

---

# Controladores

En nuestros días los controladores tienen una amplia gama de aplicaciones, esto es debido a que poseen una gran precisión. En el presente capítulo, en el primer apartado, se describe de manera general los principios de funcionamiento de los motores a pasos. En el siguiente punto se hace una introducción a la instrumentación virtual a través de labview y el manejo de la comunicación remota. Finalmente, en la última parte del capítulo se introduce lo relacionado con el controlador de diodos láser.

## 3.1. Funcionamiento de los motores a pasos.

Los motores a pasos son muy utilizados en la actualidad para el desarrollo de mecanismos que requieren de una alta precisión. Este tipo de motores poseen cualidades especiales por el hecho de poderlos mover desde un paso hasta una secuencia interminable de pasos dependiendo de la cantidad de pulsos que se les aplique. Este paso puede ir desde pequeños movimientos de  $1.8^\circ$  hasta  $90^\circ$ . Es por eso que este tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden controlarse con precisión por el usuario según la secuencia que se les indique. Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada o bien totalmente libres si no existe corriente alguna circulando por sus bobinas. Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser exactamente manejada por un controlador. Existen dos tipos de motores

a pasos, de imán permanente que son los más utilizados en robótica: unipolares y bipolares. A continuación se muestra una descripción de estos dos tipos de motores y una imagen del tipo de motor utilizado en este proyecto configurado en forma unipolar.



Figura 3.1: Motor a pasos.

### 3.1.1. Unipolares.

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida dependiendo de su conexión interna, que suelen ser comúnmente 4 cables por los cuales se reciben los pulsos que indican al motor la secuencia y duración de los pasos y los restantes sirven como alimentación al motor.

#### **Secuencias para manejar motores a pasos unipolares.**

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Para revertir el sentido del giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

- Secuencia Normal

Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención. En la tabla 3.1.1-1 se muestran los valores de voltaje que deben suministrarse al motor para la realización de los pasos:

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	+V	-V	-V
2	-V	+V	+V	-V
3	-V	-V	+V	+V
4	+V	-V	-V	+V

Tabla 3.1.1-1: Secuencia normal de pasos para motores unipolares.

■ Secuencia del tipo wave drive

En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave, pero por otro lado al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor. En la tabla 3.1.1-2 se muestran los valores que deben suministrarse al motor:

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	-V	-V
2	-V	+V	-V	-V
3	-V	-V	+V	-V
4	-V	-V	-V	+V

Tabla 3.1.1-2: Secuencia de tipo wave drive de pasos para motores unipolares.

- Secuencia del tipo medio paso

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que se realice un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. En la tabla 3.1.1-3 se ve la secuencia completa que consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	-V	-V
2	+V	+V	-V	-V
3	-V	+V	-V	-V
4	-V	+V	+V	-V
5	-V	-V	+V	-V
6	-V	-V	+V	+V
7	-V	-V	-V	+V
8	+V	-V	-V	+V

Tabla 3.1.1-3: Secuencia de tipo medio paso para motores unipolares.

### 3.1.2. Bipolares.

Este tipo de motores tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos métodos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Es necesario además un puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor paso a paso de 4 cables (dos bobinas), se necesitaran usar dos puentes H.

#### Secuencias para manejar motores a pasos bipolares.

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en las bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolar:

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Tabla 3.1.2-1: Secuencia para manejar motores bipolares.

Como comentario final al tema de los motores a pasos cabe destacar que debido a que estos son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice movimiento alguno en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulsos baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada.

## 3.2. Controlador del motor a pasos

Un controlador de dispositivos, es un medio a través del cual se puede interactuar con un elemento secundario. Se puede esquematizar como un módulo que le indica a otro sistema, el funcionamiento que debe de llevar a cabo. Por tanto, es una pieza esencial, sin la cual no se podría manipular el hardware.

Como se describió en el apartado anterior, los motores a pasos requieren de una secuencia de pulsos en sus bobinas para generar su movimiento.

En este caso el controlador es la parte electrónica que se encarga de interpretar las señales y secuenciar los pulsos para mover el motor a pasos configurado en forma unipolar, basado en un PIC 16F84 o 16F627 y en conjunto con la DAQ USB6009 de National Instruments se puede manipular la dirección y los pasos que debe enviar dicho controlador.

