos distan bastante unos de otros.

### 3.1.2.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR

Al igual que con el osciloscopio, trabajando con LabVIEW también se ha calculado la velocidad con la que se ha movido el carro. Para ello se ha creado un VI con el cual se ha podido calcular la cantidad de pulsos en un tiempo determinado, y manualmente se ha obtenido la distancia recorrida por el carro.

La especificación del tiempo durante el cual se ha querido hacer la medición se ha determinado indicando el número de muestras que se han querido obtener. Si el número de muestras ha sido de 100000, entonces el carro ha estado en movimiento alrededor de un segundo. Y si ha sido de 450000, entonces el carro ha estado en movimiento aproximadamente 4.5 segundos.

Para cada valor distinto del voltaje y del número de muestras se han hecho un total de diez mediciones en las cuales se han recopilado el número de pulsos total, la distancia recorrida por el carro y el tiempo total transcurrido. Una vez obtenidos todos los datos se ha calculado la media de la velocidad y del número de pulsos por centímetro haciendo uso de las expresiones 4 y 5, obteniéndose los valores mostrados en la tabla 7.

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad 4$$

$$\overline{\text{pulsos/cm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{pulsos}}{\text{cm}} \right)_i \quad 5$$

	50000 muestras		100000 muestras		250000 muestras		450000 muestras	
<b>VOLTAJE</b>	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
<b>v(cm/s)</b>	8.4	6.82	9.6	6.45	11.51	7.77	10.52	6.59
<b>Pulsos/cm</b>	100	103.6	104	105	107	108	109	109
<b>VOLTAJE</b>	2.5	-2.5	2	-2	1.5	-1.5	0.75	-0.75
<b>v(cm/s)</b>	37.81	35.37	29.32	26.34	18.89	15.25	7.33	4.69
<b>Pulsos/cm</b>	92	94	102.5	103	108	108	107.5	109
<b>VOLTAJE</b>	5	-5	2.5	-2.5				
<b>v(cm/s)</b>	88.51	85.68	38.86	36.11				
<b>Pulsos/cm</b>	91	91	102	102				

Tabla 7. Valores de la velocidad obtenidos trabajando con LabVIEW.

Después de hacer la calibración se observa que el número de pulsos por centímetro es de 110 y que la velocidad media del carro es de 10cm/seg cuando el voltaje es de 1V. Estos datos serán considerados más adelante.

Antes de comenzar a crear más VI's se va a dar una breve explicación de cómo se ha aplicado el sensor en este proyecto.

### 3.2 APLICACIÓN DEL SENSOR

El sistema físico que se ha analizado ha sido un pequeño carro que consta de un motor dc que se ha desplazado horizontalmente gracias a una transmisión piñón-cremallera. La descripción del mismo se puede observar en la figura 19. El motor está compuesto de un codificador del cual no se sabe nada, es decir, en este

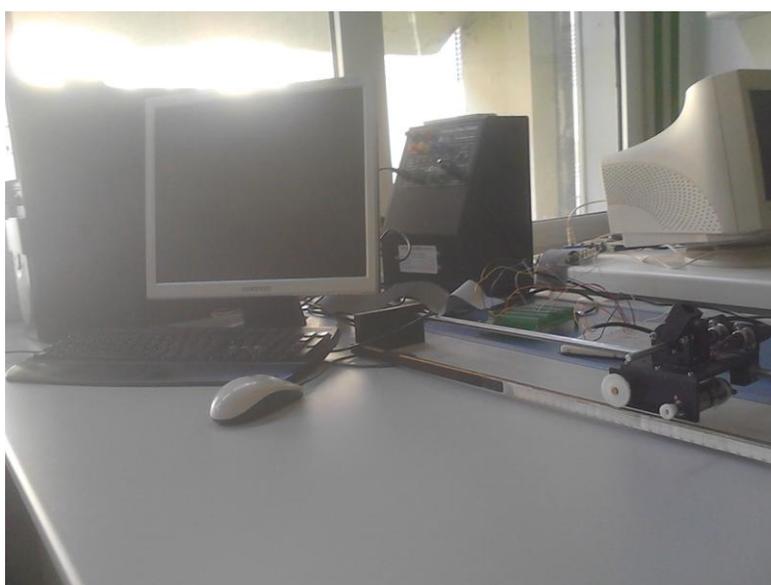


Figura 19. Sistema físico utilizado en el proyecto

proyecto el codificador se ha considerado como una caja negra. El software utilizado para la creación del sistema lógico ha sido el programa de programación gráfica LabVIEW.