## 3.3. Introducción a la instrumentación virtual.

La instrumentación está presente en muchos ámbitos de nuestra vida. Un aparato de instrumentación consta básicamente de dos tipos de elementos: indicadores (monitores) y controladores (controles). Los indicadores muestran la información de una magnitud física. Por ejemplo, el indicador de velocidad de un automóvil monitoriza la velocidad a la que circula el coche en cada instante. El tacómetro, muestra las revoluciones por minuto a las que gira el motor del coche. Los indicadores pueden mostrar la información de forma gráfica o de forma numérica.

La forma clásica de los indicadores de velocidad y tacómetros es gráfica: se trata de una aguja de tipo reloj que apunta sobre una cantidad escalada del valor de velocidad o revolución real, Fig.3.2. Pero actualmente también se utilizan indicadores numéricos para las mismas funciones: velocímetros y cuenta revoluciones que muestran la información en números.

En cuanto a los controles, son elementos que, al contrario que los indicadores que sólo son capaces de mostrar la información de un proceso pero sin poder actuar sobre él, son capaces de incidir sobre el proceso y así poder controlar alguna de sus magnitudes.

Cuando en verano hace mucho calor y viajamos en automóvil, establecemos la temperatura deseada en el interior del coche utilizando el fijador/regulador de temperatura del clima (aire acondicionado con termostato), y a continuación el dispositivo climatizador actúa en conse-

cuencia proporcionando aire fresco hasta llegar a la temperatura deseada.

En los controles, se distinguen los de control on/off (interruptores, pulsadores, conmutadores), y los de control variable (reguladores, potenciómetros, ajustadores), los cuales permiten establecer el valor que se desea para una magnitud dada.



Figura 3.2: Panel de un automóvil: tacómetro y reloj (izquierda), velocímetro y kilometraje (derecha), ordenador de a bordo (centro abajo), temperatura del motor y estado del depósito de combustible (centro arriba).

Al igual que ocurre con el coche, hay otros ejemplos cotidianos que utilizan la instrumentación, como es el caso de la televisión, el teléfono celular, los refrigeradores más recientes y el GPS. En todos ellos, hay elementos indicadores y elementos controladores o actuadores.

La instrumentación clásica se ha utilizado sobre todo en la industria y en el control de procesos con varias magnitudes. Podemos imaginar o recordar cómo el control y monitorización de una máquina o proceso se hace normalmente a cierta distancia, de forma separada, desde donde realmente se encuentra el mismo. Lo mismo ocurre con la sala de máquinas de un barco: hay infinidad de variables críticas que hay que visualizar para vigilarlas y en consecuencia realizar varios controles, si se da el caso. En este sentido, el panel asociado a la sala de máquinas se encontrará situado en otro módulo, desde donde se tiene toda la información relevante del estado de las máquinas.

En este sentido, las magnitudes que interesa medir, son convertidas en señales eléctricas de corriente continua proporcionales a las mismas mediante sensores, y llevadas al panel para conectarlas a los indicadores con entrada eléctrica. En cuanto a las magnitudes que interesa controlar, son modificadas mediante actuadores de entrada eléctrica y salida igual a la natu-

raleza de la magnitud. Cuando la instrumentación es clásica, estas señales eléctricas son de tipo analógico y los paneles son rígidos, es decir, no se pueden modificar o ampliar, y normalmente sólo sirven para monitorizar el proceso para el que han sido creados.

Pero en los últimos años, debido a las altas prestaciones que ofrecen los ordenadores actuales, se está utilizando cada vez más la instrumentación virtual. Esto significa, que los viejos y rígidos paneles están siendo sustituidos por pantallas de ordenadores que contienen paneles virtuales: con el mismo aspecto y funcionalidad que los antiguos paneles, pero con la ventaja de poder realizar cambios de forma inmediata y sin coste alguno.

Además, se pueden cambiar las formas, formatos y colores de los indicadores y controles, personalizándolos y dándoles un aspecto más moderno. La instrumentación virtual tiene la misma base que la clásica, sólo añade conversores analógico-digitales (ADC) para la monitorización y conversores digital-analógicos (DAC) para el control. Esto se debe a que el ordenador, al ser un elemento basado en un microprocesador, maneja solamente información digital, por lo que las señales eléctricas a monitorizar han de ser digitalizadas previamente mediante un ADC. Con las magnitudes a controlar sucede algo similar: su correspondiente señal eléctrica es tratada de forma digital por el instrumento virtual (ordenador), pero cuando ha de ser enviada al actuador, se tiene que convertir en una señal analógica mediante un DAC.