### 3.2.1 MODELO MECÁNICO DEL SISTEMA

Antes de comenzar a trabajar con LabVIEW se ha hecho un modelo mecánico del sistema y una simulación haciendo uso de Scilab, el cual es un software de cálculo científico orientado a la computación numérica. Posee una extraordinaria versatilidad y capacidad para resolver problemas de matemática aplicada, física, ingeniería, procesamiento de señales y otras muchas aplicaciones. El sistema analizado se muestra en la figura 20.

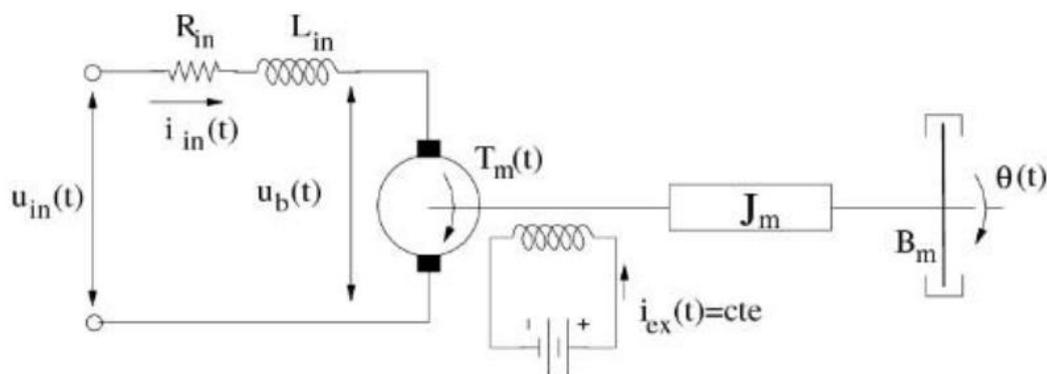


Figura 20. Esquema eléctrico y mecánico de un motor dc.

Lo primero que se ha hecho ha sido hallar la función de transferencia mediante las ecuaciones eléctrica y mecánica del sistema. Estas corresponden a las ecuaciones 6 y 7.

$$u_{in}(t) = R_{in}i_{in}(t) + L_{in} \frac{di_{in}(t)}{dt} + u_b(t) \quad 6$$

$$T_m(t) - T_l(t) = J_m \frac{dw(t)}{dt} + B_m w(t) \quad 7$$

Se han considerado nulas tanto la inductancia de la armadura (L) como la resistencia viscosa del motor (B). De este modo las ecuaciones 6 y 7 quedan de la siguiente forma.

$$u_{in}(t) = R_{in}i_{in}(t) + K_b \frac{x(t)}{r_{rotor}} \quad 8$$

$$T_m(t) - T_l(t) = J_m \frac{x''(t)}{r_{rotor}} \quad 9$$

Haciendo la transformada de Laplace en las ecuaciones anteriores y considerando las condiciones iniciales nulas, se obtienen las siguientes expresiones respectivamente.

$$V(s) = RI(s) + K_b s \frac{X(s)}{r_{rotor}} \quad 10$$

$$K_m I(s) = (J_m + M_c r_{rotor}^2) \frac{s^2 X(s)}{r_{rotor}} \quad 11$$

Operando con ambas expresiones y recordando que la función de transferencia se define como la función de salida entre la de entrada, la función de transferencia del sistema ha quedado de la siguiente forma:

$$F(s) = \frac{X(s)}{V(s)} = \frac{K_m r_{rotor}}{s[(J_m + M_c r_{rotor}^2)Rs + K_m K_b]} \quad 12$$

Se debe tener en cuenta que el radio del rotor no es el mismo que el de la rueda con el que se han hecho todas las mediciones. La relación entre ambos es la siguiente:

$$r = 3.71 r_{rotor} \quad 13$$

Además el fabricante también proporciona varios valores fijos sobre el sistema:

<i>Masa del dispositivo:</i>	$M_c = 822 \text{ gr} = 0.822 \text{ Kg}$
<i>Radio del piñón:</i>	$r = 6.35 \text{ mm} = 6.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
<i>Resistencia de la armadura:</i>	$R = 5 \Omega$
<i>Inercia de la armadura:</i>	$J_m = 0.552 \cdot 10^{-4} \text{ oz} \cdot \text{in} \cdot \text{s}^2 = 3.898 \cdot 10^{-7} \text{ Kg m}^2$
<i>Constante del par motor:</i>	$K_m = 2.57 \text{ oz} \cdot \text{in}/\text{A} = 0.01815 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{rad}$
<i>Constante de la f.c.e.m del motor:</i>	$K_b = 1.905 \text{ mV}/\text{rpm} = 18.1914 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s}/\text{rad}$

Haciendo este cambio, sustituyendo los valores conocidos y realizando una serie de simplificaciones, la función de transferencia obtenida ha sido la siguiente:

$$F(s) = \frac{2.22}{s(s+23.602)} \quad 14$$

Una vez que se tiene la función de transferencia se ha procedido a hacer la simulación mediante Scilab. Se ha hecho con el sistema indicado en la figura 21.

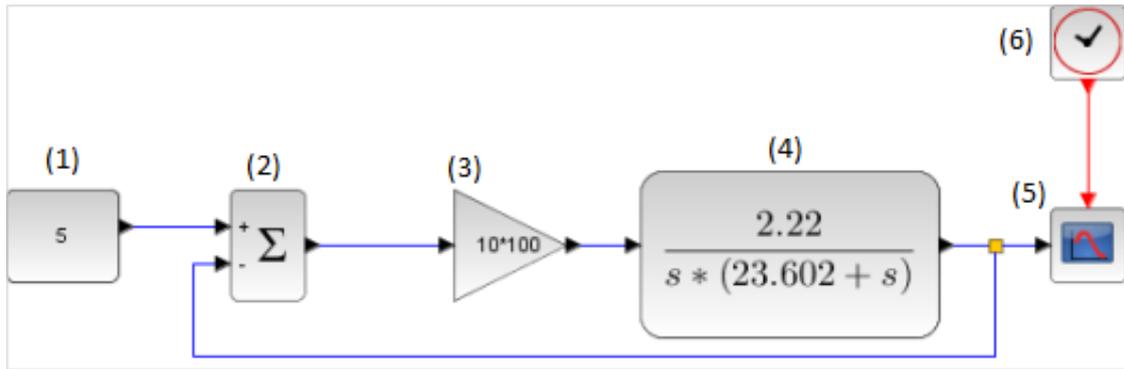


Figura 21. Esquema de la simulación hecha mediante Scilab

En esta simulación las variables han estado relacionadas con el primer y el tercer bloque. El primer bloque indica la referencia con la que se ha trabajado, en este caso la variación en la posición, por lo tanto la referencia ha variado entre 0 y 50cm. El tercer bloque indica la ganancia que se le ha dado al sistema, esta tiene que ser equivalente a la que se ha dado en el VI correspondiente al control de la posición. Esta equivalencia se consigue considerando la ganancia en Scilab diez veces menor que en LabVIEW. Las gráficas obtenidas haciendo la simulación tienen la forma de la figura 22.