### 3.3.1. LabVIEW.

Una de las nuevas tendencias en la instrumentación es la instrumentación virtual. La idea es sustituir y ampliar elementos “hardware” por otros “software”, para ello se emplea un procesador (normalmente un PC) que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas. Las ventajas de la instrumentación virtual son: la capacidad de automatizar las medidas, procesado de la información, visualización y actuación remotamente, etc. Algunos programas especializados en este campo son LabVIEW. Y algunos buses de comunicación populares son GPIB, RS-232, USB, etc.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), de National Instruments, es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis de datos, la adquisición de datos y el control de instrumentos. Labview permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software.

Las aplicaciones realizadas con LabVIEW son conocidas como Instrumentos Virtuales (Virtual



Instruments, VI) y se suelen ejecutar en una PC. Esto se debe a que estas aplicaciones tienen aspecto de instrumento de medida/control, a través de una pantalla de PC que se denomina Panel (debido a su gran parecido a los paneles de instrumentación clásicos de hardware). En cuanto al término Virtual, indica que se trata de la versión software o flexible del clásico instrumento de medida/control. Lógicamente, un VI también necesita un hardware básico para poder realizar medidas de señales reales y monitorizarlas, e incluso puede realizar control sobre estas señales. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos. Este hardware básico consta, en la mayoría de los casos, de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

A un instrumento virtual lo podemos definir como un módulo de software que simula el funcionamiento de un instrumento físico. Este software debe poseer un hardware controlado por el ordenador que le permita acceder a los datos extremos al instrumento. Este hardware podría ser una tarjeta de adquisición de datos, una tarjeta DSP, o un instrumento controlado mediante GPIB (Global Purpose Interface Bus), mediante RS-232 o mediante el bus XVI. De este modo el usuario del instrumento virtual puede observar en la pantalla de una computadora los datos recibidos por el instrumento. Al mismo tiempo puede analizarlos con un programa realizado por el mismo LabVIEW. De los resultados del análisis de los datos y mediante el hardware el programador de LabVIEW, se puede llegar a controlar un sistema.

### **Entorno gráfico.**

Cuando hablamos de un entorno gráfico nos referimos tanto a una representación del panel frontal del instrumento virtual como de la programación en sí. Para visualizar los datos del instrumento utilizaremos una serie de objetos como pueden ser LED's, botones, pantallas y demás tipos de controles o visualizadores. Existen tanto indicadores como controladores de muchos tipos, a los cuales se les puede cambiar el tamaño, el color, la sensibilidad, y la escala. La programación gráfica (Programación G) se consigue gracias a unos íconos o bloques que se encargan de representar tanto cifras como operaciones. Estas cifras pueden ser constantes, datos introducidos por el panel de control, o datos capturados por el hardware del ordenador. En cuanto al tipo de operaciones que se pueden realizar son las típicas de cualquier lenguaje de programación más unas cuantas propias de LabVIEW. Todos estos bloques se colocan en el diagrama de bloques y se conectan entre sí mediante un cable virtual.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VI's, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente

no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabVIEW es: “La potencia está en el Software”, que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware.

### **Principales usos.**

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático.
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante.
- Control y supervisión de procesos.
- Visión artificial y control de movimiento.

En este proyecto LabVIEW fue usado como herramienta de automatización de todo el sistema, tanto para controlar el revólver de diodos láser así como manipular la fuente de diodos láser LDC501 la cual se encarga de polarizar cada uno de los diodos láser, con esta herramienta se pretendió tener un control remoto de nuestro prototipo a través de una computadora convencional.

### **3.3.2. NI USB 6009 DAQ.**

Para la realización de este proyecto se utilizó la tarjeta NI USB 6009 la cual se usó para controlar todo el prototipo (revólver de diodos láser), a continuación se presentarán las características de esta tarjeta las cuales nos sirvieron para poder automatizar el revólver.

#### **Adquisición de datos.**

LabVIEW incluye un grupo de VIs que permiten configurar, adquirir datos y enviarlos a los dispositivos DAQ. Frecuentemente un dispositivo puede ejecutar una variedad de conversiones

análogo a digital (A/D), conversión digital a análogo (D/A), entrada-salida ( E/S) digital y operaciones de contador / temporizador. Cada dispositivo soporta diferentes DAQ y velocidades de generación de señal. También cada dispositivo DAQ es diseñado para plataformas de hardware y sistemas operativos específicos.