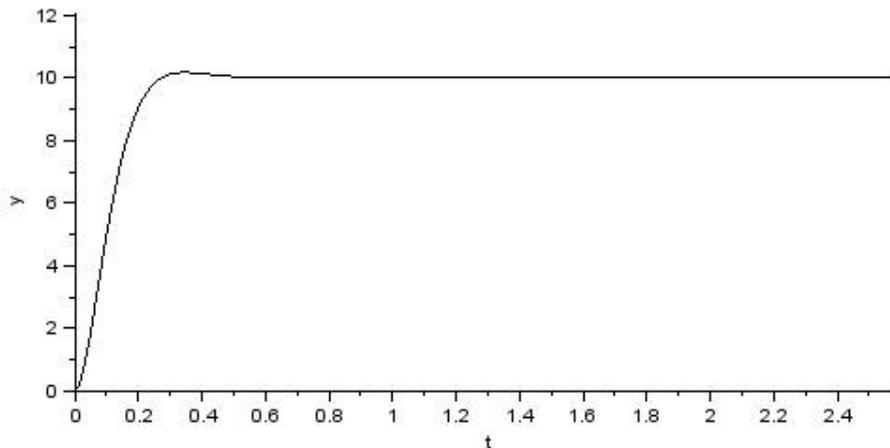


Figura 22. Gráfica obtenida en Scilab cuando la referencia es 10 centímetros y la ganancia es 1.

### 3.2.2 VI CONTROL POSICIÓN

A continuación se ha procedido a crear un VI con LabVIEW para el control de la posición<sup>1</sup>. Este VI se puede observar que está compuesto por dos bucles while. El bucle while es una estructura que repite una sección de código hasta que se cumpla una condición determinada. Con el bucle while pequeño se ha conseguido saber la dirección que toma el carro. Para ello se ha hecho uso de las señales A y B del carro. Se ha hecho la observación de las señales en un instante determinado. Este instante se ha determinado mediante un triggering. El objetivo del triggering es que diese el valor del voltaje de ambas señales en el mismo instante. Entonces si el voltaje obtenido para la señal A es mayor que el obtenido para

la señal B, se sabe que la señal A esta adelantada respecto a B, en cambio si el voltaje obtenido para ambas señales es el mismo quiere decir que se está en el caso en el que B esta adelantado respecto a A. Si se está en el primer caso, entonces el carro se mueve en la dirección positiva del eje x, y si se está en el segundo, significa que se mueve en la dirección negativa.

Una vez que se sabe en la dirección en la que se mueve el carro, se la ha impuesto que no cambie la dirección de movimiento, a menos que así se le indique. Esta parte se ha hecho en el bucle grande mediante el uso de una variable local. En el caso que se está analizando se ha considerado que el carro se mueve en la dirección positiva del eje x, es decir, hacia la derecha cuando el voltaje de referencia impuesto es positivo. En cambio, el carro se mueve hacia la izquierda cuando este es negativo.

El "DAQ Assistant5" sirve para obtener la cantidad de pulsos que crea la señal A en un tiempo determinado. El objetivo del siguiente procedimiento ha sido convertir estos pulsos en voltaje. Para ello primero el valor obtenido se ha dividido entre 110pulsos/cm obteniendo el valor en centímetros. Después este valor ha sido restado al valor de referencia, obteniendo de esta forma un error. En este VI el valor de referencia ha sido una posición, la cual ha variado entre 0 y 50 centímetros.