### Componentes de los sistemas DAQ.

Antes de que un sistema de medición basado en computador pueda medir una señal física, como una temperatura, un sensor o transductor debe convertir la señal física en una eléctrica, como un voltaje o corriente. Un dispositivo DAQ insertable puede considerarse como un sistema de medición completo, aunque es solo un componente del mismo. No siempre se pueden conectar señales directamente a un dispositivo DAQ. En estos casos se deben utilizar accesorios para acondicionar las señales, antes de que el dispositivo DAQ las convierta en información digital. El software controla el sistema DAQ adquiriendo los datos puros, analizando y presentando los resultados.



Figura 3.3: Tarjeta NI USB 6009.

Hay diversas opciones para un sistema DAQ:

- El dispositivo DAQ insertable reside en la computadora. Puede conectar el dispositivo en la ranura PCI de una computadora de escritorio o en la ranura PCMCIA de una computadora portátil para un sistema de medición DAQ portátil.

- El dispositivo DAQ es externo y se conecta a la computadora a través de un puerto existente, como el puerto serial, USB o el puerto Ethernet, lo que significa que se pueden ubicar fácilmente los nodos de medida cerca de los sensores.

La computadora recibe los datos puros directamente en el dispositivo DAQ. La aplicación creada en LabVIEW presenta y manipula los datos en una forma que el usuario pueda entender. El software también controla el sistema DAQ ordenando al dispositivo cuando y desde cuales canales adquirir datos. Típicamente el software DAQ incluye controladores y programas de aplicación. Los controladores son únicos para el dispositivo o tipo de dispositivo e incluyen un grupo de comandos que el dispositivo acepta. Los programas de aplicación, como LabVIEW, envían los comandos de los controladores, adquieren datos y tienen realimentación. Los programas de aplicación también presentan y analizan los datos adquiridos. Los dispositivos de medición de NI incluyen el programa controlador NI - DAQ, una colección de VI's que se utilizan para configurar, adquirir datos y enviarlos hacia los dispositivos de medición.

### **Software de adquisición de datos.**

NI-DAQmx es el controlador NI-DAQ más avanzado, con nuevos VIs, funciones y herramientas de perfeccionamiento para controlar dispositivos de medición. Las ventajas de NI-DAQmx sobre las versiones anteriores de NI-DAQ incluyen DAQ Assistant, asistente para la configuración de canales y labores de medida de un dispositivo; desempeño mejorado, inclusión de Entrada/Salida análoga de punto individual más rápida y una interfaz de programación de aplicaciones (API) más simple para crear aplicaciones empleando menos funciones y VI's que con las versiones anteriores de NI-DAQ.

La tarjeta NI USB 6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional para Windows 2000/XP/Vista, MAC OS X, LINUX; posee alto rendimiento y alta velocidad de muestreo. Las especificaciones de la tarjeta y el soporte de proveedores externos hacen ideal su uso para un amplio rango de aplicaciones en nuestro caso el de la adquisición de datos y control de procesos.

Características:

- Canales de entrada analógica seleccionados por software: 8 canales unipolares y 4 canales diferenciales.

- Rangos de entradas analógicas seleccionadas por software: Unipolares:  $\pm 10V$ . Diferenciales:  $\pm 20V, \pm 10V, \pm 5V, \pm 4V, \pm 2,5V, \pm 2V, \pm 1,25V, \pm 1V$ .
- Provee de dos modos de disparo para el A/D: por software y por disparador digital externo.
- Resolución de entrada: 14 bits en modo unipolar y 13 bits en modo diferencial.
- Voltaje de trabajo  $\pm 10V$ , con una impedancia de entrada de  $144K\Omega$  y una protección de sobretensión de  $\pm 35V$ .
- Cuenta con 8 entradas analógicas y 8 digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas.

GND	+ A10 -	GND	+ AI1 -	GND	+ AI2 -	GND	+ AI3 -	GND	AO0	AO1	GND				
GND	AI0	AI4	GND	AI1	AI5	GND	AI2	AI6	GND	AI3	AI7	GND	AO0	AO1	GND
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
ANALÓGICA ↑								↓ DIGITAL							
<b>32</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>17</b>
GND	+5V	+2.5V	PF10	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0

Figura 3.4: Pines de tarjeta DAQ USB 6009.

### La adquisición de datos (DAQ).

Definida la señal, debemos escoger un sistema de medida. Sabemos que una señal analógica debe ser convertida en una señal que entienda la computadora. Para ello, es preciso definir un sistema de Conversión Analógica-Digital (A/D). Algunas de las consideraciones que debemos tener en cuenta antes de elegir un sistema de medida, será conocer el “Bit” de resolución del A/D, el rango del aparato, y el rango de la señal a medir (Véase figura 3.5).

**a) Resolución.**

Los números de Bits usados para representar una señal analógica determinan la resolución del A/D. A mayor resolución mayor número de divisiones, dentro del cual, el sistema puede “romper” el rango del convertidor y por lo tanto, detectar el cambio más pequeño.

**b) Rango del aparato.**

El Rango se refiere al nivel mínimo y máximo de la señal analógica que el convertidor A/D pueda digitalizar. Muchos aparatos para la adquisición de datos tienen características de rangos seleccionables, tanto que se puede definir el rango del convertidor para que la señal a tomar sea la de mayor ventaja para la resolución disponible.

**Tarjeta de adquisición de datos de National Instruments.**

La tarjeta NI USB-6009 provee de la conexión a ocho canales de entrada analógica (AI), a dos canales de la salida analógica (AO), a 12 canales digitales de entrada-salida (DIO), a un contador de 32 bits y una interfaz USB de alta velocidad(Véase figura 3.4 y tabla 3.3.2-1).

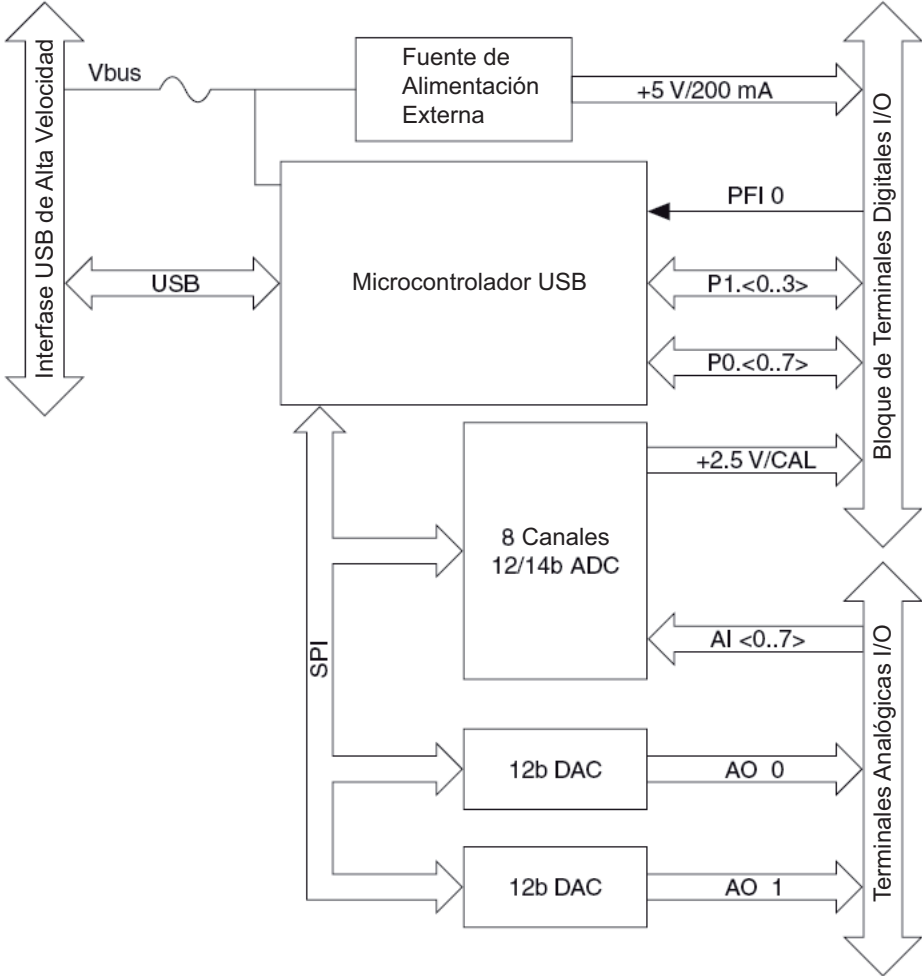


Figura 3.5: Diagrama de bloques de una tarjeta DAQ.