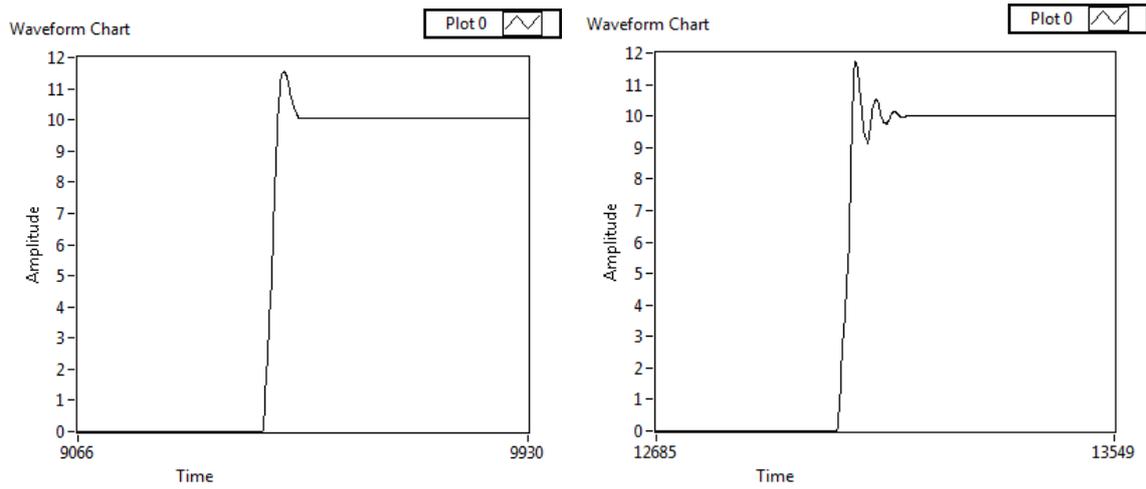
El siguiente paso ha sido dividir el error entre 10, siendo esta la distancia media recorrida por el carro cuando el voltaje ha sido de 1V. Los valores 110 y 10 se han obtenido haciendo la calibración del carro que se ha medido previamente. Como el valor que se ha obtenido hasta este momento ha sido muy pequeño, puesto que es un error, se ha multiplicado por la ganancia para obtener un valor razonable. Por último, se ha hecho una comparación para asegurar que el valor obtenido se mantuviese entre -4V y 4V.

Después de hacer este procedimiento el resultado final que obtenemos indica el voltaje con el cual se mueve el carro. Para comprobar el funcionamiento de este VI se han hecho distintas medidas variando tanto la referencia como la ganancia. Con cada valor de la referencia y de la ganancia se han hecho 5 mediciones, en la tabla 8 se muestran los valores medios para cada valor distinto de la referencia y la ganancia.

Referencia	Ganancia	x (cm)	Pulsos	Revoluciones (rueda pequeña)
10	40	10,12	1099,8	2,536
10	30	9,88	1097	2,476
10	20	10	1101,6	2,506
10	10	10,2	1119,4	2,548
10	5	9,72	1092	2,436
Referencia	Ganancia	x (cm)	Pulsos	Revoluciones (rueda pequeña)
20	40	20,14	2198,4	5,048
20	30	19,92	2196	4,993
20	20	19,9	2198,8	4,988
20	10	20,22	2220,6	5,068
20	5	19,6	2174,4	4,944
Referencia	Ganancia	x (cm)	Pulsos	Revoluciones (rueda pequeña)
50	40	50,2	5495,6	12,582
50	30	49,86	5498	12,496
50	20	49,76	5489,8	12,475
50	10	50,12	5513,6	12,562
50	5	49,34	5453,2	12,366

Tabla 8. Muestra la distancia, los pulsos y las revoluciones para valores de la ganancia y la referencia.

A la par con estas medidas también se han obtenido unas gráficas de la posición del carro que más adelante se compararán con aquellas obtenidas en Scilab. Las gráficas obtenidas se muestran en la figura 23.



**Figura 23.** Gráficas obtenidas con el VI previamente explicado cuando la referencia es de 10 centímetros en ambos y la ganancia es de 10 para el de la izquierda y 40 para el de la derecha.

Las gráficas anteriores obtenidas con el VI que controla la posición describen el trayecto que ha recorrido el carro. Se observa que cuanto más pequeña es la ganancia menos oscilaciones hace el carro alrededor del punto de referencia indicado. También se puede observar que el rebose de la señal no cambia con la variación de la ganancia.

## 4. CONCLUSIÓN

---

De la comparación de las tablas 2 y 4 se observa que la caracterización de la señal es recomendable hacerla para intervalos de tiempo muy pequeños como puede ser 0.002 segundos. Como el movimiento del carro se ha hecho manualmente, ha sido difícil mantener siempre la misma velocidad de movimiento, por lo tanto cuanto más tiempo se ha estado moviendo el carro los resultados obtenidos son menos fiables. De aquí se puede determinar que los valores de la frecuencia máximos oscilan alrededor de los 10KHz.