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	-	-	Punto de referencia de la tierra para medidas de señales eléctricas de la entrada analógica (AI), voltajes de salida analógica (AO), señales digitales en el pin de entrada-salida, fuente de +5VDC y referencia de +2.5 VDC.
AI (0..7)	Varias	Entrada	Entradas analógicas de canales 0 a 7 para medición de señales eléctricas, cada señal es un canal del voltaje de entrada analógica. Para las medidas diferenciadas, el canal AI 0 y AI 4, son entradas positivas y negativas del canal diferenciado 0 de la entrada analógica.
AO 0	GND	Salida	El canal analógico 0 provee la salida del voltaje del canal 0 de la salida analógica (AO).
AO 1	GND	Salida	El canal analógico 1 provee la salida del voltaje del canal 1 de la salida analógica (AO).
P1. (0..3) P0.(0..7)	GND	Salida o Entrada	Se puede configurar individualmente cada señal digital como una entrada o salida.
+2.5 V	GND	Salida	Referencia externa de 2.5 V para la prueba.
+5 V	GND	Salida	La Fuente de +5 V proporciona una corriente de hasta 200 mA.
PFI 0	GND	Entrada	El pin de PFI 0 es configurable como un disparador digital o entrada del contador de eventos.

Tabla 3.3.2-1: Descripción de las señales de salida y entrada de la tarjeta NI-6009.



### 3.3.3. Elección de la interfaz remota o bus de comunicación.

Con una gran variedad de buses disponibles para realizar comunicación con instrumentos de medición, es un poco confuso conocer cuál es mejor en términos de rendimiento.

Varios buses de datos de alta velocidad han surgido como opciones para sistemas de pruebas, puede ser difícil elegir el bus apropiado ya que la comparación de un bus a otro es complicada, por lo único cada tecnología.

El escoger un bus no define un sistema de prueba y de medición, estos son definidos por una combinación de software y hardware, la clave es considerar los requerimientos del sistema.

Los dos factores que generalmente caracterizan el funcionamiento de un bus, son la latencia y el ancho de banda, la latencia es la medición de cuánto tiempo le toma a un dispositivo replicar a una llamada y ancho de banda, es cuanta información puede ser transferida en un bus en un determinado número de tiempo. La mejor latencia y ancho de banda ocurre en buses de sistemas, lo cual se puede apreciar en la figura 3.6.

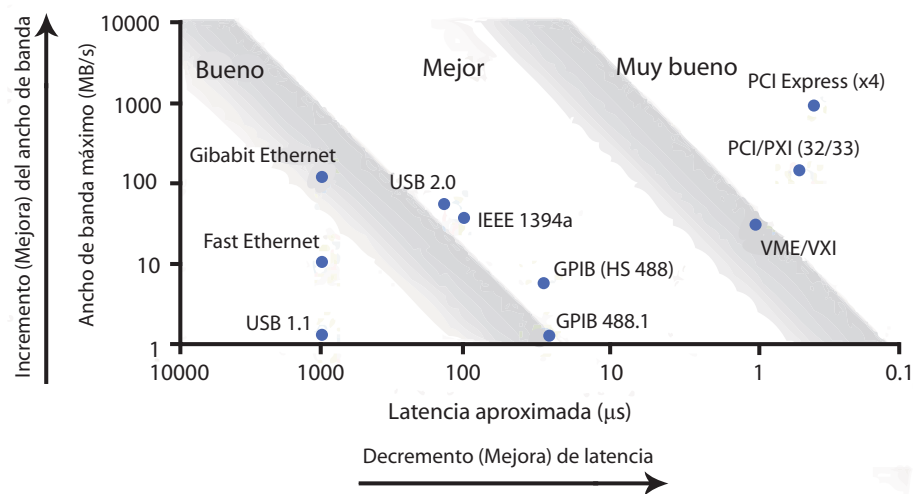


Figura 3.6: Latencia vs. Ancho de banda

El bus interfaz de propósito general (GPIB; General Purpose Interface Bus) y su protocolo de comunicaciones asociado, se han convertido en elementos integradores de la unidad de instrumentación virtual, originando las redes de instrumentación electrónica. Estos equipos integrados

en red cumplen con las tres características esenciales de un equipo de medida:

- Posibilidad de control remoto.
- Aceptación de la transferencia de datos que permita fiabilidad en la operación.
- Capacidad de operación en tiempo real.