Comparando la varianza en ambos casos, se observa que cuando se ha trabajado con LabVIEW es mucho mayor que aquella obtenida con el osciloscopio. De aquí se puede concluir que el contaje de pulsos es más eficaz hacerlo con el osciloscopio, puesto que es más preciso a la hora de medir el tiempo.

Haciendo una observación de los datos obtenidos cuando se ha hecho la calibración con LabVIEW, se puede percibir que los resultados cuando se ha impuesto un voltaje negativo son considerablemente más pequeños que con un voltaje positivo. Esto puede ser debido a que la resistencia que ejercen los cables a la hora de que el carro se mueva a la izquierda es mayor que la que ejercen cuando este se mueve hacia la derecha.

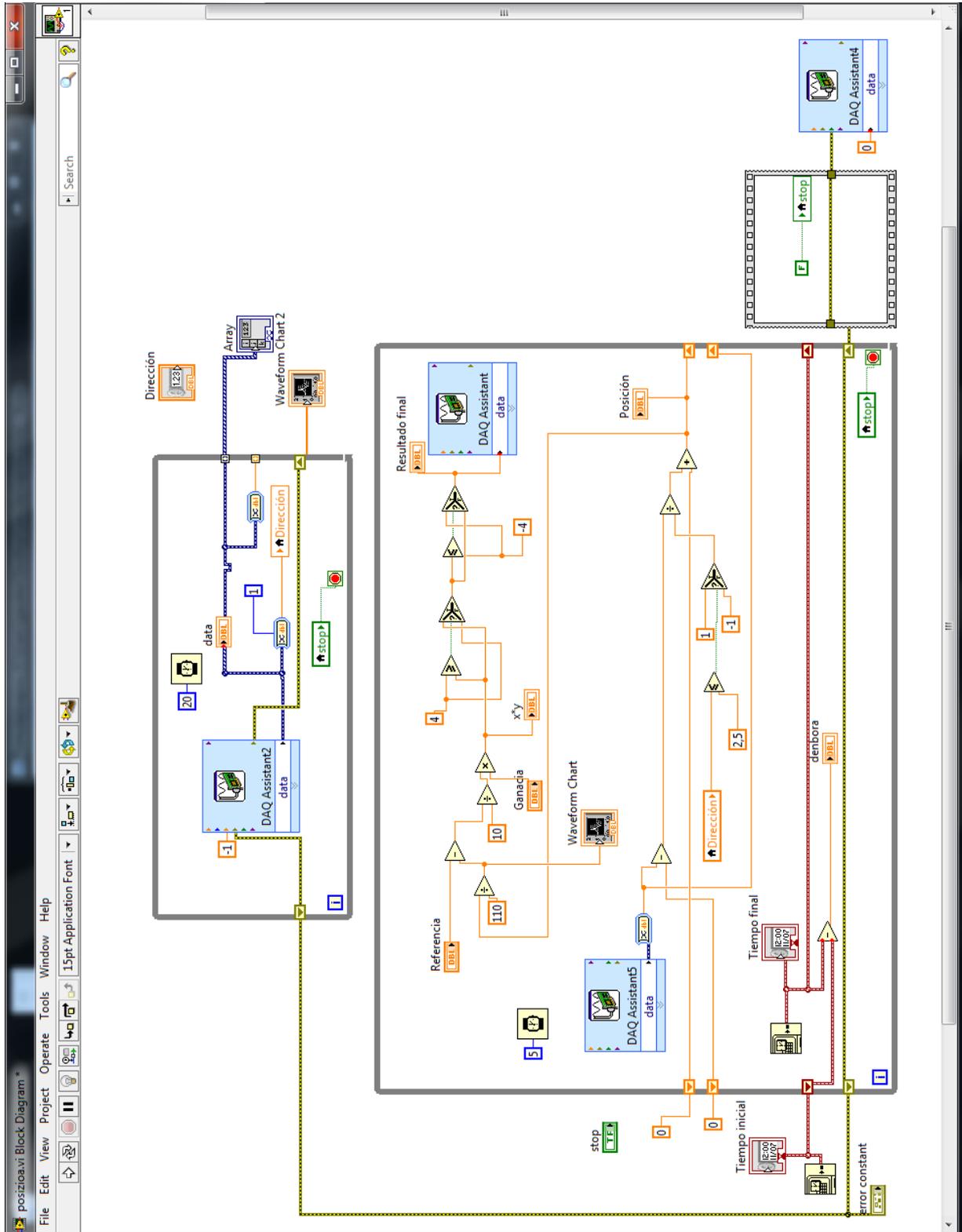
Con el VI de la posición se obtuvieron las distintas distancias recorridas por el carro haciendo la variación en la referencia como en la ganancia. Observando la tabla 8 se ve que la distancia recorrida es muy similar a la referencia especificada en cada caso, por tanto se puede concluir que el VI creado funciona correctamente.

Si se observan las figuras 22 y 23, se puede observar que los resultados en ambos casos son iguales en forma, aunque las gráficas obtenidas con Scilab tienen menos amplitud cuando la ganancia es pequeña y más cuando es grande. Esto puede ser debido a que al hacer la simulación en Scilab no se han tenido en cuenta ni la influencia de los cables ni las no linealidades del sistema como puede ser la saturación del mismo.

También se intento crear un VI para el control de velocidad, pero el programa al no ser un sistema de tiempo real, los resultados obtenidos del mismo no eran muy razonables. De todas formas se puede concluir que el programa creado en LabVIEW para el control de la posición es válido puesto que no se ha tenido que tener en cuenta el tiempo.

# 5. ANEXO

En esta imagen se muestra el VI creado para el control de la posición del carro.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Mayne J., Sensores, acondicionadores y procesadores de señal, 2003  
<http://www.jcee.upc.es/JCEE2002/MAYNEPONENCIA.pdf>.
- [2] Pallás Areny, Sensores y acondicionadores de señal, Capitulo 1, Barcelona 2005.
- [3] Miguel A. Perez García y otros. Instrumentación Electrónica. Editorial Thomson, Madrid 2004.
- [4] Clarence W. De Silva, Sensors and actuators. Control system instrumentation, Editorial CRC Press, 2007.
- [5] Encoder measurements: How to guide, <http://www.ni.com/white-paper/7109/en/>, 2012.
- [6] Automatización industrial. Control de velocidad de motores. Sensores de retroalimentación de servosistemas, 2013.  
[http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad\\_de\\_motores\\_electricos5.php](http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos5.php)
- [7] El encoder, 2008, [http://www.mcbtec.com/Funcionamiento\\_Encoder.pdf](http://www.mcbtec.com/Funcionamiento_Encoder.pdf)
- [8] La instrumentación virtual, 2003,  
<http://www.tracnova.com/tracnova-pub/La%20Instrumentaci%F3n%20Virtual.pdf>
- [9] Programación de control mediante LabVIEW, capítulo 1, 3 y 6
- [10] N. PATRASCOIU A. POANTA A. TOMUS and B. SOCHIRCA, Virtual instrumentation used for displacement and angular speed measurements, Physical review, Issue 2, volume 5, 2011.
- [11] Capítulo 7. Instrumentación virtual, 2013,  
[http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion\\_y\\_Control/Ivan\\_Velazquez/Catedra/Capitulo%207.%20Instrumentacion%20Virtual.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%207.%20Instrumentacion%20Virtual.pdf)
- [12] Lajara J. R., Pelegrí J., LabVIEW: Entorno de programación gráfica, Introducción, 2007.
- [13] National Instruments Corporation, Introducción a LabVIEW; Curso de seis horas, septiembre 2003.
- [14] Tutorial de LabVIEW, 2013,  
[http://www.gte.us.es/ASIGN/IE\\_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf](http://www.gte.us.es/ASIGN/IE_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf)
- [15] Sistemas de test automático, curso laboratorio, edición UPC, 1998.  
<http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20de%20test%20automatico.%20Curso%20de%20laboratorio/EE01701C.pdf>
- [16] Que es LabVIEW, 2013, <http://www.ni.com/labview/why/esa/>