GPIB , es un bus diseñado específicamente para el control de instrumentos, siendo un bus de comunicación robusto y confiable, el cual sigue siendo la opción más popular del control de instrumentos, desde hace más de 30 años porque tiene muy poca latencia y un aceptable ancho de banda. Actualmente tiene la base instalada más grande de la industria, con más de 10,000 instrumentos que utilizan GPIB.

Es ideal para automatizar equipos o sistemas que requieren instrumentos muy especializados, y por esta y demás razones ya expuestas se considero la mejor opción para nuestro proyecto.

### **3.3.4. GPIB (IEEE-488.2).**

Debido a su elevada velocidad de transferencia (1.8 Mb/s nominal) y a su fiabilidad, esta interfaz adquirió popularidad a pasos agigantados. Así, en 1973 se convirtió en un estándar, siendo aceptado por la organización IEEE. Entre 1973 y 1975 recibió el nombre de estándar de comunicaciones IEEE-488, y en 1987 adoptó el nombre de ANSI/IEEE-488.1, como se le conoce en la actualidad, estando más extendida su designación mediante el acrónimo GPIB. En el mismo año, 1987, la designación ANSI/IEEE-488.2 supuso una ampliación del protocolo en la línea de describir con exactitud cómo los controladores y los instrumentos se comunicaban. Se establece entonces el conjunto de órdenes comunes a todos los instrumentos (SCPI; Standard Commands for Programmable Instruments).

Los instrumentos del estándar (GPIB IEEE-488.2) son más fáciles de programar, al responder a órdenes y solicitudes comunes, empleando un protocolo estándar de intercambio de mensajes. Este protocolo constituye la base del estándar SCPI, que permite la programación de equipos de prueba y medida incluso de una forma más sencilla.

El instrumento usado en este proyecto es el LDC501 que en su manual de usuario incluye órdenes y solicitudes (commands and queries), los cuales son comunes a todos los instrumentos de este estándar.

### 3.4. Controlador de Diodos Láser.

Otro de los aspectos a tomar en cuenta, es la forma en que se proveerá la alimentación requerida por los Diodos Láser y para esta función básica, en el laboratorio de sistemas ópticos, contamos con una fuente de corriente de bajo ruido, diseñada especialmente para Diodos Láser y la cual es capaz de proporcionar corrientes de hasta 500 mA, el modelo del controlador en cuestión, es el LDC501 de Stanford Research Systems, el cual conlleva grandes ventajas para el desarrollo del presente proyecto, puesto que se puede tener el control de la corriente y la temperatura de los diodos láser e incluso podemos controlar varios de estos y otros parámetros, mediante la computadora, programar las instrucciones con algún ambiente de trabajo y así poder llevar a cabo un sistema de alimentación automático, seguro y eficiente.



Figura 3.7: Controlador de Diodos Láser LDC501

#### 3.4.1. Controlador LDC501 de Stanford Research Systems.

El LDC501 tiene una interfaz de usuario intuitiva, por lo que incluso es sencillo operar el instrumento sin tener que consultar el manual a fondo, pero se deben tener ciertas consideraciones presentes. Su funcionamiento puede ser ejemplificado a través de un solo diodo láser, en el modo analógico y en el modo digital, sin embargo, antes de utilizar el instrumento, el diodo láser debe

ser debidamente cableado. Un conector DB-9 macho, es necesario para la conexión del láser. Tomando en cuenta la distribución de pines, la cual se muestra en la parte trasera de la carcasa del LDC501, se procede a realizar la conexión eléctrica para Diodo Láser (LD), ya que también es posible realizar la conexión de fotodiodos (PD).

1. Interlock.
2. Interlock.
3. Chassis GND.
4. LD Cathode sense.
5. LD Cathode.
6. PD Cathode.
7. PD Anode.
8. LD Anode sense.
9. LD Anode.

Con base en la distribución, se muestra el esquema de conexiones, para evitar dudas de la conexión en su configuración correcta (Véase figura 3.8).

En particular, el pin 4 y pin 5 deben conectarse al cátodo del diodo láser ( $-$ ), y el pin 8 y pin 9 deben conectarse al ánodo del diodo láser ( $+$ ).

Los pines 4 y 8 son con los que se toma la lectura del voltaje (sensado de voltaje), pero si estos son desconectados, el LCD501 tomará las respectivas mediciones a través de los pines 5 y 9.

Cabe resaltar también, que el interlocking es un método de prevención para evitar estados no deseados, en una máquina de estados, ya sea para no dañar a quien lo opera o para que no exista un daño al mismo dispositivo, este método está presente en muchos aparatos eléctricos y electrónicos, tales como hornos de microondas, lavadoras, entornos industriales de protección al personal, etc. En este caso, la función del Interlock requiere una conexión de baja resistencia eléctrica entre los pines 1 y 2 para que el láser opere correctamente.

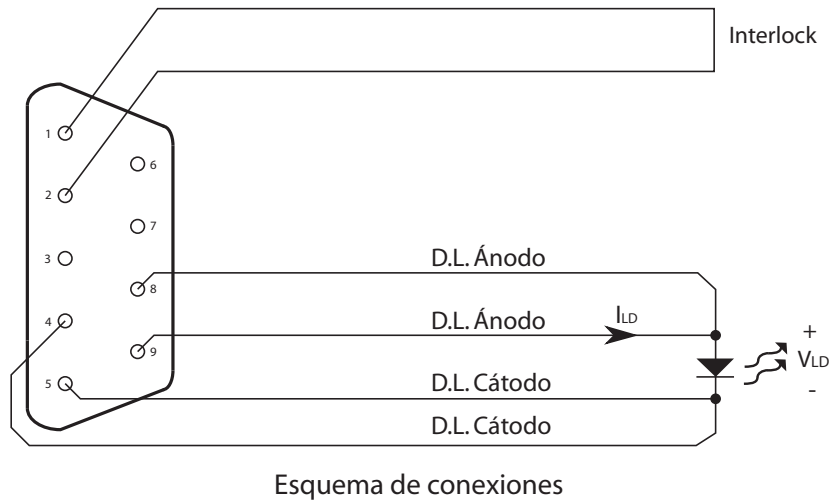


Figura 3.8: Esquema de conexión LDC501-Diodo láser

De esta manera se asegura una conexión eléctrica correcta.

### 3.4.2. Manipulación del LDC501 de manera manual.

Primeramente, se deben tener claros los parámetros de operación del diodo láser a utilizar, por lo que debe consultarse la hoja de especificaciones (Figura 3.9), donde básicamente se deben identificar tres parámetros eléctricos importantes y estos son: Voltaje de operación, corriente de operación y corriente de operación máxima.

Optical-Electrical Characteristics  
( $T_c=25^\circ\text{C}$ ,  $P=40\text{mW}$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.
Threshold Current	$I_{th}$	-	57mA	-
Operation Current	$I_{op}$	-	117mA	-
Operation Voltage	$V_{op}$	-	2.5V	3.0V
Lasing Wavelength	$\lambda$	655nm	660nm	666nm
Beam Divergence (FWHM)	$\theta_{//}$	-	8.5°	-
	$\theta_{\perp}$	-	22°	-

Note: All data is presented as typical unless otherwise specified.



Figura 3.9: Especificaciones de un diodo láser

Mediante el conocimiento de la interfaz del controlador, se introducen los parámetros adecuados

de operación del diodo láser a utilizar, con los cuales podemos estar seguros de que nuestro diodo láser será alimentado correctamente. Se recomienda tomar los valores típicos que indica el fabricante, a menos de que se requiera trabajar con algo muy específico, como por ejemplo, una mayor potencia óptica, ya que con esto aseguramos para fines experimentales, que no excedemos los parámetros de operación establecidos y podemos confiar en que nuestro diodo láser trabajará en óptimas condiciones.

Una vez logrando el encendido de nuestro diodo láser manualmente, requerimos de hacer énfasis, en que la manipulación de los láseres, puede ser peligrosa por lo que se recomienda extremar las precauciones de seguridad, tales como no mirar directamente al láser, no mirar su reflejo, no apuntarlo a otras personas y usar equipo óptico como lentes especiales de protección para la vista, ya que la incidencia del láser en los ojos podría causar ceguera permanente u ocasionar quemaduras graves.

### **3.4.3. Manipulación del LDC501 de manera digital.**

Basados en lo anterior ahora mostramos que el controlador puede ser operado, no solamente manualmente, sino a través de interfaces remotas, tales como GPIB (IEEE-488.2), RS-232 y Ethernet, usando un lenguaje de comandos simples documentados en el manual de usuario. El objetivo de estas interfaces remotas, es lograr un control a través de una computadora, de manera que puedan ser programados procesos más complejos y optimizarlos, por lo que en este proyecto, se hace uso de esta forma de manipular el controlador, con el objetivo de crear un sistema totalmente automatizado.